

Avaliação da Luz Natural em Ambientes Escolares a partir de Modelagem Computacional e Sistemas de Controle de Iluminação Artificial

S. Z. Treichel^{1*}, M. S. Ortiz², J. M. A. Espinoza², R. B. Bastos², J. N. Jun Junior², U. S. de Brito², D. C. Leal Alves²

¹Universidade Federal do Rio Grande, CEP 96201 – 460, Rio Grande - RS, Brasil

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Câmpus Rio Grande, CEP 96201-460, Rio Grande – RS, Brasil

suzziytreichel@hotmail.com; mauricio.ortiz@riogrande.ifrs.edu.br; jean.espinoza@riogrande.ifrs.edu.br; renanbrancob@gmail.com; jenamjunior@hotmail.com; ursulasabino123@gmail.com; dclealalves@gmail.com

(Recebido em 06 de dezembro de 2013; aceito em 29 de janeiro de 2015)

Resumo: O presente trabalho baseou-se na modelagem computacional como ferramenta de avaliação da dinâmica da iluminação de ambientes escolares, buscando apontar formas de controle de iluminação artificial que aumentem a eficiência destes sistemas. A iluminação natural é um condicionante importante no provimento do bem-estar e da qualidade ambiental, tendo impacto relevante na redução do uso de energia. O presente estudo teve por objetivo calcular as iluminâncias internas dos ambientes de interesse, a partir de medições *in situ* efetuadas por um dispositivo de medida protótipo, desenvolvido com o uso de um sensor *LDR* (resistor dependente de luz) e um microcontrolador Arduino®. Com os dados coletados e medidas de orientação, aberturas, área, ocupação e volume dos ambientes, foi implementado um modelo físico de modelagem computacional voltado à determinação da dinâmica da iluminação. Como resultado, obtiveram-se dados de iluminação e cenários apontando as alternativas de otimização da iluminação destes ambientes.

Palavras-chave: Iluminância, modelo físico, modelagem computacional.

Evaluation of natural light in classrooms using computation modeling and artificial lighting control systems

Abstract: This study was based on computational modeling as a dynamic assessment tool lighting school environments, seeking to identify forms of artificial lighting control to increase the efficiency of these systems. Natural lighting is a major constraint in providing welfare and environmental quality, with significant impact on reducing energy use. This study aimed to calculate the internal illuminance of interest environments, from *in situ* measurements made by a prototype measuring device, developed with the use of a sensor *LDR* (light dependent resistor) and a microcontroller Arduino®. With the data collected and management measures such openings, area, occupancy and volume environments, a physical model of computer modeling aimed at determining the dynamic lighting was implemented. As a result, there was obtained lighting data and scenarios pointing some alternatives to optimizer the illumination of these environments.

Keywords: Illuminance, physical model, computation modeling.

1. INTRODUÇÃO

A iluminação natural exerce um papel importante para o bem estar psicológico, fisiológico e para o bom desempenho das atividades sobre os usuários das edificações [1]. Atualmente, a iluminação é uma preocupação tanto no meio residencial como empresarial, visto que ela não se relaciona apenas com o aspecto visual. Em muitos casos, uma iluminação ineficiente pode diminuir a produtividade de quem está no ambiente ou causar mal-estar.

No contexto do ensino e aprendizado, a preocupação com a qualidade ambiental nas edificações escolares deve ser uma prática, uma vez que os alunos gastam mais tempo nos

ambientes internos da escola do que em sua própria edificação residencial [2]. Um desempenho ambiental satisfatório envolve um correto planejamento arquitetônico, diante de diferentes condições ambientais, as quais influenciarão na qualidade acústica (proteção de ruídos intrusivos, inteligibilidade dos usuários do ambiente) e, ainda, nas condições ideais de visão e iluminação, natural ou artificial, entre outros aspectos [3].

Outro problema relacionado a iluminação é o consumo de energia de forma que, é cada vez mais comum a busca por tecnologias eficientes e econômicas. Para tal, alguns projetos arquitetônicos têm procurado além de tecnologias que consumam menos energia (como lâmpadas de LED, por exemplo), a utilização da iluminação natural recebida pela luz solar. Considerando que essa pode variar de acordo com horário do dia, com as condições atmosféricas e em relação aos períodos do ano, ela necessita ser complementada pela iluminação artificial.

Um projeto de iluminação natural em um edifício, segundo [4], deve ser feito na etapa inicial do projeto, pois as principais variáveis de aproveitamento da iluminação estão intimamente ligadas a forma, dimensões e posicionamento da construção. Escolhas iniciais de projeto como a orientação do edifício, seu tamanho, posicionamento e orientação das aberturas, são importantes para o estabelecimento do conforto ambiental de um determinado ambiente. Independente de sua finalidade, a principal função da edificação é propiciar a seus usuários conforto para o desenvolvimento de suas atividades, gerando um ambiente com condicionantes climáticas e ambientais apropriadas [3].

Para um bom projeto de iluminação, o projetista precisa entender como a iluminação natural age sobre o ambiente, propondo estratégias para alcançar os efeitos desejados [1]. Um projeto de iluminação basicamente se divide em três categorias: (1) a etapa da definição onde o problema é determinado, apresentando possíveis soluções para o mesmo; (2) a etapa do cálculo que consiste na análise qualitativa e quantitativa através de expressões numéricas, e, (3) a avaliação, onde é verificado se a solução proposta atende os requisitos do problema.

Cada vez mais, o uso de ferramentas computacionais de simulação tem contribuído para o entendimento de problemas físicos complexos como, por exemplo, a dinâmica acústica ou de iluminação de um ambiente. O uso de simulações computacionais, através de modelos físicos em escala tem sido bastante utilizados para a delimitação dos limiares de conforto térmico, acústico e de iluminação de ambientes, caracterizando-se como uma alternativa barata e de fácil manipulação [3], [1].

A simulação computacional específica para a iluminação, auxilia no desenvolvimento e nas diretrizes do projeto arquitetônico, tornando o ambiente mais eficiente do ponto de vista energético e mais eficaz quanto a sua utilização. A partir do exposto, o presente estudo visa mostrar as vantagens e a importância de métodos diferenciados na avaliação da disponibilidade de luz natural em ambientes escolares, para fins de conforto dos estudantes, detalhando os procedimentos de confecção de um modelo físico simplificado para a avaliação qualitativa da luz natural e apresentando suas principais vantagens e desvantagens em relação a simulação computacional. O estudo visa também a implementação de um sistema de controle de iluminação artificial de um ambiente interno em resposta a iluminação natural.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

O estudo foi conduzido nas salas 407 e 408 do Pavilhão 04 do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – IFRS, Câmpus Rio Grande (Fig. 1). O Pavilhão 04 é caracterizado como sendo um dos espaços de maior circulação e uso por parte dos estudantes desta instituição. A sala 407 foi escolhida por apresentar suas fachadas voltadas para orientação solar sul e leste, sendo duas aberturas voltadas para leste e uma para sul. A sala 408 foi escolhida por apresentar suas fachadas voltadas para sul e oeste, com duas aberturas voltadas para oeste e uma para sul. Este conjunto de salas constitui os extremos do déficit de iluminação local, perfazendo uma amostra significativa para avaliação do desempenho da iluminação local.

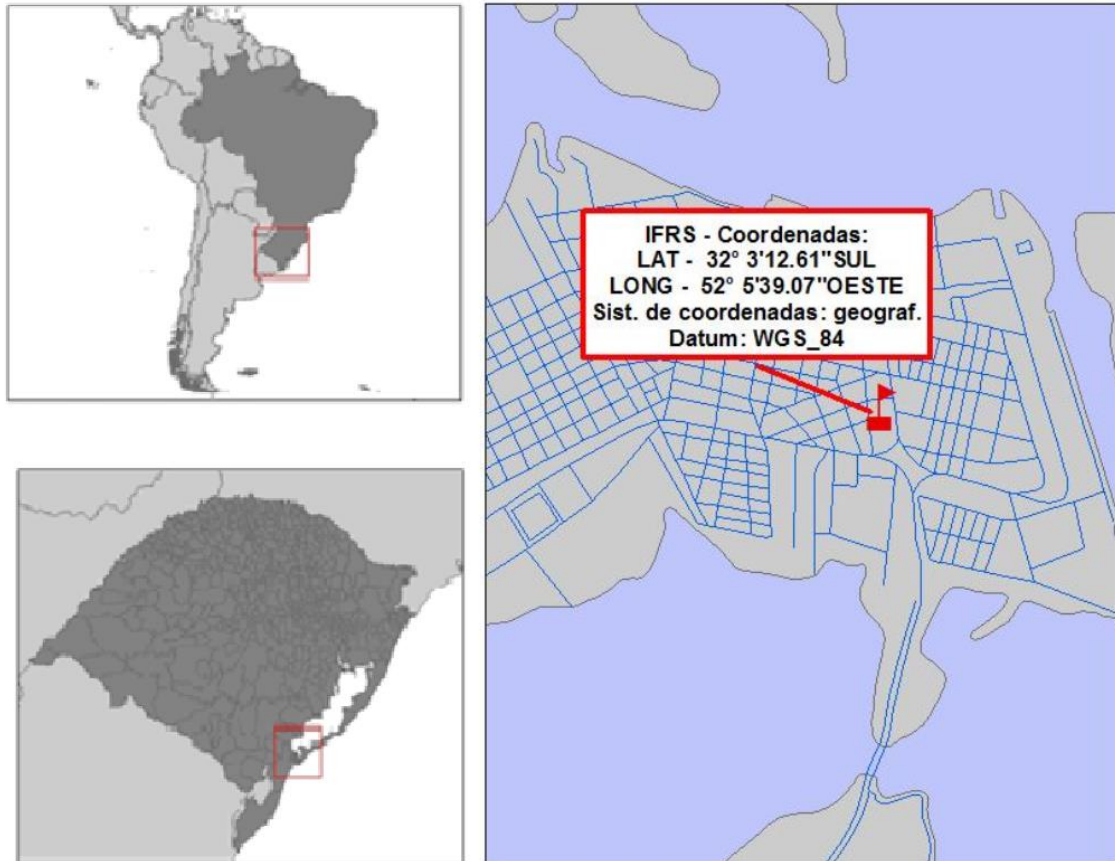


Figura 1: Localização da área de estudo.

2.2. Elaboração do Modelo Físico Simplificado

O primeiro passo para a confecção da modelagem física da iluminação consistiu da seleção do ambiente a ser analisado. Esse local poderia ser um ambiente já construído, ou ainda em projeto. Caso seja um ambiente construído é necessário fazer fotografias e mediações de todos os elementos do local para assegurar que o modelo se aproxime, dentro de suas limitações, do problema real, construindo a modelagem com parâmetros dos materiais com as mesmas características dos materiais reais.

Após a escolha do ambiente com as referências de aspecto e dimensões identificadas, construiu-se o modelo de simulação do ambiente de interesse, respeitando a escala e as propriedades físicas dos materiais. Essa etapa depende muito da criatividade do confeccionador em relação às escolhas dos materiais a serem utilizados, onde inicialmente são necessários materiais como: uma lente (olho mágico) com abertura angular de aproximadamente 200° , uma caixa de papelão, tesoura, cola, régua e demais materiais que se aproximem dos reais, em relação à cor, refletância, translucidez entre outras características. A Figura 2 mostra o processo de montagem do modelo.

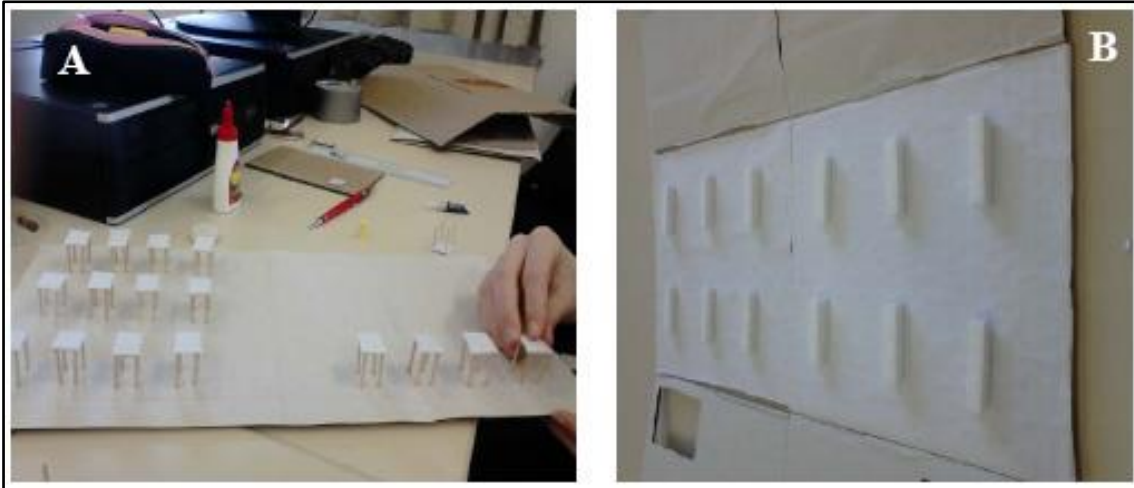


Figura 2: Confeção de elementos do modelo - (a) etapa de confecção das classes e (b) etapa de confecção das luminárias.

Para a confecção do modelo físico para a análise qualitativa da luz natural foi adaptada uma caixa de papelão para as medidas (52cm x 21cm x 12,8cm). As dimensões caracterizam uma escala representativa do ambiente, no caso desse estudo 1:25 (i.e., 25 vezes menor do que o ambiente real). A partir do modelo físico simplificado foram realizadas avaliações qualitativas, onde estas tiveram por base fotografias pelo olho mágico. Para uma comparação com os outros dois métodos as fotografias foram obtidas nos mesmos dias e horários. O posicionamento da maquete (Fig. 3) para a realização das fotografias foi feita de maneira a alcançar grandes semelhanças com o ambiente real, obedecendo às orientações das fachadas.

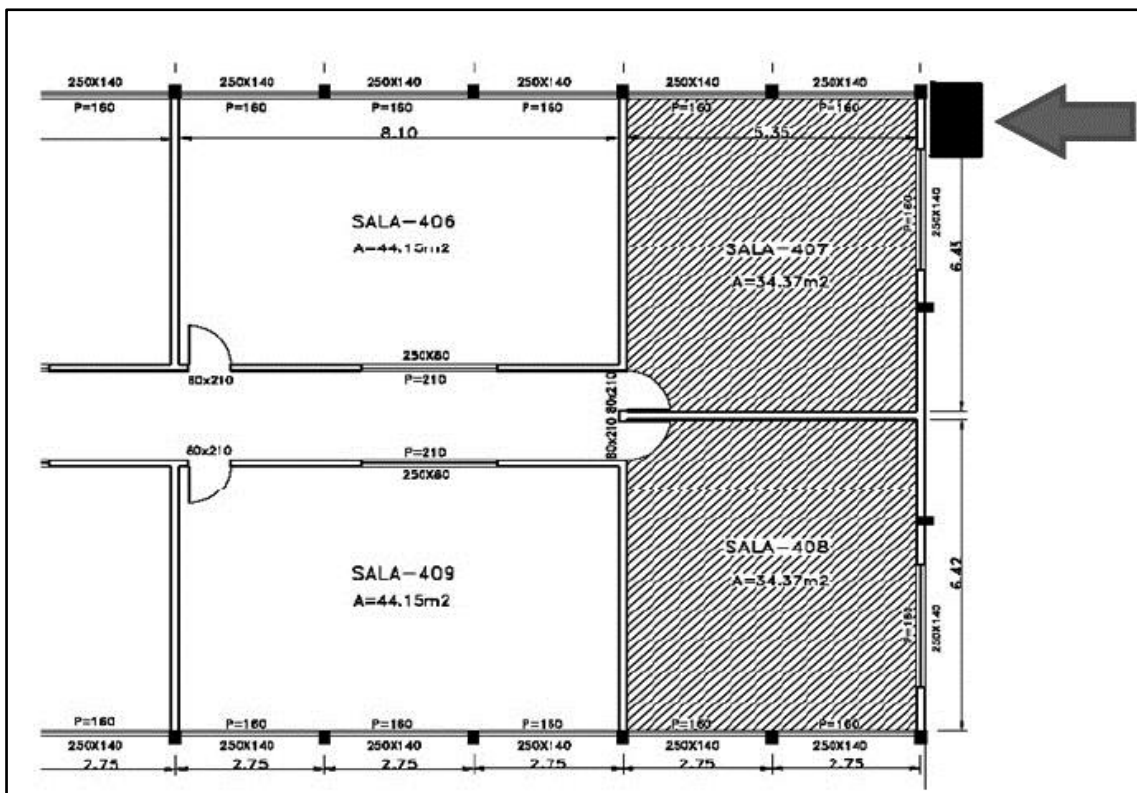


Figura 3: Posicionamento do modelo em relação às salas analisadas.

2.3. Medições *in situ* no Ambiente Real

O procedimento de medição da iluminância nos ambientes foi realizado de acordo com a [5] e [6]. Pela frequente variação das condições de iluminação natural, a norma recomenda verificar a iluminação em diferentes horas do dia e também em diferentes épocas do ano.

Para dar início às medições foram levadas em conta algumas considerações da norma tais como: considerar a quantidade de luz no plano de tarefa, manter o sensor do equipamento de medição paralelo a superfície, evitar sombra sobre a fotocélula e expor a fotocélula a luz por aproximadamente cinco minutos antes da leitura. Seguindo estes procedimentos, realizou-se o ensaio de iluminação sobre o modelo (i.e., maquete em escala), obtendo-se os respectivos valores de iluminância e demais variáveis de interesse a iluminação (e.g., orientação, cor, entre outros)

Para determinação da quantidade de pontos necessários para caracterizar adequadamente o plano de tarefa foi utilizada a equação de determinação do índice do local (Eq. 1). Este índice caracteriza a forma de condução do ensaio de iluminação, permitindo determinar o número de pontos de medida a ser realizadas.

$$K = \frac{C \cdot L}{H_m \cdot (C + L)} \quad (\text{Equação 1: índice do local})$$

Onde:

L – Largura do ambiente em metros (m);

H_m – Distância vertical em metros (m) entre a superfície do trabalho e o topo da janela;

C – Comprimento do ambiente em metros (m).

A partir dos valores de “K” foi possível determinar a quantidade mínima de pontos de medição a partir da escala adotada pela [6] (Tab. 01). A distribuição da malha de pontos para as salas 407 e 408 é apresentada na Figura 4.

Tabela 01: Quantidade mínima de medição de pontos. Fonte: NBR 15215-4.

Intervalos de K	Número de Pontos Medidos
K < 1	9
1 ≤ K < 2	16
2 ≤ K < 3	25
K ≥ 3	36

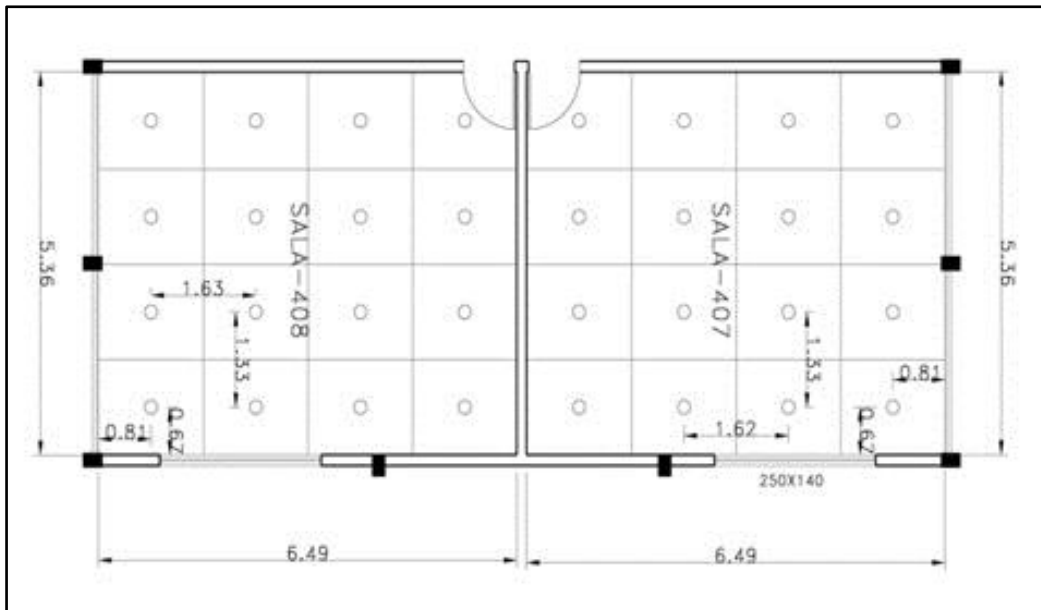


Figura 4: Distribuição da malha de pontos para as salas 407 e 408, a partir dos valores de “K”.

2.4. Zoneamento do Ambiente

O zoneamento dos ambientes foi feito tanto para as análises das medições *in loco* quanto para as análises dos resultados das simulações computacionais. Esse procedimento teve como base o estudo de [7], o qual define cinco zonas que qualificam a iluminação natural através de intervalos (Tab. 2) onde são consideradas a iluminância medida no ponto (E_{med}) e a iluminância de projeto (E_p) como sendo de dada por um limiar de 300 lux. Com esse procedimento foi possível determinar o nível de iluminação de cada ponto de análise das salas de aula.

Tabela 2: Classificação das zonas a partir do intervalo de iluminância.

Intervalo de Iluminância	Zona	Classificação
$E_{med} < 0,5 \cdot E_p$	Insuficiente	Ruim
$0,5 \cdot E_p < E_{med} < 0,75 E_p$	Transição inferior	Regular
$0,75 E_p < E_{med} < 1,25 E_p$	Suficiente	Aceitável
$1,25 E_p < E_{med} < 5 E_p$	Transição superior	Bom
$E_{med} < 5 E_p$	Excessiva	Ruim

A cor de um ambiente tem fator determinante sobre a dinâmica da iluminação [1]. Para uma melhor caracterização da iluminância, nos pontos de iluminação, foi atribuída uma escala de cores (Tab. 3).

Tabela 3: Classificação das zonas de iluminação.

Zona	Classificação	Cor
Insuficiente	Ruim	Azul
Transição inferior	Regular	Azul claro
Suficiente	Aceitável	Amarelo
Transição superior	Bom	Verde
Excessiva	Ruim	Vermelho

2.5. Simulação Computacional

Para a etapa de simulação computacional foi utilizado o *software* APOLUX®, o qual permite se obter o comportamento da luz natural a partir de parâmetros como: (1) orientação solar; (2) reflexão do material, tanto no teto quanto no piso; e, (3) reflexão para as paredes. Inicialmente foi criada no *software* AUTOCAD® uma representação digital do ambiente ao qual seriam realizadas as simulações. A opção pela confecção do desenho AUTOCAD® se deu pelo fato do mesmo ter como dados de saída a extensão “.dxf”, a qual é reconhecida pelo *software* APOLUX®, o que permitiu a importação dos dados de representação digital dos ambientes de interesse.

Além do dimensionamento do ambiente, dados de localização e orientação espacial são determinantes diretos da iluminação sendo então exigidos ao longo da modelagem. Para que o modelo conseguisse reconhecer de forma correta a orientação das fachadas e as faces do desenho, foi preciso orientar o início da confecção do desenho na origem do sistema cartesiano (ponto de coordenadas $x=0$, $y=0$ e $z=0$), com o eixo “y” apontando em direção da fachada norte (Fig. 5).

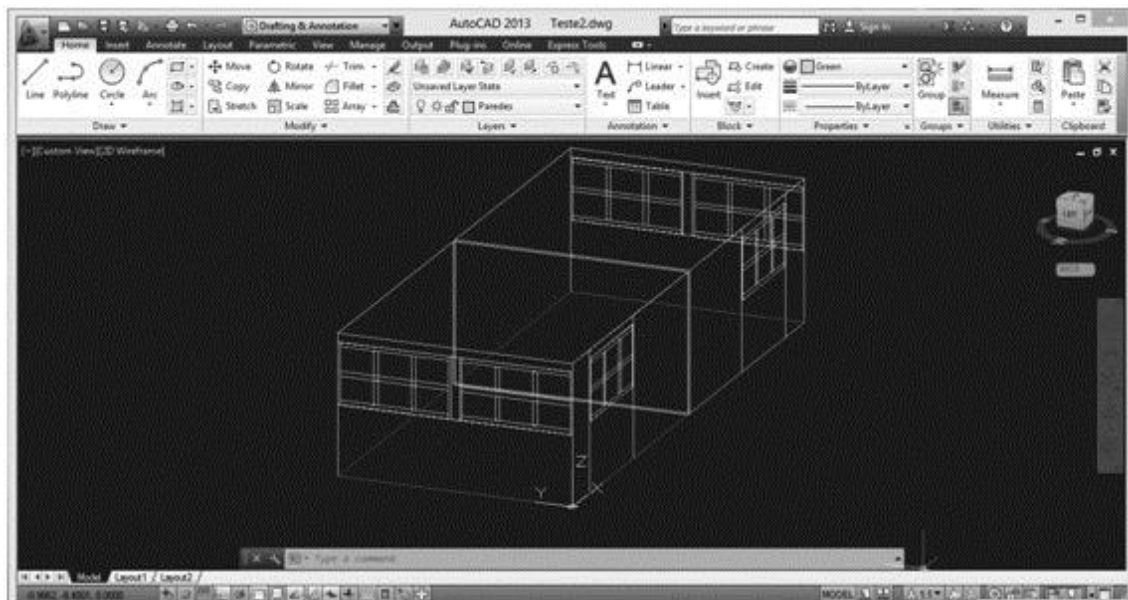


Figura 5: Captura de tela do *software* AUTOCAD® para determinação da orientação solar do projeto de interface do *software* APOLUX®.

Esse procedimento de ajuste da orientação do desenho é necessário para que o modelo possa reconhecer os tipos de face do projeto, se a face é opaca, transparente ou se não existe face fechada, ou se existe apenas um vão, por exemplo. Posteriormente, com uso da ferramenta

“3Dface” do *software* AUTOCAD® foram criados diferentes *layers* para os componentes do teto, piso, paredes, bem como para outros pontos de análise.

As simulações foram aplicadas em dois módulos do APOLUX®: o módulo fractal e o módulo fóton. Os pontos utilizados para as simulações foram os mesmos escolhidos nas medições realizadas *in situ*. No módulo fractal foi atribuída, em termos de reflectância do material, valores de 85% para o teto, 90% para o piso e 85% para as paredes, além do valor de 0,01 m para as configurações de fracionamento. É importante destacar que, para esses percentuais, a cor¹ do ambiente influencia nos valores de reflectância.

No módulo fóton foi definida a configuração de globo como “Globo 6”, e abóboda tendo como latitude para cidade do Rio Grande: -32.02° e -52.05° , o que é compatível com as condições de angulação solar local [1]. Em análise as saídas do módulo fóton, considerou-se apenas o conjunto de dados referentes ao comportamento da luz natural, desprezando-se a luz artificial.

De maneira a simplificar a análise e reduzir o processamento de dados envolvido, determinou-se a simulação a um conjunto de quatro dias, de maneira que cada dia simulado representasse um dia típico (i.e., médio) de cada estação do ano. Os dias selecionados foram, respectivamente, 21 de março, 22 de julho, 21 de setembro e 23 de dezembro, com a faixa de horários estabelecida para às 8hs, 12hs, e 16hs.

Na simulação foram considerados os seguintes tipos de céu fornecidos pelo programa: Céu encoberto (CIE – padrão céu encoberto) e céu claro (CIE – padrão céu claro I). A partir dos dados de saída do APOLUX® foi possível realizar comparações com as fotos do modelo físico simplificado, a fim de se avaliar o potencial e as limitações de cada método.

2.6. Elaboração do Sistema de Controle de Iluminação Artificial

A construção do protótipo do sistema de controle de iluminação artificial foi utilizado um microcontrolador *Arduino*⁴ modelo UNO. O *Arduino* é uma placa de desenvolvimento dotada de conexões digitais e analógicas [8] que apresenta um baixo custo.

Ao *arduino* (Fig. 6) foi acoplado um sensor LDR, com fins de determinar a iluminância local de forma indireta, através da determinação de uma relação linear entre a variação de resistência elétrica do LDR e a iluminância incidente sobre este. Como fontes luminosas foram inseridas fitas de LED no sistema, as quais têm como características baixo consumo, um bom potencial econômico e a possibilidade de dimerização.

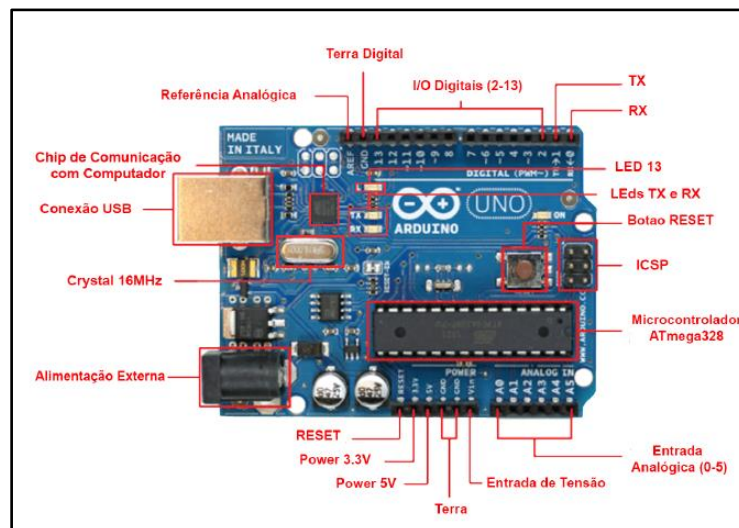


Figura 6: Microcontrolador Arduino.

¹ A cor constitui a porção luminosa do espectro refletida por um certo alvo (i.e., conceito de cor para objetos sem luz própria – objetos iluminados). Mais detalhes disponíveis em [9].

No que diz respeito ao controle do sistema, o microcontrolador Arduino faz uma leitura no sinal emitido pelo LDR e, então, envia um sinal de resposta para a base de um transistor. Para a leitura do sensor LDR ser utilizada nos testes foram necessárias verificações de comportamento quanto à forma de inserção do sensor no protótipo, bem como as interferências de alinhamento em sua instalação.

O Sistema de controle da iluminação artificial proposto constituiu-se de um sensor de iluminação (LDR), um microcontrolador Arduino®, responsável por receber o sinal analítico do sensor LDR e produzir o sinal de controle para as fontes de iluminação e as fontes de iluminação artificiais adotadas (fitas de LED). A simplificação gráfica do sistema proposto representa-se pela Figura 7.

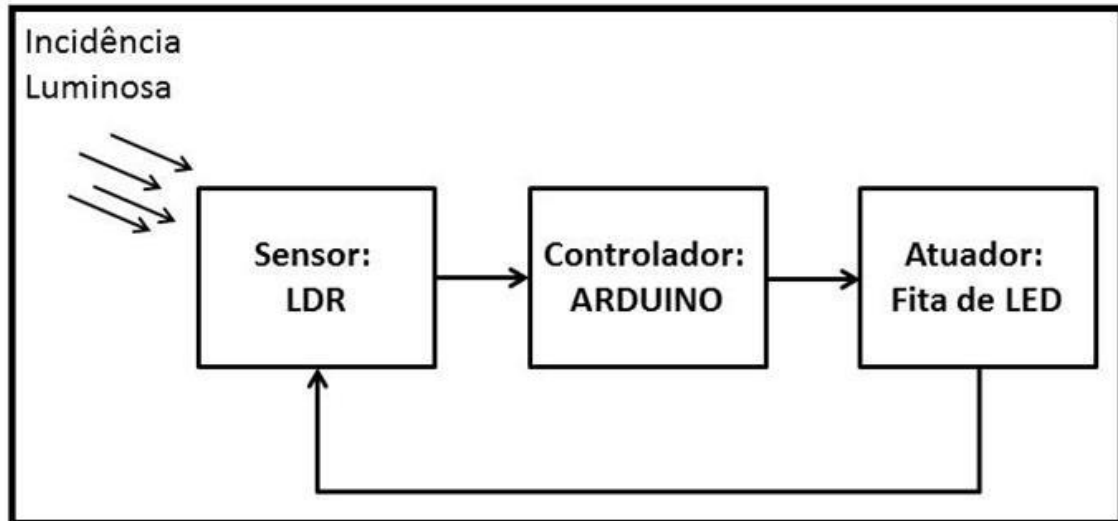


Figura 7: Fluxo de controle do sistema.

O protótipo construído para sistema de controle automático de iluminação artificial foi elaborado em escala reduzida, visto que a propagação da luz no modelo reduzido corresponde às proporções e orientação da edificação real. O ambiente escolhido tem 10 m de comprimento, com 6 m de largura e pé direito de 3 m (Fig. 8). O protótipo foi reduzido a uma escala de 1:10, com iluminação natural através de uma janela total com 1,5 m de altura a 1m do chão e 6 m de largura.

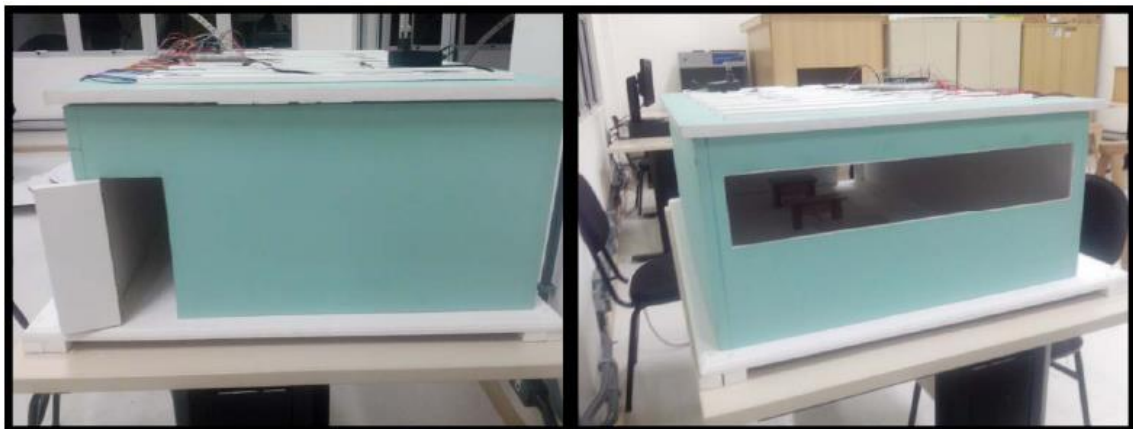


Figura 8: Modelo físico utilizado para simulação do sistema de controle de iluminação artificial.

Considerando-se que a luz natural será observada com mais intensidade na região próxima a janela, o ambiente foi dividido em zonas de iluminação, onde foram agrupados em relação a intensidade de luz incidente em cada ponto. Dessa forma, cada zona de aplicação apresenta seu próprio sistema de controle de iluminação, com sensor de iluminação fornecendo

informações do monitoramento para um controlador decidir os estados possíveis dos atuadores, ou seja, as lâmpadas em busca do equilíbrio entre a luz natural e a artificial.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das medições *in situ* nos ambientes reais para o dia 12/09/2014, horário das 13hs com condições de céu encoberto, mostram que houve uma maior uniformidade da iluminação para o ambiente da sala 407 (Fig. 9). Neste local, os limiares encontrados estão variando entre 121lux a 582lux. Para a sala 408 foi observada uma baixa uniformidade, com valores de iluminância variando entre 132lux a 1856lux. O padrão não uniforme apresentado na sala 408 pode acarretar em uma situação de desconforto visual, ou até mesmo de ofuscamento em virtude das grandes mudanças de iluminação apresentadas de um ponto para outro.

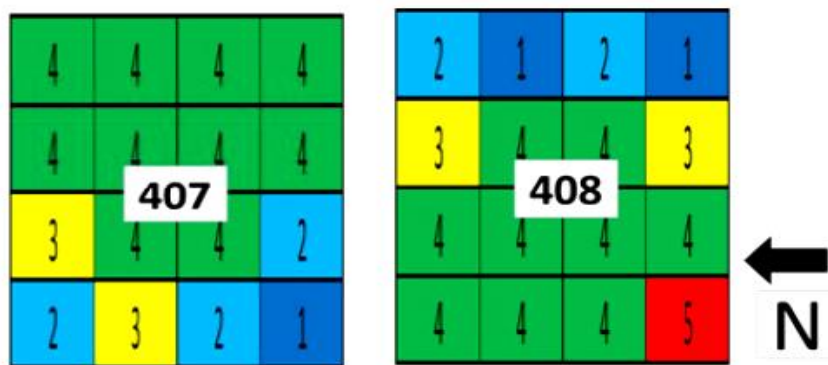


Figura 9: Condições de iluminação nos ambientes estudados.

Com as imagens do modelo físico simplificado foi observada uma iluminação excessiva na sala 408, principalmente perto das aberturas, explicado pelo ofuscamento mostrado na Figura 10-B. Na sala 407 também foi observado um nível alto de iluminação, porém esse foi em caráter mais uniforme (Figura 10-A).

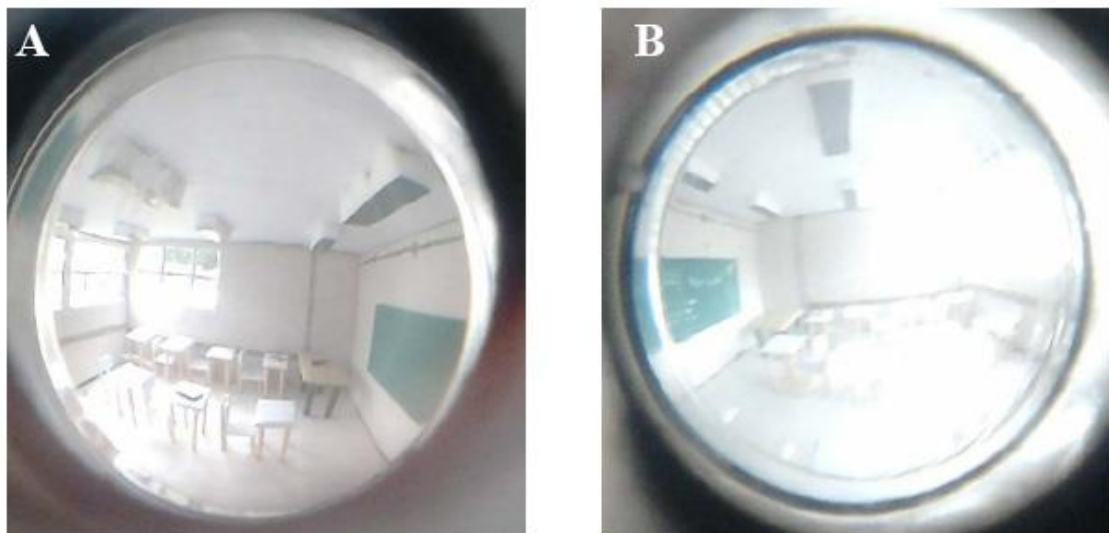


Figura 10: (a) imagens de iluminação do modelo físico para a sala 407 em 19/12/2014 – 13hs; (b) imagens de iluminação do modelo físico para a sala 408 em 19/12/2014 – 13hs.

Os dados de saída apresentados pelo *software* APOLUX®, para as simulações realizadas no período da manhã (Fig. 11), mostram que para as imagens resultantes de

simulação em dias de céu claro, a incidência do Sol ocorre de forma direta na sala 407, a qual possui sua fachada voltada para leste. Em contrapartida, para a sala 408, a qual tem sua face voltada para oeste, as maiores incidências de Sol ocorrem no período da tarde (Fig. 12).

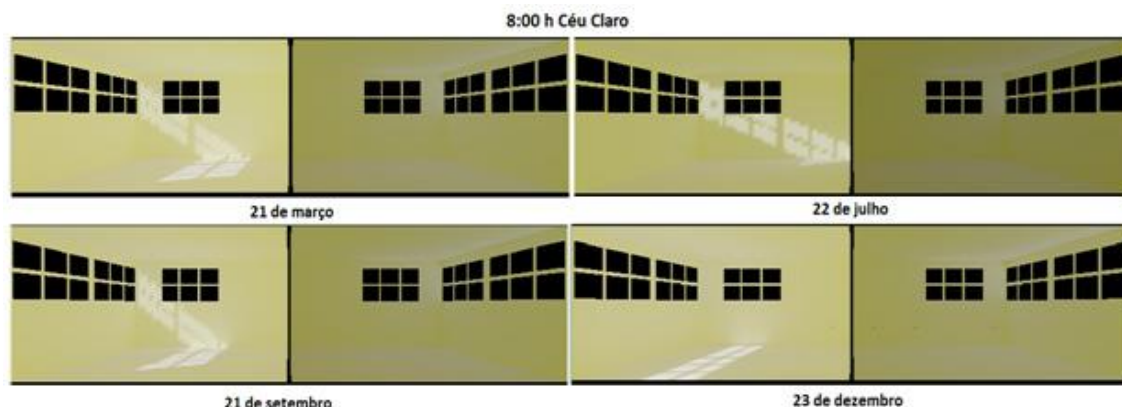


Figura 11: Imagens geradas pelo APOLUX®, para situações de céu claro, às 8hs da manhã, para os diferentes dias analisados.

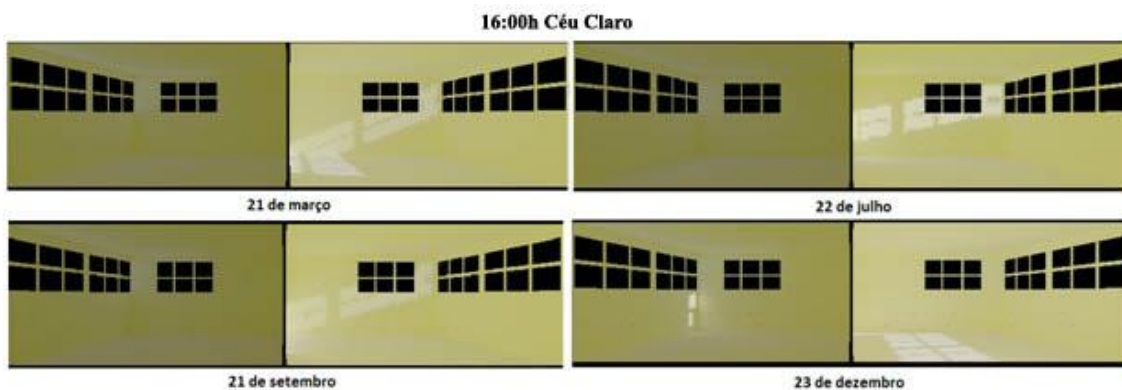


Figura 12: Imagens geradas pelo APOLUX®, para situações de céu claro, às 16hs da tarde, para os diferentes dias analisados.

A partir da análise das figuras 11 e 12 pode-se observar que em situações de céu claro, o comportamento das salas de aula com orientações leste e oeste se enquadra em uma situação de desconforto. As 12hs, o Sol quase não incide diretamente nas salas analisadas, gerando uma iluminação mais difusa e muito forte (Fig. 13).

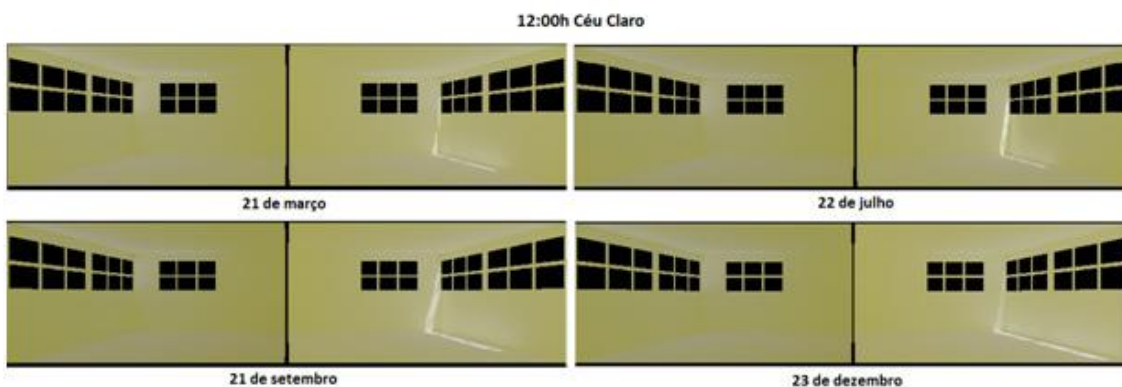


Figura 13: Imagens geradas pelo APOLUX®, para situações de céu claro, às 12hs, para os diferentes dias analisados.

Para os dados obtidos a partir do sistema de controle de iluminação artificial, aferiram-se pequenas variações em termos de iluminância, tendo por base a luz que incidia sobre os sensores. As variações, quando detectadas, ocorriam apenas entre dois níveis de iluminação. Esse resultado pode ser atribuído ao fato da programação do controlador Arduíno® ter considerado uma linearidade na resposta do LDR, o que consiste em uma aproximação grosseira do comportamento real deste sensor.

As amplitudes medidas para o sensor LDR foram de 0 a 10.000 lux de forma que, a maior iluminância observada no protótipo foi de cerca de 700 lux, excedendo em 200 lux o valor desejado de luz no ambiente proposta pela norma [6] para ambientes escolares. [10] destacam que o uso correto da iluminação natural é fundamental no desenvolvimento da qualidade ambiental, tendo como consequência a saúde dos ocupantes e a possibilidade de economia energética.

Os resultados apresentados demonstram um conjunto metodológico prático para a simulação de ambientes no que tange o comportamento da iluminação artificial. Simular o comportamento da iluminação em modelos em escala e *softwares* de simulação como o APOLUX® permite ao projetista isolar variáveis como a angulação solar, a orientação e o tamanho das aberturas, possibilitando determinar a contribuição de cada um destes fatores no comportamento luminotécnico observado.

Considerando os diferentes níveis de iluminância natural sobre um ambiente, tem-se como um ponto de grande relevância o controle espacial da iluminação artificial de um ambiente. Desta forma, construir um sistema de controle da iluminação artificial permite uma melhor distribuição da iluminação e uma equalização da iluminância ao longo dos ambientes.

4. CONCLUSÃO

Comparando os métodos utilizados para analisar o comportamento da iluminação natural, observa-se que nas medições realizadas em períodos de insolação indesejável (próximo às 13 horas) e em situação de céu encoberto, os valores de iluminância se apresentaram elevados. Esse efeito também pode ser observado na modelagem com uso *software* APOLUX®, onde foi diagnosticado um ofuscamento nos pontos de maior iluminância.

Independente da condição de céu, os dados obtidos *in situ* apresentaram valores elevados de iluminância, acima dos limites estabelecidos pela [6], corroborando com os dados obtidos por simulação. Estes altos valores, considerando a localização do ambiente em uma zona de médias latitudes, não está diretamente ligado a iluminância solar local. Os valores mais elevados se justificam pelas características da edificação, como aberturas e orientação das aberturas, por exemplo.

Para as simulações, a grande incidência de luz diagnosticada possibilita aos gestores escolares locais identificar alguns possíveis pontos para instalação de elementos de controle da luminosidade. Isso irá possibilitar a utilização de componentes de baixo custo, propiciando a redução em aproximadamente 30% com utilização de equipamentos e sistemas mais eficientes.

O sistema de controle da iluminação artificial proposto constitui um sistema incipiente, necessitando de ajustes e de melhores ensaios para calibração. Utilizar sistemas de controle de iluminação artificial apoiados por simulações de iluminação possibilita um melhor entendimento e aproveitamento da iluminação e da energia envolvida.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Edwards L., Torcellini P. A Literature review of the effects of natural light on buildings occupants. Colorado: National Renewable Energy Laboratory – U.S. Department of Energy, julho de 2002.
2. Mendell MJ, Heath GA. Indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of literature. *International Journal of Indoor Environmental Health*, 2005; 15 (1): 27-52.
3. Ochoa JH, Araujo DL, Sattler MA. Análise do conforto ambiental em salas de aula: comparação entre dados técnicos e a percepção do usuário. *Ambiente Construído*, 2012; 12 (01): 91-114.
4. Lima TBS, Christakou ED. Projeto de iluminação natural: ferramentas para cálculo e avaliação. PARANOÁ - Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, 2007.
5. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 5413 – Iluminância de interiores. ABNT, abril, 1992.
6. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 15215-4: Iluminação natural – Parte 4: verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – método de medição. ABNT, Novembro, 2004.
7. Kremer, A. A influência de Elementos de Obstrução Solar no Nível e na Distribuição Interna da Iluminação – Estudo de Caso em Protótipo Escolar de Florianópolis. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, UFSC. Florianópolis – Brasil, 2002.
8. Monk S. Programação com o Arduino – Começando com Sketches. 1ª Ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 160 p. 2013.
9. Halliday D., Resnick R., Walker J. Fundamentos de Física: óptica e física moderna. Vol. 4, 8ª Ed., Editora LTC, 2008.
10. Albuquerque MSC, Amorim CND. Iluminação natural: indicações de profundidade-limite de ambientes para iluminação natural no regulamento técnico da qualidade do nível de eficiência energética de edifícios residenciais – RTQ-R. *Ambiente Construído*, 2012; 12 (2): 37-57.