ILUMINAÇÃO EM SALAS DE AULA DE ENSINO FUNDAMENTAL: MEDIÇÕES, SIMULAÇÃO E ENTREVISTAS

Solange M. Leder (1); Tainá G. Costa (2); Luana M. Quirino (3)
(1) Doutorado em Engenharia Civil, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo UFPB, solangeleder@yahoo.com.br
(2) Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, Arquiteta, tainagscosta@gmail.com
(3) Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental, Arquiteta, luanammq@gmail.com

RESUMO
A análise sobre a iluminação de um ambiente é mais abrangente se, além do levantamento das condições ambientais, a percepção dos usuários for considerada. Assim, a pesquisa relatada neste artigo teve como objetivo confrontar e analisar dados de iluminância em salas de aula, obtidos através de medições e simulação computacional da iluminação natural, com a percepção de conforto visual relatada por alunos com idade entre 8 e 11 anos, no clima quente e úmido. O método adotado integra levantamento de campo, simulação computacional da iluminação com o programa Apolux e aplicação de questionários com alunos na faixa etária de 8 a 11 anos. A faixa etária escolhida corresponde a alunos do ensino fundamental, com habilidade de leitura e escrita. Sobre os resultados destaca-se: a) a grande maioria dos alunos considera a sala de aula clara ou muito clara (menor percentual foi de 53%); b) relatos frequentes de dificuldade em enxergar informações no quadro e sobre a mesa decorrem da incidência de sol, seguido pela observação de iluminação insuficiente; c) os resultados obtidos com os questionários convergem com os dados da simulação, a escola onde 89% dos alunos percebe a sala como "clara ou muito clara" coincide com maiores iluminâncias; d) reflexos sobre o quadro também são problemas apontados com mais frequência nos ambientes onde as iluminâncias são maiores.

Palavras-chave: iluminação natural, escolas, questionários, simulação computacional.

ABSTRACT
A lighting analysis of an environment is more comprehensive if, in addition to the measurements of the environmental conditions, the perception of users is considered. Thus, the research reported in this article aimed to compare and analyze illuminance data in classrooms, obtained through measurements and computer simulation of daylighting, with the perception of visual comfort reported by students aged between 8 and 11 years, in a hot and humid climate. The method integrates lighting measurement, computational simulation of daylighting (Apolux software) and a survey with students aged 8 to 11 years. The chosen age group corresponds to elementary school students, with reading and writing skills. Regarding the results we point out: a) the majority of students consider the classroom bright or very bright (the lowest percentage was 53%); b) difficulty in seeing information on the blackboard and on the desk were frequently reported, associated to the incidence of sunlight, followed by the observation of insufficient lighting; c) the results obtained with the questionnaires converge with the simulation data, the school where 89% of the students perceive the room as "bright or very bright" coincides with higher illuminances; d) reflections on the blackboard were related problems, more frequently in environments where illuminances are higher.

Keywords: Daylighting, schools, survey, daylighting simulation.

1. INTRODUÇÃO

As condições ambientais influenciam na saúde e no bem-estar dos seres humanos. Funções biológicas, hormonais e psicológicas cruciais para a vida são coordenadas por ciclos regulados pela luz do dia. De acordo com Aries et al. (2015), quando a exposição à luz do natural não é suficiente ao longo dos dias, pode haver uma redução na produtividade, aumento de fadiga, diminuição da concentração e aumento de sintomas depressivos, entre outros sintomas desagradáveis. O bem-estar das pessoas está diretamente associado ao contato com a iluminação natural. É sabido que a necessidade de contato com a luz extrapola os limites da visão. A luz natural, além de ser um agente na produção de vitamina D no corpo humano, pode melhor o humor, a atenção, o desempenho cognitivo, físico, a qualidade do sono, contribuindo para a otimização das atividades tanto acadêmicas quanto funcionais (HESCHONG, WRIGHT, OKURA, 2002).

A despeito das vantagens ao bem-estar, da superior qualidade espectral e da possibilidade de economia de energia, o uso da luz natural nos ambientes internos é cercado por muitos problemas, alguns pertinentes ao campo geral da iluminação e outros mais específicos da natureza da luz natural como fonte de iluminação (BOUBEKRI, 2008). Para Bernardi (2001), a orientação espacial, a segurança física e a orientação no tempo das pessoas são fatores afetados pela iluminação, cujas necessidades estão relacionadas a uma percepção visual adequada, com luz em qualidade e quantidade suficientes. Apesar disso, as normas que orientam o projeto de iluminação objetivam atender às necessidades da tarefa visual. A luz do dia é dinâmica, a trajetória do sol no céu resulta em alterações na intensidade, direção e propriedades de cor, além da dinâmica da condição de céu, que é imprevisível. Essas características tornam o atendimento de níveis constantes de iluminação uma questão complexa.

O ambiente educacional deve atender da melhor forma possível as necessidades dos discentes, pois estes, além de estarem em desenvolvimento físico e intelectual permanecem grande parte do dia nesses locais. De acordo com Vásquez, Pereira e Kuhnen (2018), a maioria das pesquisas sobre conforto lumínico é realizada a partir da percepção de adultos, mas os resultados destas pesquisas não se aplicam a crianças, pois organismo apresenta um comportamento diferente de acordo com a respectiva faixa etária.

O bem-estar fisiológico e psicológico de pessoas que permanecem confinadas por muito tempo em ambientes fechados depende da exposição à luz natural em intensidade suficiente, entretanto, a depender do clina local, são necessários cuidados especiais com a entrada da luz solar (KOWALTOWSKI, 2011). Um projeto de iluminação adequado possui como objetivos proporcionar iluminação suficiente para a tarefa visual de forma eficaz e proporcionar um ambiente luminoso apropriado para sua finalidade, agradável e confortável (HOPKINSON, PETHERBRIDGE e LONGMORE, 1966).

Na pesquisa realizada por Stewart (1981) com crianças de escolas de ensino fundamental foi observada a preferência por sentar-se próximo à janela das salas de aula quando há luz do dia e nos momentos em que não estavam sendo supervisionados pelos professores. Em ambientes de estudo, como bibliotecas, também existe uma preferência entre os estudantes de estarem próximos a janelas, de acordo com o estudo de Gou, Khoshbakht e Mahdoudi (2018), o que reforça o que foi comprovado por Zande (2013), ao relatar os benefícios da iluminação adequada na performance, no desempenho de tarefas, na precisão e na velocidade do trabalho. Kuller (1992) observou durante um ano letivo que o comportamento, a concentração e a cooperação das crianças sofrem interferência da iluminação. Quando a exposição das crianças à luz do dia não é adequada, como elas passam a maior parte do tempo nas escolas, alterações no ciclo circadiano podem ocorrer e, consequentemente, impactar nas horas de sono, como constatado por Figueiro, Nagare e Price (2018). Os autores destacam que a redução nas horas de sono ocasiona além de problemas comportamentais, baixo rendimento na escola.

Quando a iluminação do ambiente não é adequada, seja por falta ou por excesso, pode causar incômodos visuais, como o ofuscamento, que acontece quando uma parte do ambiente é muito mais clara que o restante (NISSOLA, 2005). Devido a uma padronização na quantidade de lâmpadas independentemente do tamanho das salas de aula, problemas como o ofuscamento são comuns em escolas brasileiras, não havendo uma uniformidade na distribuição da iluminância nesses locais (KOWALTOWSKI, 2011). Segundo Reinhart e Wienold (2011), a deficiência de iluminação é fácil de ser identificada, já o excesso de brilho está mais ligado à satisfação do usuário. Nesse contexto, essa pesquisa trata sobre variáveis ambientais relacionadas com o conforto lumínico e o comportamento dos indivíduos frente a essas variáveis (como: sensação e percepção de conforto, reações à variações, limites e processos de adaptação etc.) no clima quente e úmido.

2. OBJETIVO

A pesquisa tem como objetivo confrontar e analisar dados de iluminância de salas de aula, obtidos através de simulação computacional da iluminação natural, com a percepção de conforto visual relatada por alunos com idade entre 8 e 11 anos, no clima quente e úmido.

3. MÉTODO

A pesquisa tem como foco a sensação e percepção do conforto lumínico de indivíduos adaptados ao clima quente-úmido. O método adotado integra observações in loco com levantamento de campo, obtendo variáveis subjetivas, individuais e microclimáticas, associadas posteriormente à modelagem e simulação computacional da iluminação natural.

Na etapa de campo foram obtidos dados quantitativos (levantamento das principais características das salas de aula, bem como da escola), levantamento de iluminâncias e levantamento de dados qualitativos, proveniente das respostas dos alunos ao questionário. Na análise e modelagem dos dados, foram adotados métodos e técnicas estatísticas, a fim de possibilitar inferências representativas para a população.

Os ambientes objeto de análise, após levantamento documental (planta baixa da edificação), foram visitados para obter as principais características das edificações investigadas: implantação e orientação, área, sistema construtivo, envoltória, materiais e acabamentos superficiais, abertura, iluminação artificial e ar-condicionado, ventiladores, mobiliário etc. Nas visitas in loco, fotografias com os detalhes relevantes foram registradas. Os subitens apresentados a seguir detalham as etapas de aplicação do questionário, levantamento de iluminâncias "in loco" e a simulação computacional da iluminação natural.

3.1. Aplicação dos questionários

As crianças com idade entre 8 e 11 anos foram convidadas a responder um questionário, sendo a adesão voluntária. O intervalo de idade definido compreende alunos no ensino fundamental 1 com a habilidade de leitura e escrita. Os alunos recebiam os questionários e na sequência a entrevistadora apresentava uma explicação a respeito da pesquisa e sobre as questões. Antes de responder, cada questão foi abordada individualmente pela entrevistadora, para reduzir a possibilidade de não entendimento da pergunta por alunos com alguma dificuldade de leitura. Os questionários foram submetidos e aprovados pelo Comitê de ética de Pesquisa vinculado ao Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal da Paraíba. As medições, formatação de questionários e análise seguem as normas e recomendações técnicas como: ISO 7726 (1998), NBR 15.575, NBR ISO/CIE 8995, IES LM-83-12.

Os principais aspectos explorados com os questionários foram divididos em 2 partes: a) A primeira etapa inclui: gênero, idade e período escolar; b) A segunda etapa trata de questões relativas ao conforto lumínico (Tabela 1) como a percepção da quantidade e qualidade da iluminação; questões relativas ao ofuscamento, reflexos indesejáveis, dificuldades visuais e sintomas físicos desagradáveis.

Tabela 1 - Questionário sobre iluminação aplicado com os alunos

QUANTO A LUZ NA SUA SALA DE AULA			COD:_____
1. Como você acha que a sua sala de aula é:			
( ) Muito clara	( ) Clara	( ) Escura	( ) Muito escura

2. Como você gostaria que a sua sala de aula fosse?				
( ) Mais clara	( ) Um pouco mais clara	( ) Assim mesmo	( ) Um pouco mais escura	( ) Bem mais escura

3. Você tem dificuldade de enxergar o quadro?	
( ) Sim	( ) Não

4. Em algum momento você tem algum dos problemas abaixo:				
( ) Bate sol no quadro	( ) A luz da sala bate no quadro	( ) A luz da sala é fraca	( ) Não enchergo bem de longe	( ) Nenhuma das anteriores

5. Você tem dificuldade de enxergar um texto sobre a mesa?	
( ) Sim	( ) Não

6. Em algum momento você tem algum dos problemas abaixo na sua mesa:			
( ) Bate sol na minha carteira	( ) Não enchergo bem as letras pequenas	( ) A luz da sala é fraca	( ) Nenhuma das anteriores

7. Você sente algum desses sintomas após a aula:				
( ) Dor de cabeça	( ) Dor nos olhos	( ) Coceira nos olhos	( ) Olhos secos ou lacrimejantes	( ) Enjoo

8. Se você marcou uma das opções na questão anterior, com que frequência isso acontesse?		
( ) Todo dia	( ) Algumas vezes na semana	( ) Algumas vezes no mês

3.2. Levantamento de iluminâncias

Medições de iluminâncias foram realizadas no interior das salas tendo como critério as recomendações estabelecidas nas normas NR 17 e NBR 15.215-4. Para os registros das iluminâncias foram utilizados três conjuntos de sensores fotométricos (1 datalogger e três sensores LI-COR), apoiados sobre o plano de trabalho (carteiras dos alunos). Para proteger as crianças de riscos de acidentes, bem como, garantir a integridade dos equipamentos, optou-se por realizar as medições em horários em que as salas se encontravam vazias. Para que as medições se aproximassem das condições de iluminação natural no momento da aplicação dos questionários, as medições ocorreram no mesmo dia da aplicação do questionário ou em dias próximos, sendo observado o horário e a condição de céu. Os dados coletados foram armazenados em *dataloggers* da LI-COR Li 1400, cada coleta durou entre oito e quinze minutos, com a iluminância registrada a cada minuto. Um valor médio foi calculado para cada intervalo de medição. Todas as lâmpadas existentes no ambiente permaneceram ligadas (exceto as danificadas) e as esquadrias estavam abertas.

Para a análise dos resultados foram considerados: os valores indicados na norma vigente (NBR 8995-1, 2013) que estabelece níveis de iluminância média para atividades em sala de aula de 300 lux; e a NBR5413 (1992), que indica como médias de iluminância ideais para salas de aulas os valores entre 300 e 750lux.

O posicionamento dos sensores de iluminância no interior das salas de aula, baseou-se nas recomendações da NBR 15215-4 (ABNT, 2005), para avaliação experimental das condições de iluminação interna de edificações. Segundo a norma, com base nas medidas da sala, foi obtido que a quantidade mínima de pontos é 9. Os pontos de medição foram distribuídos no interior das salas, em três fileiras de três sensores afastados da janela e da parede, estando cada sensor afastado aproximadamente 1,48 metros um do outro (as salas investigadas possuem a mesma dimensão.

Paralelamente às medições internas, foram registradas imagens do céu durante o período de medição, com as fotografias do tipo "olho de peixe" (*fish-eye*), que são utilizadas para análise da obstrução do entorno e condição de céu. Para tanto, foram utilizadas uma câmera DSLR Nikon D90 e uma lente olho de peixe Sigma de 8mm, com a câmera fixada em um tripé. Para estudo da insolação das salas de aula investigadas foram construídas máscaras de sombra utilizando o Programa SOL-AR. Além da latitude do local, a carta foi construída considerando um o ângulo de proteção de 30°, decorrente dos beirais existentes nas escolas (proteção horizontal).

3.3. Simulação computacional da iluminação natural

Com a simulação computacionais do comportamento da luz natural nas salas de aula, realizada com o software APOLUX IV, foi possível obter dados de iluminância ao longo do ano. O programa é nacional e gratuito, além de possuir interface amigável, informações acessíveis, confiabilidade e credibilidade (citado em diversas publicações acadêmicas). As simulações foram feitas em nove pontos em cada sala de aula, em horários correspondente à data dos levantamentos de campo e ao longo do ano. Os planos de análise foram dispostos a uma altura de 0,75m do piso das salas de aula, valor indicado pela norma de iluminância em interiores, NBR 5413, que correspondem a altura dos planos de trabalho das crianças.

O modelo tridimensional construído virtualmente representa a configuração atual das salas de aula (que diferem do projeto original), com somente uma abertura lateral (o projeto original previa um sistema de abertura bilateral) e uso de película nos vidros. Para as simulações um modelo tridimensional foi construído no *SketchUp* (2020) e, posteriormente adequado para inserção no APOLUX IV. O arquivo foi exportado na extensão DXF (*Drawing Exchange Format*) e aberto no Módulo de modelagem Fractal. No Módulo Fractal, são escolhidos parâmetros de localização, definição dos materiais (opacos ou transmissores e refletâncias médias). Materiais e níveis foram configurados de forma ordenada nas camadas do programa. O fracionamento no APOLUX IV trabalha na divisão das superfícies do modelo tridimensional em parcelas, aplicando os conceitos matemáticos utilizados durante o processamento do método "Radiosidade". Os planos foram fracionados de acordo com a respectiva relevância. Os coeficientes de reflexão foram escolhidos utilizando o cartão de cores do *Lighting Guide* 11: *Surface reflectance and colour* (2011). A refletância média do solo foi definida como 30. Após o fracionamento de cada nível foi feito um fracionamento geral com fatores variados para os modelos de cada escola (30000 vértices para simulações dinâmicas e 100000 vértices para simulações estáticas). Após concluir as etapas no Fractal (módulo de modelagem) o módulo de simulação Fóton é aberto. Nesse módulo, são definidos os parâmetros da Abóbada. O globo definido para todos os cálculos deste trabalho foi o globo 8, que define a resolução da visibilidade em 150 faixas e 146198 parcelas. Nas simulações dinâmicas, foi utilizado o arquivo contendo dados climáticos da cidade de João Pessoa.

A métrica Iluminância Útil da Luz Natural (*Useful Daylight Illuminance*) – UDI foi utilizada para a análise das iluminâncias (MARDALJEVIC e NABIL, 2005).

4. RESULTADOS

A pesquisa tratou sobre seis salas de aula localizadas em três escolas da rede Municipal de Ensino Fundamental da cidade de João Pessoa/PB: Escola Leonel Brizola, construída em 2008, Escola Chico Xavier, fundada em 2011; Escola Radegundis Feitosa, em funcionamento desde 2011. As escolas foram construídas a partir de um projeto padrão (Tabela 2). O projeto arquitetônico, desenvolvido pela equipe técnica da Prefeitura Municipal de João Pessoa, foi desenvolvido em conformidade com as regras locais e as diretrizes do FNDE/MEC.

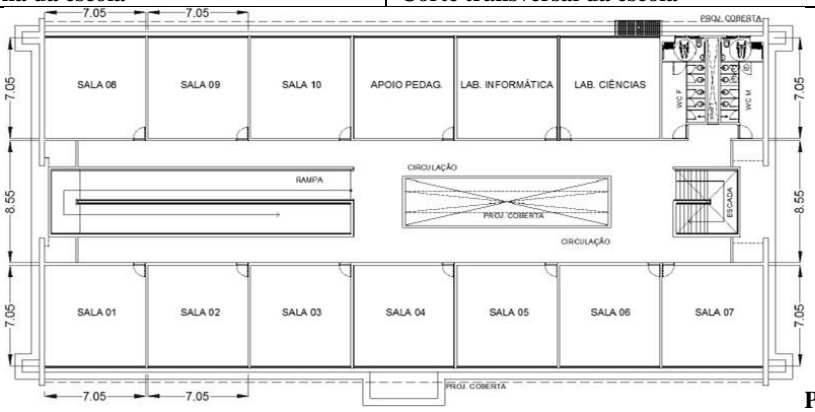
Tabela 2 – Vista externa, Corte transversal e Planta baixa das escolas analisadas



Vista externa da escola



Corte transversal da escola



Planta baixa da escola

Fonte: Extraído de Oliveira (2011).

O edifício é dividido em dois blocos horizontais que são ligados pela circulação vertical, escada e rampa, coberta por laje plana e telha de alumínio. Acima da cobertura da circulação, com peitoril elevado, estão localizadas aberturas para as salas de aula, na lateral oposta estão localizadas aberturas com peitoril de 1,2m, constituindo (projeto original) um sistema bilateral de iluminação e ventilação natural (corte transversal - Tabela 2). No pavimento térreo concentra-se a parte administrativa e de serviços da escola, assim como o refeitório, pátio coberto, sala de vídeo, biblioteca e auditório. As salas de aula estão concentradas no pavimento superior, que possui ainda laboratórios, apoio pedagógico e sanitários. O projeto segue uma modulação, as salas de aulas são quadradas, com 7,05m de largura por 7,05m de profundidade e área de 49,7m².

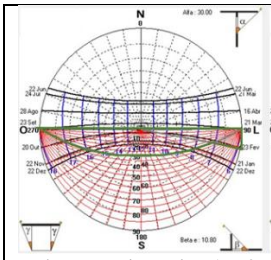
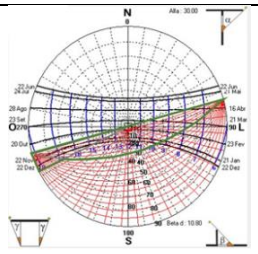
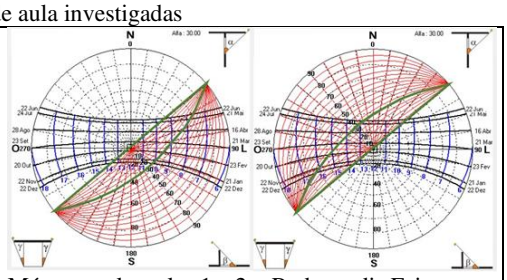
4.2. Iluminâncias e insolação nas salas de aula

O sistema bilateral de iluminação e ventilação natural proposto no projeto foi alterado, pois as salas de aula investigadas possuem apenas uma abertura lateral, já que a abertura de peitoril elevado foi fechada permanentemente e os vidros pintados. Além disso, os vidros da abertura remanescente foram acrescidos de película. As janelas estavam fechadas durante as medições de campo, pois o sistema de ar-condicionado estava ligado. As salas analisadas possuem luminárias com lâmpadas fluorescentes tubulares, algumas danificadas. A implantação das escolas não é a mesma. Na implantação recomendada (projeto original), o eixo longitudinal da edificação coincide com o Leste-Oeste, orientando as aberturas das salas de aula para norte e sul. Porém, somente a escola Leonel Brizola está perfeitamente alinhada nessa orientação.

Sobre a insolação, na Escola Leonel Brizola, as duas salas recebem radiação solar direta no início da manhã e no final do dia (Tabela 3), com variações na quantidade de horas de sol recebidas a depender da época do ano. A abertura da sala 1 possui orientação Sul, a abertura da sala 2 está orientada para o Norte. Para a sala 1 a luz solar direta incide na abertura a partir de 23 de setembro até 21 março (equinócios), ou seja, o período de maior insolação coincide com as férias escolares. Na sala 2 a insolação ocorre de 2 de março a 23 de setembro, sendo maior na proximidade com o solstício de inverno que, por outro lado, coincide com o período de chuvas local. Na Escola Chico Xavier, as salas possuem a mesma orientação (Sudeste) e recebem radiação solar direta no início da manhã e no final do dia. Pela manhã a insolação alcança maior quantidade de horas (mais de 3 h no verão – pico). A maior insolação coincide com o período de verão, o período de férias escolares.

Na Escola Radegundis Feitosa, as aberturas estão orientadas para sudeste (sala 1) e noroeste (sala 2). A abertura da sala 1 recebe sol pela manhã até pouco antes das 8 no solstício de inverno e até por volta de 100 horas no solstício de verão. Na sala 2 a insolação sobre a abertura incide à tarde, tendo mais horas de sol no inverno, a partir de pouco depois das 13h, enquanto no verão a sombra estende-se até por volta de 16h.

Tabela 3 – Máscara Solar das aberturas - salas de aula investigadas

 Máscara solar salas 1 e 2 - Leonel Brizola	 Salas 1e2 - Chico Xavier	 Máscara solar salas 1 e 2 – Radegundis Feitosa

Fonte: Extraído de Costa (2022).

Sobre as iluminâncias registradas na Escola Leonel Brizola, com uma condição de céu levemente encoberto (algumas nuvens), na sala 1, apenas um dos pontos (próximo a janela) apresentou iluminância superior a 300 lux, nos demais pontos as iluminâncias foram inferiores a 300 lux (Figura 1). Na sala 2, em todos os pontos as iluminâncias foram menores que 300 lux. Na sala 1 observa-se maior uniformidade. A análise sobre a carta solar revela que tanto no momento das medições, quanto na aplicação dos questionários, as salas investigadas não receberam radiação solar.

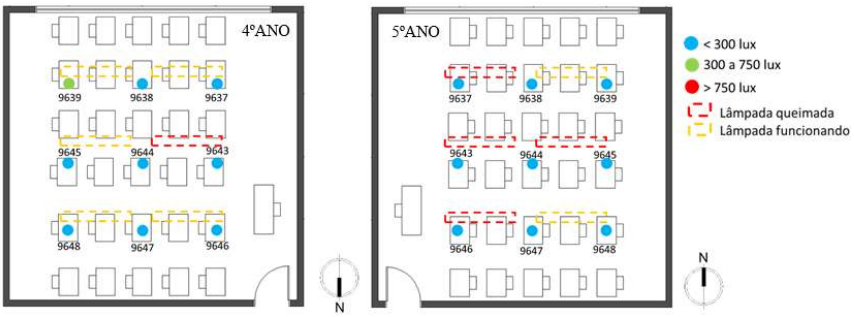


Figura 2 - Distribuição iluminâncias Escola Leonel Brizola - Sala 1 e 2

Na Escola Chico Xavier, com a condição de céu claro, a sala 1 apresentou melhor desempenho lumínico do que a sala 2. A iluminância média da sala 1 foi superior a 300 lux em todos os pontos. A sala 2 também apresentou médias superiores a 300 lux, porém, alguns sensores registraram médias superiores a 1000 lux (Figura 3). No momento das medições e na aplicação dos questionários, as salas investigadas não recebiam radiação solar direta. As medições na sala 2 foram realizadas em horário mais próximo ao meio-dia, fato que explica os valores maiores nessa sala, já que ambas possuem a mesma orientação.

Na Escola Radegundis Feitosa, as medições ocorreram com uma condição de céu encoberto. Na sala 1, todos os sensores registraram iluminâncias entre 300 e 500 lux. Na sala 2, a média dos valores registrados foi inferior a 300 lux (Figura 3). A observação sobre a carta solar revela que a abertura da sala 1 recebeu sol pela manhã até pouco antes do momento da aplicação dos questionários, fato que pode ter influenciado as respostas dos entrevistados. Na sala 2, a insolação sobre a abertura incide à tarde, sendo mais longa no inverno. As medições nas duas salas ocorreram no mesmo horário, porém, em dias distintos, no momento das medições não havia sol na abertura. A condição de céu, encoberto, influenciou nos resultados.

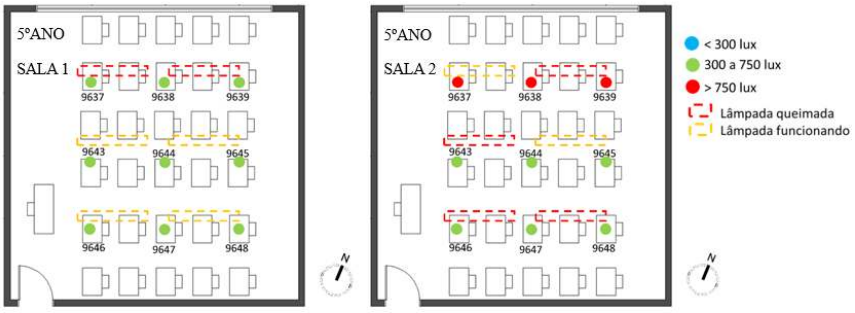


Figura 2 - Distribuição iluminâncias Escola Chico Xavier - Sala 1 e 2

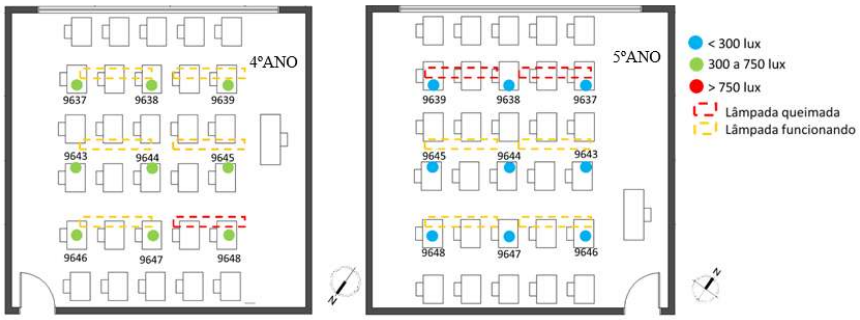


Figura 3 - Distribuição iluminâncias Escola Radegundis Feitosa - Sala 1 e 2

4.3. Simulação computacional da iluminação natural

Os resultados das simulações dinâmicas estão apresentados utilizando a métrica UDI - Iluminância Útil da Luz Natural, que descreve o comportamento da iluminação ao longo do ano nos seguintes intervalos de iluminância: inferior a 300 lux, 300 a 2000 lux e superior a 2000 lux.

A escola Leonel Brizola apresenta frequência de iluminâncias no intervalo inferior a 300 lux em torno de 10%-25%, no intervalo de 300-2000 lux a frequência é de 50-100%. O intervalo acima de 2000 lux é baixo, aproximadamente 30% da sala apresenta frequência em torno de 10% a 25% (Figuras 4 e 5)

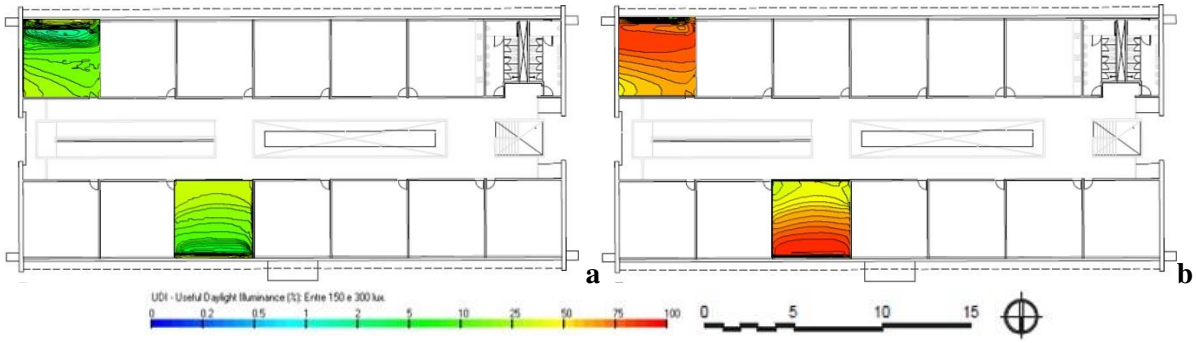


Figura 4 - Iluminâncias Escola Leonel Brizola - intervalo UDI <300 (a) e UDI 300-200 (b)

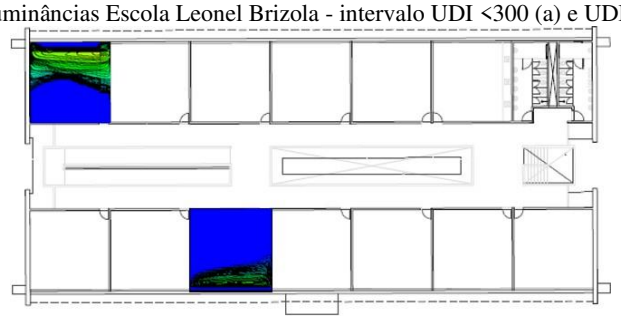


Figura 5 - Iluminâncias na Escola Leonel Brizola - intervalo UDI >2000

A escola Chico Xavier apresentou as menores iluminâncias ao longo do ano. Fato que se deve a orientação solar das salas analisadas, entre leste e sudeste. A frequência de iluminâncias no intervalo 300-2000 é elevada, em torno de 50% a 75%, com grande parte da sala apresentando frequência superior a 60%. Por outro lado, a frequência de iluminância superior a 2000 lux é reduzida a menos de 0,5% (Figuras 6 e 7).

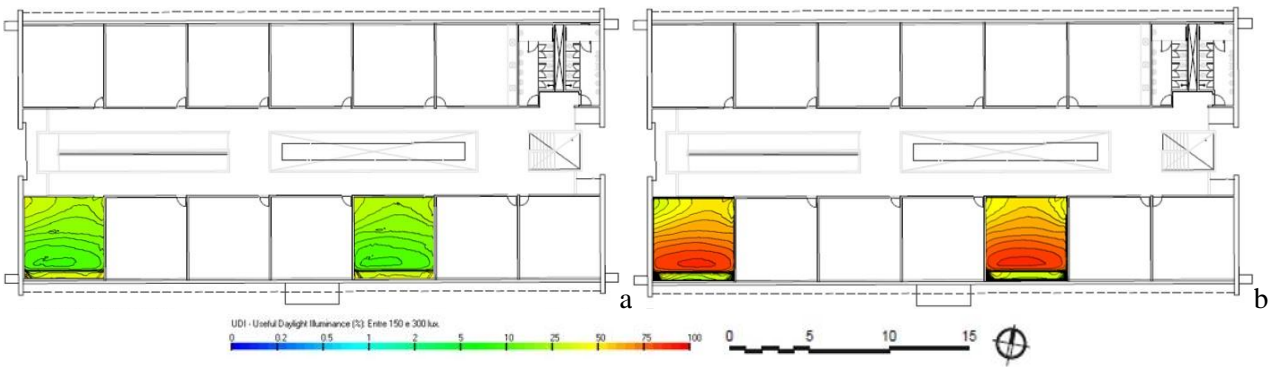


Figura 6 - Iluminâncias Escola Chico Xavier - intervalo UDI <300 (a) e UDI 300-2000 (b)

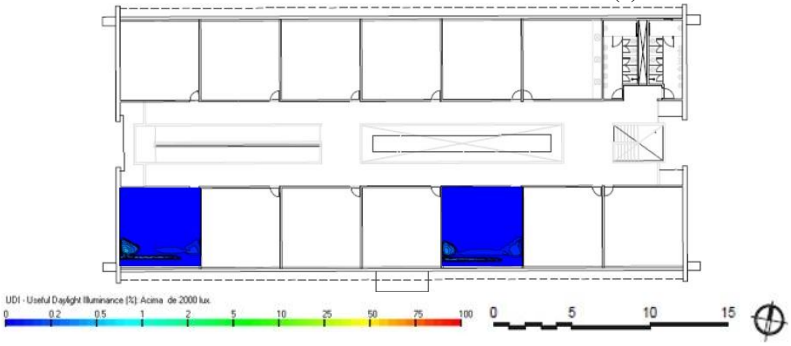


Figura 7 - Iluminâncias Escola Chico Xavier - intervalo UDI >2000

A Escola Radegundis Feitosa apresentou as maiores iluminâncias. A frequência de iluminâncias no intervalo 150-300 lux em torno de 10%-25%. No intervalo de 300-2000 lux predomina frequência superior a 75% em grande parte da sala. O intervalo acima de 2000 lux é significativo, em quase metade das salas a frequência é em torno de 10% a 25% (Figuras 8 e 9).

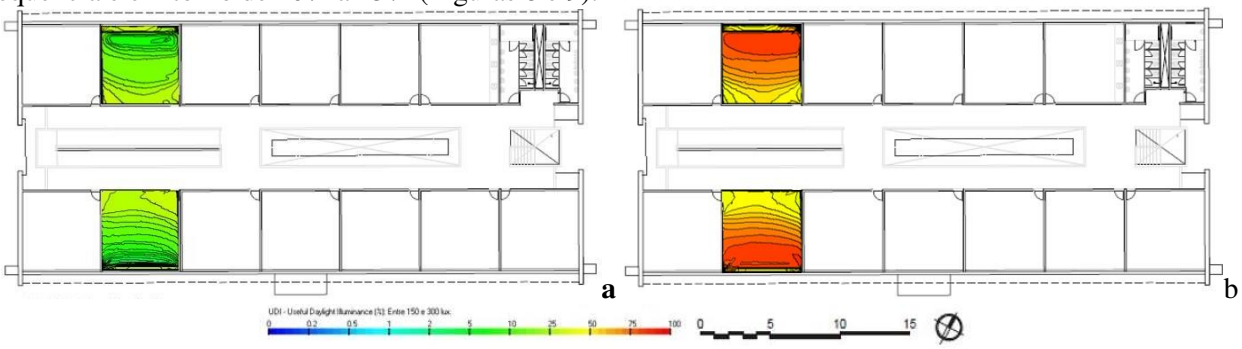


Figura 8 - Iluminâncias Escola Radegundis Feitosa - intervalo UDI <300 (a) e UDI 300-2000 (b)

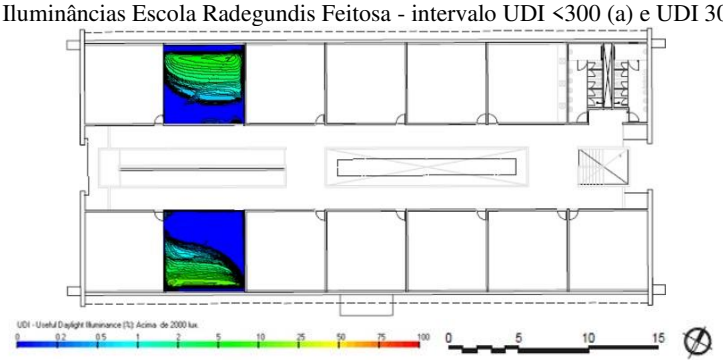


Figura 9 - Iluminâncias Escola Radegundis Feitosa - intervalo UDI >2000

4.4. Aplicação dos questionários

A aplicação dos questionários resultou em uma amostra de 112 alunos entrevistados. Sobre os dados demográficos, em relação ao sexo, a distribuição é desequilibrada em algumas salas, porém, na média resulta maior proximidade: 43,4% são crianças do sexo feminino e 56,6% do sexo masculino. Sobre a faixa etária, a maioria, 88,6% encontram-se na faixa entre 9 e 11 anos. Uma parcela menor, de 10,4%, está na faixa de 12 a 14 anos e uma pequena parcela, de 1%, não respondeu à pergunta. Em relação a limitações visuais, identificou-se que 16,4% dos alunos relatam utilizar óculos ou lente de contato.

Na Escola Leonel Brizola, sala 1, apesar das iluminâncias medidas *in loco* corresponderem a iluminâncias abaixo de 300 lux, 70% dos entrevistados consideraram a sala clara, e apenas alguns entrevistados consideraram a sala escura ou muito escura (18%). Quando questionados sobre como gostariam que a iluminação da sala fosse, 47% afirmaram que gostariam de uma sala mais clara ou um pouco mais clara. Quase metade da turma apresenta dificuldade em enxergar o quadro, 47%. A iluminação insuficiente (fraca) é apontada como principal motivo (29,5%), seguida do sol incidindo sobre o quadro, apontado por 11,7% dos entrevistados. Já em relação a dificuldade de leitura no plano de trabalho (carteira), esse número cai para 35% dos alunos, e os maiores problemas relacionados foram: dificuldade em enxergar as letras pequenas (41%) e iluminação insuficiente (29%). Na sala 2, todos os pontos apresentaram iluminâncias abaixo de 300 lux, sendo necessário destacar que a sala possui apenas duas, das seis luminárias existentes, em funcionamento. Mesmo com valores baixos, 53% dos alunos consideraram a sala clara, enquanto, 42% afirmaram achar a sala escura

ou muito escura. Quando questionados sobre como gostariam que a sua sala de aula fosse, foi possível observar um comportamento semelhante à sala 1, tendo em vista que 63% dos alunos afirmaram preferir que fosse mais clara ou um pouco mais clara. A grande parte dos alunos, 89%, relatou não ter dificuldade em enxergar informações no quadro. Ainda assim, a iluminação insuficiente (fraca) é apontada como um problema associado à visualização do quadro por 29% dos entrevistados, enquanto 10% afirmaram que a luz do sol sobre o quadro é um problema. A dificuldade com tarefas visuais sobre a mesa, associada à iluminação insuficiente (fraca) é apontado por 47% dos alunos.

Na Escola Chico Xavier, a sala 1 apresentou iluminância no intervalo recomendado pela norma, e apenas duas luminárias próximas à janela não estavam em funcionamento. Todos os alunos disseram que a sala é clara ou muito clara. 60% dos alunos preferem a sala mais escura, enquanto, 20% não desejam mudança. A dificuldade em enxergar informações no quadro foi relatada por 40% dos alunos, sendo que, para 50% dos entrevistados a causa é o sol incidindo sobre o quadro. No aspecto tarefas visuais sobre a mesa, 20% dos alunos relatam dificuldade, e 40% associam essa dificuldade à incidência de sol sobre a mesa. Na sala 2, foi constatado que os pontos distantes da abertura se encontram no intervalo desejável, porém, os pontos próximos à janela apresentaram valores extremamente altos, e apenas duas luminárias estavam funcionando. Grande parte dos entrevistados, 81%, consideraram a sala clara ou muito clara. O desejo de uma sala mais escura ou sem alteração foi manifestado por 60% dos entrevistados. A dificuldade em enxergar informações sobre o quadro é relatada por 46% dos alunos, e 20% associam essa dificuldade à incidência de radiação solar direta sobre o quadro. Também há dificuldade em enxergar textos sobre a mesa para 23% dos entrevistados. 13% consideram a iluminação sobre a mesa insuficiente (fraca).

Sobre a escola Radegundis Feitosa, na sala 1, 95% dos alunos acham a sala de aula clara ou muito clara, e 50% dos alunos gostariam que a sala fosse um pouco mais escura ou bem mais escura. Foi identificado que há dificuldade de enxergar informações sobre o quadro (61%) e que o principal problema é a incidência de sol sobre o mesmo (56%). Apenas 33% relataram ter alguma dificuldade de enxergar textos sobre a mesa, sendo estes: o sol batendo na carteira (11%) e dificuldade para enxergar letras pequenas (22%). Na sala 2 da escola Radegundis Feitosa, a maioria dos alunos acha que a sala é clara ou muito clara (89%), por outro lado, 67% dos alunos manifestou desejar uma sala mais escura ou sem alteração. Grande parte dos alunos (55%) indicaram que tem dificuldade em enxergar o quadro, e o principal problema é a luz do sol que incide sobre o quadro (33%), já em relação a mesa, 33% relataram dificuldade de enxergar o texto sobre a mesma e o principal problema é com as letras pequenas (28%).

5. CONCLUSÕES

A grande maioria dos alunos considera a sala de aula clara ou muito clara (menor percentual foi de 53%), mesmo nas situações onde as iluminâncias medidas foram inferiores a 300 lux. Contudo, nas salas onde as iluminâncias medidas são menores, predomina a preferência por uma condição de maiores níveis de iluminação (sala mais clara). Nas salas onde as iluminâncias são acima de 300 lux a percepção de que a sala é clara é maior, em torno de 80% a 100%. Ao mesmo tempo, os entrevistados relataram, nas salas mais iluminadas, maior frequência para o desejo de que a sala seja mais escura, em torno de 60%.

O problema mais frequente relatado em relação a enxergar informações no quadro e sobre a mesa (carteira) é a incidência de sol sobre o mesmo, seguido pela observação de iluminação insuficiente. Os entrevistados também relatam dificuldade na leitura de letras pequenas e alguns destacam a luz "fraca" como um problema. Todas as aberturas das salas investigadas recebem incidência solar. Nas escolas Chico Xavier e Radegundis Feitosa o problema é mais acentuado. Esse fato é claramente percebido nos resultados, pois a reclamação dos alunos em relação à presença de sol no quadro e nas mesas é maior nessas escolas, com uma média de 39% reclamações de sol sobre o quadro e de 15% de sol sobre a mesa. Na escola Leonel Brizola, onde a incidência de sol sobre a abertura, e, consequentemente, no ambiente interno, é menor, os relatos de perturbação com o sol no quadro são de 11% e não houve relato de sol sobre as mesas. A orientação das salas de aula na Escola Leonel Brizola, Norte e Sul, atende ao projeto original.

A insolação na sala pode ser atribuída como um elemento que influencia na percepção da iluminação, e afirmações de que a sala é clara podem estar associadas à incidência de sol em alguns momentos, fato que explicaria a percepção dos entrevistados em relação à sala 2 da escola Radegundis Feitosa, na qual 89% dos alunos a percebe como "clara ou muito clara". Esse resultado converge com os dados obtidos com a simulação, que apontam essa escola com maiores iluminâncias. Reflexos sobre o quadro também são problemas apontados com mais frequência nos ambientes onde as iluminâncias são maiores.

A simulação computacional mostrou-se adequada na investigação realizada por permitir ampliar as análises sobre as iluminâncias, assim como prever o desempenho dos ambientes ao longo do ano. Contudo, os resultados das simulações estáticas confrontados com as medições in loco, como esperado, são bastante

divergentes em algumas situações. Essas divergências são atribuídas ao tipo céu no momento da medição, bem como o tipo de céu do arquivo climático empregado nas simulações. Medição e simulação indicam a escola Radegundis Feitosa com maiores iluminâncias. A escola Chico Xavier, na medição, apresentou valores superiores à escola Leonel Brizola, contrariamente aos resultados da simulação que apontam a escola Leonel Brizola com iluminâncias superiores. Sobre esse resultado é relevante observar que a medição na escola Chico Xavier foi com a condição de céu claro, enquanto na escola Leonel Brizola a condição era de parcialmente encoberto. O resultado das simulações é condizente com a análise da máscara solar construída para as aberturas das salas de aula. A escola Chico Xavier recebe menos insolação, além disso, no período da manhã, quando a umidade relativa tende a ser maior (maior ação da atmosfera como filtro à radiação).

Evitar a incidência solar direta no interior da sala é uma necessidade básica que não está sendo atendida em nenhuma das salas analisadas. Mesmo a orientação prevista no projeto original não impede a incidência de luz solar direta nas salas de aula.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

_____NBR 5413: Iluminância de Interiores. Rio de Janeiro: 1992.

_____NBR 15.215-4: Iluminação natural – Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – Método de medição. Rio de Janeiro, 2004.

_____NBR 15.575: Edificações habitacionais — Desempenho, 2013.

COMMITTEE, IES-The Daylight Metrics. Approved Method: IES Spatial Daylight Autonomy (sDA) and Annual Sunlight Exposure (ASE). Illuminating Engineering Society of North America: IES, New York, USA, 2012.

ARIES, Myriam BC; AARTS, Mariëlle PJ; VAN HOOF, Joost. Daylight and health: A review of the evidence and consequences for the built environment. Lighting Research & Technology, v. 47, n. 1, p. 6-27, 2015.

BOUBEKRI, M. Daylighting, architecture and health: Building design strategies. Oxford: Elsevier, 144 p., 2008.

BERNARDI, Núbia. Avaliação da Interferência comportamental do Usuário para a Melhoria do conforto em ambientes Escolares: Estudo de caso em Campinas, SP. Unpublished master's thesis, State University of Campinas, São Paulo, Brazil, 2001.

HESCHONG, Lisa; WRIGHT, Roger L.; OKURA, Stacia. Daylighting impacts on human performance in school. Journal of the Illuminating Engineering Society, v. 31, n. 2, p. 101-114, 2002.

MARDALJEVIC J.; NABIL A. Useful Daylight Illuminance: A New Paradigm to Access Daylight in Buildings. Lighting Research & Technology, Vol.37, Nº 1, 2005.

OLIVEIRA, Gimaoli C. de. Estudo do Potencial de Aproveitamento da Iluminação Natural em Escolas Municipais de João Pessoa – PB. 2012. Dissertação (Mestrado em Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal da Paraíba.

REINHART, Christoph F.; WIENOLD, Jan. The daylighting dashboard–A simulation-based design analysis for daylit spaces. Building and environment, v. 46, n. 2, p. 386-396, 2011.

VÁSQUEZ, N. G. Ensaio de caracterização dos campos visuais de crianças em salas de aula: identificação dos componentes arquitetônicos de maior influência. 2011.Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – UFSC.

VÁSQUEZ, Natalia Giraldo; PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay; KUHNEN, Ariane. Preferências visuais das crianças em salas de aula de educação infantil: uma aproximação experimental. Ambiente construído, v. 18, n. 3, p. 11-28, 2018.

VEITCH, J. A. Workplace design contributions to mental health and well- being. NRC Publications Archive. Ottawa, Ontario, Canada: National Research Council Canada, Institute for Research in Construction, 2011.

DE GIULI, V.; DA POS, O.; DE CARLI, M.. Indoor environmental quality and pupil perception in Italian primary schools. Building and Environment, Padova, v. 56, p. 335-345, out./2012.

FIGUEIRO, M. G.; NAGARE, Rohan; PRICE, L. L. A. Non-visual effects of light: How to use light to promote circadian entrainment and elicit alertness. Lighting Research & Technology, v. 50, n. 1, p. 38-62, 2018.

GOU, Zhonghua; KHOSHBAKHT, Maryam; MAHDOUDI, Behnam. The impact of outdoor views on students' seat preference in learning environments. Buildings, v. 8, n. 8, p. 96, 2018.

HOPKINSON, R.G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. Iluminação Natural. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1966.

KOWALTOWSKI, Doris CCK. Arquitetura escolar: o projeto do ambiente de ensino. Oficina de textos, 2011.

KULLER, Rikard; LINDSTEN, Carin. Health and behavior of children in classrooms with and without windows. Journal of Environmental Psychology, Lund, v. 12, n. 4, p. 305-317, dez./1992.

NISSOLA, Liliane Janine et al. A influência da luz natural na probabilidade de ocorrência de ofuscamento em ambientes com terminais de vídeo: um estudo de caso. 2005.

STEWART, Duncan M. Attitudes of school children to daylight and fenestration. Building and Environment, Liverpool, v. 16, n. 4, p. 267-277, jan./1981.

ZANDE, &. V. D. et al. Lighting affects students' concentration positively: Findings from three Dutch studies. Lighting Research and Technology, Eindhoven, v. 45, n. 2, p. 159-175, abr./2013.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte financeiro concedido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes).

Agradecimento ao apoio recebido do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, através do edital MCTIC/CNPq Nº 28/2018 - Universal/Faixa B (Processo: 434583/2018-9).