



XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

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

MODELAGEM DA VEGETAÇÃO NA SIMULAÇÃO DA ILUMINAÇÃO NATURAL¹

**LEDER, Solange Maria (1); LIMA, Eliana F. Costa (2); QUIRINO, Luana Maria de
Medeiros (3); PEREIRA, Yasmin Vaz Cavalcanti (4)**

(1) UFPB, e-mail: solangeleder@yahoo.com.br; (2) IFPB, e-mail: eliana_fcl@msn.com;
(3) UFPB, e-mail: luanammaq@gmail.com; (4) UFPB, e-mail: yasminvaz_47@hotmail.com

RESUMO

O desenvolvimento de novas tecnologias de auxílio ao projeto, em especial as ferramentas de simulação computacional da iluminação, contribui para o melhor aproveitamento dos recursos naturais e a eficiência energética das edificações. Nesta pesquisa investigou-se a obstrução da luz natural provocada pela vegetação comparando medições *in loco* e simulação computacional. O objetivo desta pesquisa foi analisar o comportamento da vegetação como elemento de controle solar e como a mesma pode ser reproduzida em um ambiente digital, inserindo-a na simulação computacional da luz natural. Assim, foram realizadas medições de iluminância *in loco* em uma sala de aula no Bloco CTE da UFPB, que possui no entorno espécies arbóreas tipo Manguieira. Além das medições, simulações computacionais com o software Daysim foram realizadas, a partir de um modelo digital que reproduz características da espécie arbórea em análise. Para a análise das diferenças encontradas entre medição e simulação, foram utilizados os indicadores estatísticos do erro médio quadrático (RMSE) e o desvio das médias (MBE). Com os resultados, observa-se que em todas as condições de céu o erro médio quadrático (RMSE) encontra-se dentro dos limites esperados, porém o mesmo não ocorrendo para o desvio das médias (MBE), onde apenas a condição parcialmente encoberto está dentro da margem de erro aceitável.

Palavras-chave: Simulação da iluminação. Iluminação natural. Vegetação.

ABSTRACT

The development of computer simulation softwares to predict the building performance, specially daylighting, contributes to better use of natural resources and the energy efficiency of buildings. This paper presents an investigation about daylight obstruction caused by vegetation, comparing results of daylight measurements and daylight simulation. The purpose of this study was to analyse the impact of vegetation on daylight obstruction and how it can be reproduced in a digital environment. Illuminance measurements and daylighting simulation were carried out in a classroom surrounded by Mango tree species, computer simulations were performed using the software Daysim and, a digital model that reproduces the characteristics of the analyzed tree. To estimate the differences between measurement and simulation two variables were compared: root mean square error (RMSE) and mean bias error (MBE). From the results it is observed that the root mean square error (RMSE) was within expected limits, in all sky conditions. However, with the mean bias error (MBE) the results were only partially as expected.

Keywords: Daylighting. Lighting simulation. Vegetation.

¹ LEDER, Solange Maria; LIMA, Eliana de Fátima da Costa; QUIRINO, Luana Maria de Medeiros; PEREIRA, Yasmin Vaz Cavalcanti. Modelagem da vegetação para simulação da iluminação natural. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

1 INTRODUÇÃO

O bloqueio da luz solar direta, principalmente em clima quente, favorece o uso da luz natural nos ambientes internos. As plantas podem proporcionar sombras e melhorar a qualidade da luz que incide através de janelas, reduzindo a intensidade da componente direta do sol, bem como o brilho vindo do céu (AL-SALLAL, 2009). A luz solar que atravessa as aberturas pode ser filtrada e suavizada pela presença de vegetação ou elementos de proteção solar, como venezianas, cortinas, entre outros. Segundo Mascaró (2010), o sombreamento da vegetação tem grande influência sobre a luz natural nos recintos urbanos e, conseqüentemente, afeta o desempenho da luz natural nas edificações. A forma da copa das árvores e seu tamanho determinam a área sombreada, que muda de acordo com a espécie e com a época do ano. Uma escolha adequada deve levar em consideração as mudanças de forma e tamanho que se processarão ao longo do tempo, baseada nas condições de insolação do recinto urbano através do ano e das necessidades de sombreamento em cada estação. Na pesquisa de Silva (2013) a vegetação como elemento de controle da luz natural foi investigada utilizando modelos físicos em escala reduzida. Verificou-se a iluminância interna com três modelos diferentes de fachada: sem proteção solar, com um elemento de obstrução na cor preta e outro com vegetação interferindo na iluminação interna. Observou que a vegetação possui características importantes no controle da luz

No estudo realizado por All-Sallal (2009), evidenciou-se a importância da sombra de árvores na melhoria da qualidade e distribuição da iluminação natural. O autor investigou a influência das espécies *Neem* e *Ghaf* nas condições de iluminação de salas de aulas, através de simulação computacional. A referida pesquisa concentrou-se na análise da iluminância que incide no plano de tarefa de salas de aula voltadas para norte, sul, leste e oeste, a fim de identificar os momentos críticos que são relevantes para a localidade.

A vegetação é um elemento de difícil inserção no projeto da iluminação natural, considerando, por exemplo, a simulação computacional, todos os elementos intervenientes na reprodução da luz devem ser modelados tridimensionalmente. Contudo, essa modelagem é impraticável, não somente devido à complexidade de todas as variáveis relatadas, como também, na sobrecarga do modelo. No entanto, alguns métodos de caracterização da vegetação, podem ser introduzidos para simplificar a sua reprodução e modelagem. Neste contexto, medições *in loco* da iluminação sob a copa de árvores contribuem para a caracterização de tipos arbóreos. Al-Sallal (2013) também desenvolveu um método, a partir de fotografias hemisféricas, para a construção simplificada de um modelo tridimensional de copa de árvore em ambiente digital (simulação da luz natural). O modelo 3D de copa de árvore, resultante da aplicação do método proposto, foi usado para simular o efeito da interceptação da luz sob espécies arbóreas. Os resultados das simulações foram validados através da comparação com

medições reais de iluminância realizadas em campo, com expressiva concordância entre os níveis de iluminância simulados e medidos.

Este trabalho é a continuação de uma pesquisa anterior, onde foi caracterizado um método para a representação e modelagem da vegetação arbórea na simulação computacional da luz natural, tendo como base os estudos de Al-Salall (2009 e 2013). Assim, o objetivo deste estudo foi analisar o comportamento da vegetação como elemento de controle solar e como a mesma pode ser reproduzida em um ambiente digital, inserindo-a na simulação computacional da luz natural e comparando os resultados das simulações com medições *in loco*. Para isso, foi tomada para estudo uma sala de aula de ambiente universitário.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para este estudo divide-se em quatro etapas principais: seleção do espaço a ser estudado e levantamento *in loco* de informações referentes às suas características físicas, medições *in loco* da disponibilidade de iluminação natural em ambiente interno, aplicação dos modelos arbóreos em simulação computacional da iluminação natural e, por último, análise estatística dos dados, verificando em que medida os modelos virtuais de copas empregados conseguem reproduzir a situação real.

3.1 Definição e levantamento do local de estudo

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi selecionado um ambiente de sala de aula localizado em um campus universitário (Figura 1). Dentre os principais critérios de escolha do local para esta pesquisa, pode-se destacar: ambiente influenciado diretamente por uma árvore (mangueira) que possui modelo digital próprio produzido anteriormente; paisagem do entorno com elevada proporção de áreas verdes; facilidade de acesso e, disponibilidade para a realização da pesquisa durante o período estimado.

Figura 1 – Localização da área de estudo

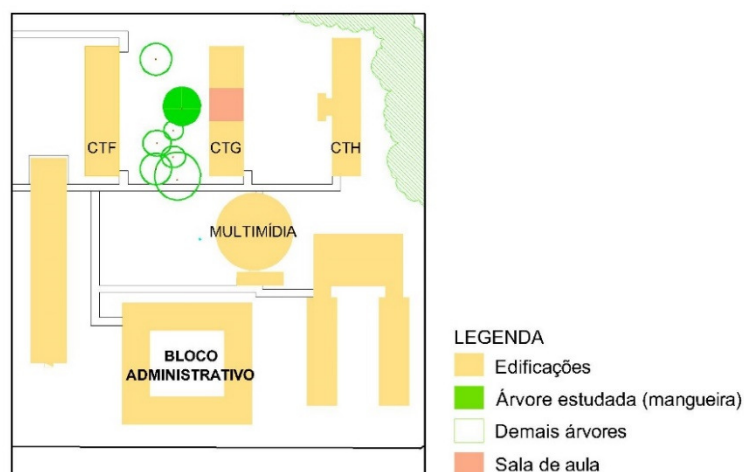


Fonte: Adaptado do Google Maps, 2014.

O levantamento das dimensões do ambiente escolhido e do entorno foi realizado *in loco*, com auxílio de trena comum. Para o levantamento das árvores do entorno, foi observado a largura e o comprimento da base da copa, posteriormente foram feitas fotografias de perfil e importadas para AutoCad, conhecendo uma medida real como referência, foram estimadas as dimensões verticais da copa, como também altura total da árvore.

No entorno imediato à sala de aula, verificou-se sete tipos arbóreos que influenciam, de forma mais direta ou indireta, o desempenho da luz natural neste ambiente (Figura 2). A árvore destacada na figura 2, trata-se de uma mangueira e, está disposta perpendicularmente à sala de aula, portanto a que tem maior influência no desempenho da luz neste ambiente. Também foi realizado um levantamento dos coeficientes de reflexão das superfícies do interior da sala em estudo, tendo como referência a cartela de cores da CIBSE (2001).

Figura 2 – Localização da sala em estudo e das árvores do entorno.



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2 Medição de referência da iluminância

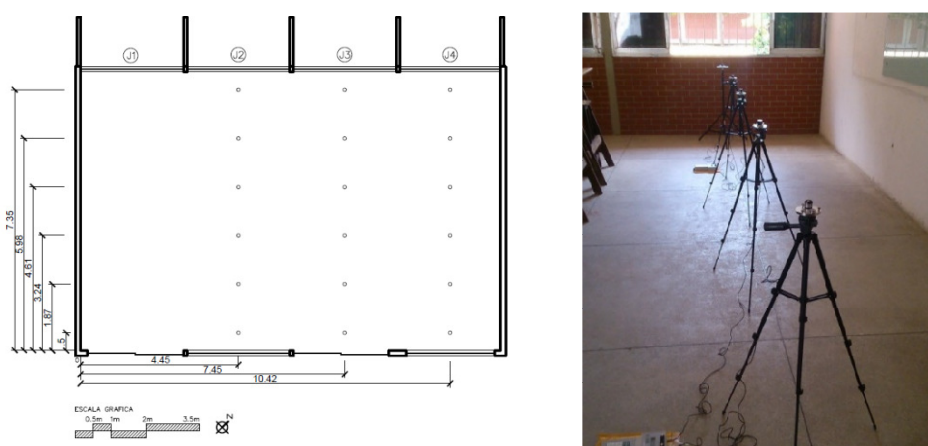
Nessa etapa foram realizadas medições de referência do nível de iluminância horizontal em alguns pontos do interior da sala de aula em estudo. Esses dados foram tomados como base para posterior validação das simulações computacionais. As medições ocorreram no período de 22 de junho a 25 de julho de 2015, período correspondente ao solstício de inverno. O horário dos registros das iluminâncias ocorreu das 11h às 13h a cada um minuto, resultando em 120 registros.

Para esta pesquisa, três condições de céu foram consideradas: céu claro, céu parcialmente encoberto e céu encoberto, sendo esses, os três modelos com que grande parte da literatura científica trabalha. Foram realizadas medições nas diferentes condições. Ao mesmo tempo em que as iluminâncias estavam sendo medidas, registrou-se através de observações, fotografias e anotações o comportamento das nuvens no céu, com relação

à quantidade, distribuição e aparência. Os dados de medição conjugados com estas informações forneceram indicativos para o estabelecimento do tipo de céu.

Os pontos de medição foram distribuídos no interior da sala 103 do bloco E, em três fileiras de seis sensores afastados 50 cm da janela e da parede, estando cada sensor afastado aproximadamente 1,37 metros um do outro, conforme a Figura 3. Foram utilizados 18 pontos de medição (sensores), priorizando a abertura 3, posto que, em frente à esta abertura localiza-se a árvore objeto de interesse deste estudo.

Figura 3 - Planta de localização dos sensores; Sensores apoiados nos tripés.



Fonte: Elaborado pelas autoras.

Simultaneamente aos registros no interior da sala de aula, foram obtidos também os dados de iluminação externa. Posteriormente, esses dados, foram utilizados na seleção, através de comparação, dos dias do arquivo climático (*Typical Reference Year – TRY*), correspondentes aos tipos de céu adotados nesta pesquisa que, por sua vez, correspondem às datas utilizadas na simulação computacional.

Para os registros das medições foi utilizado um conjunto de 19 sensores fotométricos Li-210 da LI-COR: um disposto no ambiente externo e 18 internamente. Os sensores são apoiados em tripés (Figura 3), com fixação e nivelamento através do kit de fixação da LI-COR, que acompanha um nível de bolha. Estes sensores realizaram medições simultâneas e os dados coletados foram armazenados em sete dataloggers da LI-COR - Li 1400.

3.3 Construção do modelo virtual e simulações computacionais

A partir dos dados obtidos na fase de levantamento *in loco*, foi modelado o ambiente de sala de aula, assim como seu entorno imediato, incluindo a vegetação arbórea circundante (Figura 4). O modelo simplificado de cada árvore assumiu a forma de uma semi-elipsoide. Para a construção dos modelos foi utilizada a ferramenta computacional *SketchUp 8*.

Figura 4 – Modelo 3D do bloco de aulas e entorno.

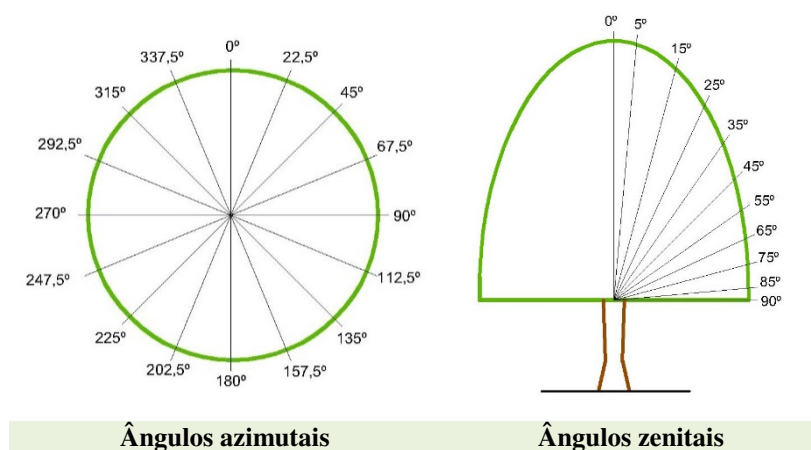


Fonte: elaborado pelos autores

A forma do modelo digital, que representa a mangueira (LIMA, 2014), concentra-se na superfície mais externa da copa, dividida em 144 regiões, com 9 segmentos na direção zenital e 16 na direção azimutal, conforme mostrado na figura 5. Nesta superfície (copa) foi empregado material translúcido, associando-se os dados de *fração de lacuna* (Figura 6.) Assim, para cada segmento do ângulo azimutal foi empregado um material translúcido diferenciado.

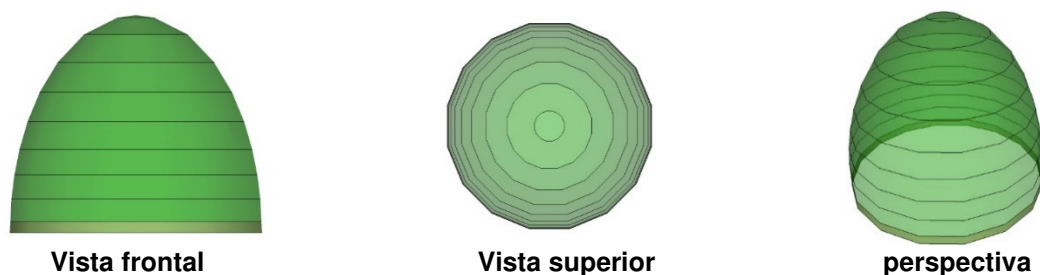
Para as simulações foi utilizada a ferramenta computacional *Daysim 3.1 beta*. O Daysim considera as condições reais de disponibilidade de luz natural com base no ano típico de referência (*Typical Reference Year – TRY*). O TRY utilizado foi elaborado por Roriz (2012) e corresponde ao ano de 2008. O modelo tridimensional utilizado foi modelado no SketchUp e exportado em formato 3DS. O arquivo de materiais foi editado para conter os dados de coeficientes de reflexão das superfícies do interior da sala obtidos anteriormente.

Figura 5 – Representação esquemática da divisão angular do mapa de céu.



Fonte: Lima, 2014

Figura 6 – Modelo digital 3D que representa a mangueira



Fonte: Fonte: Lima, 2014

Para selecionar os dias das simulações correspondentes aos dias das medições, foi analisada a média aritmética dos dados de iluminação do arquivo climático TRY equivalentes ao horário de 11 às 13 horas nos meses de junho e julho. Em seguida, comparando os valores encontrados tornou-se possível selecionar os dias que apresentaram condições de céu similares aos dias que ocorreram as medições *in loco*. A partir do estudo de Lima (2014) foram adotados os seguintes parâmetros para a caracterização da condição de céu claro e encoberto: céu claro com iluminância maior que 50.000 lux, enquanto céu encoberto para as iluminâncias inferiores a 50.000 lux.

3.3 Tratamento e análise estatística dos dados

Com os dados obtidos, e com o auxílio do *software* R foi possível analisar os níveis de dispersão da iluminância para cada condição de céu, e para as iluminâncias internas das medições e das simulações. Para a análise geral das diferenças encontradas entre medição e simulação, foram utilizados os indicativos estatísticos do erro médio quadrático (RMSE - *root mean square error*) e o desvio das médias (MBE - *Mean Bias Error*), definidos pelas equações 1 e 2.

$$MBE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{(IL_M - IL_S)}{IL_S} \right) \quad (1)$$

$$RMSE = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{(IL_S - IL_M)^2}{IL_M^2} \right)} \quad (2)$$

Onde, IL_S é a iluminância simulada e IL_M é a iluminância medida.

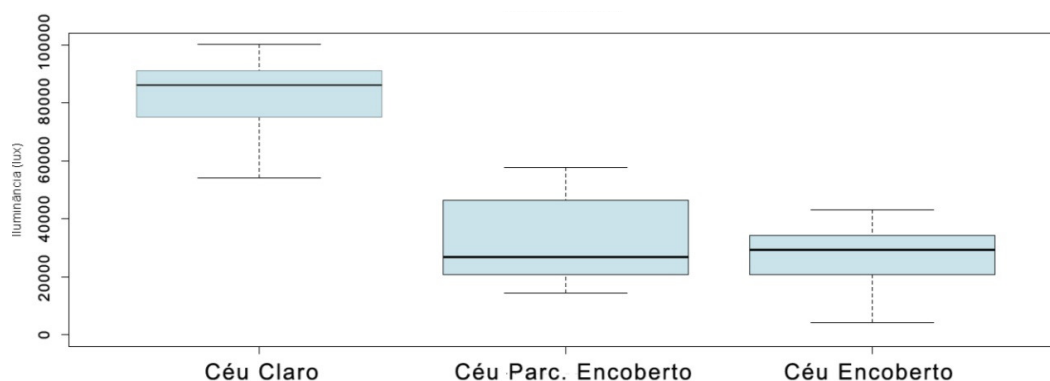
De acordo com Reinhart (2009), estes indicativos caracterizam as semelhanças e/ou diferenças entre dois conjuntos de dados. O RMSE é a medida da magnitude média dos erros estimados, tem valor sempre positivo, e quanto mais próximo de zero, maior a qualidade da iluminância simulada. O MBE indica o quanto a iluminância simulada está sendo subestimada (valor negativo) ou superestimada (valor positivo) em relação a iluminância

medida. O ideal é que o valor de MBE tenda a zero. Para validar os resultados produzidos através do MBE e RMSE, tomou-se como referência os resultados de estudos anteriores que utilizaram esses indicativos (VILLALBA, A.; PATTINI, A.; CORREA E. 2014; AL-SALLAL, Khaled A. AL-RAIS, Laila, 2013 e REINHART, C; BRETON, P. F. 2009). Os valores globais de MBE e RMSE foram dados em percentuais, já que Al-Sallal et. al (2013) sugerem que a margem de erro, para ambos os indicadores, não sejam superior a 20%, com um nível de confiança estatística de 80%.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

A distribuição dos dados de iluminância no ambiente externo pode ser observada no Gráfico 1. Para a condição de céu claro, a iluminância mínima foi de 54171 lux e a máxima 100327 lux, a mediana ficou em torno de 86059 lux. Observou-se que esta condição de céu apresentou 50% das ocorrências de iluminância entre 74965 e 91051 lux. Nos dias de céu claro, além da baixa variação da luz, foi registrado os níveis de iluminação mais elevados, isto se deve a homogeneidade deste tipo de céu sem significativa presença de nuvens. A condição de céu parcialmente encoberto apresentou a maior variabilidade da luz natural. Nesta, foi registrado que 50% das ocorrências ficou entre 20856 e 46437 lux, com variação de pouco menos de 20 mil lux. A mediana dos dados girou em torno de 26834 lux. Esta significativa variação é decorrente da não homogeneidade do céu, com presença de nuvens que não cobrem totalmente a abóbada celeste. Este tipo de céu é o mais frequente em território brasileiro, portanto deve ser considerado em estudos de iluminação natural. Na condição de céu encoberto as iluminâncias encontradas atingiram o valor mínimo e máximo de 4204 e 43133 lux, respectivamente. Nesta condição de céu, a mediana é de aproximadamente 29325 lux. Considerando 50% da amostra, as iluminâncias estão concentradas entre 20806 e 34191 lux. Nessa condição de céu foram registrados os menores valores de iluminâncias, isto se deve ao fato de que, em um céu completamente encoberto, não há luz solar direta atingindo o solo e a coroa solar não é visível.

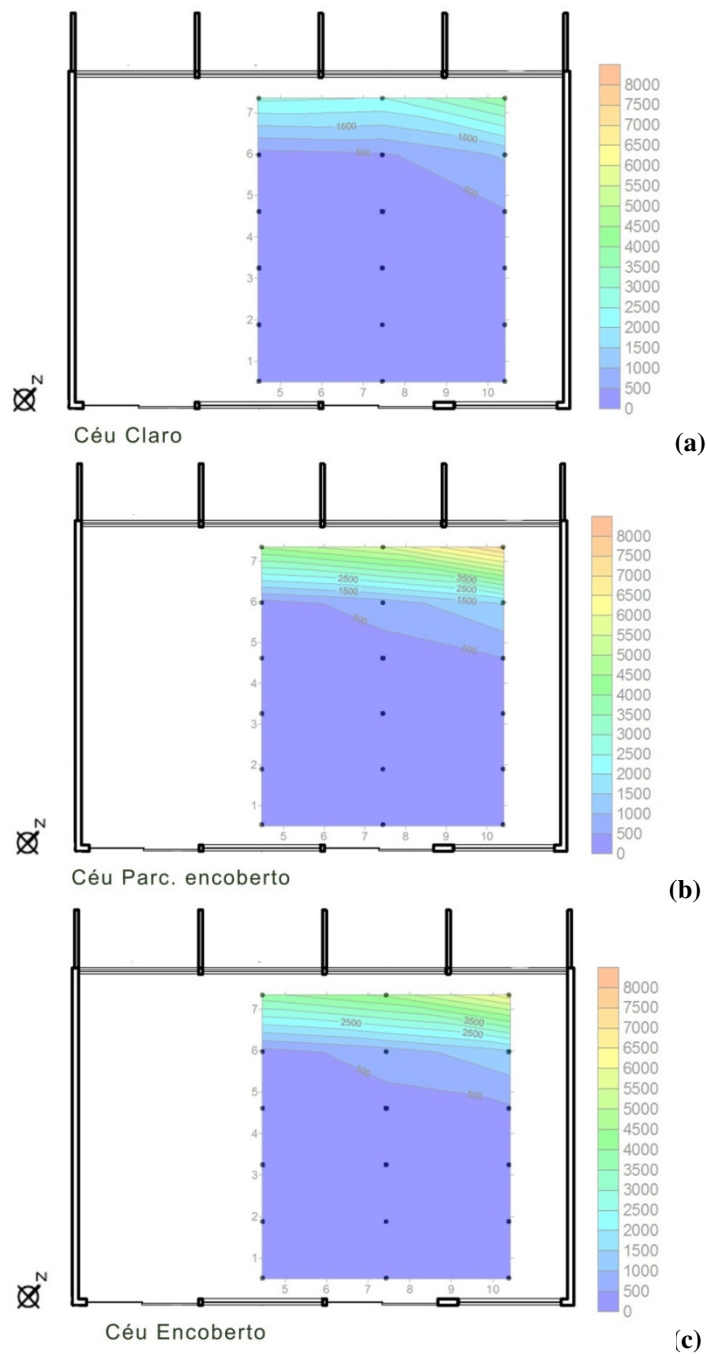
Gráfico 1 – Distribuição da iluminância externa para cada condição de céu



Fonte: Elaborado pelos autores.

Nas figuras 7a, 7b e 7c observa-se, para cada condição de céu, o comportamento da iluminação às 12h no interior do ambiente estudado. Observa-se que, nos três casos, que 2/3 da sala apresenta iluminação abaixo de 500 lux. Como esperado, próximo a abertura, os níveis de iluminação são mais elevados e, a distribuição da luz é semelhante em todas as condições de céu.

Figura 7 – Comportamento da iluminância interna ao meio dia para cada condição de céu



Fonte: Elaborado pelos autores.

Com os resultados das simulações foi possível comparar os níveis de iluminação, para cada tipo de céu, registrados nas medições *in loco* e na

simulação. Pode-se observar, através dos Gráficos 2, 3 e 4, que as simulações apresentaram um maior nível de dispersão da iluminância em relação aos dados obtidos nas medições. A iluminância registrada com as medições *in loco* apresenta menor variação nas três condições de céu.

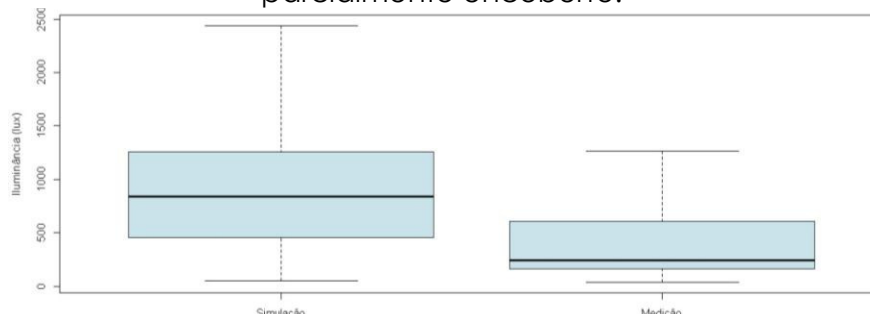
A diferença entre a mediana na condição de céu claro foi mais significativa, aproximadamente 1000 lux para céu claro, 600 lux na condição parcialmente encoberto e encoberto. Diante destes resultados, ressalta-se que as diferenças entre resultados de medições e simulações são esperadas, devido às simplificações dos fenômenos luminosos ocorridos na prática da simulação.

Gráfico 2 – Dispersão dos dados medidos *in loco* e simulados na condição de céu claro.



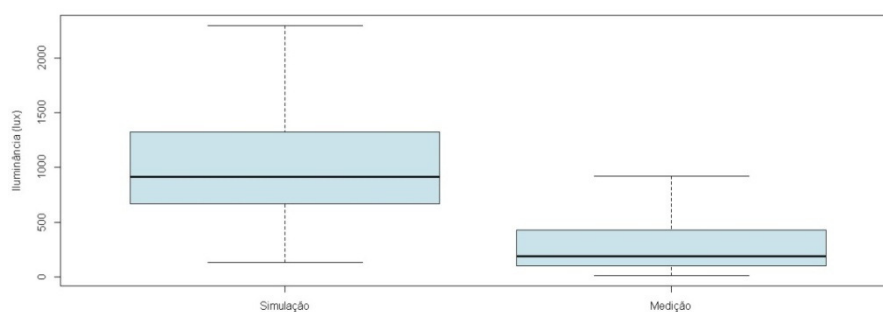
Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 3 – Dispersão dos dados medidos *in loco* e simulados na condição de céu parcialmente encoberto.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Gráfico 4 – Dispersão dos dados medidos *in loco* e simulados na condição de céu encoberto.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Buscando analisar as diferenças encontradas entre as medições *in loco* e as simulações, os indicativos estatísticos erro médio quadrático (RMSE - root

mean square error) e o desvio das médias (MBE - *Mean Bias Error*) foram utilizados. Na Tabela 1 podem ser observados, em função do tipo de céu, os indicativos estatísticos MBE e RMSE.

Tabela 1 – Erro médio quadrático – RMSE e o desvio das médias – MBE – por tipo de céu.

	RMSE	MBE
Céu claro	2,0%	-63,8%
Céu parc. encoberto	5,51%	-9,52%
Céu encoberto	2,5%	-53,1%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em estudos recentes, como o de Al-Sallal et. al (2013) considera-se que a margem de erro para MBE e RMSE, em modelagens com vegetação arbórea, não deve ser superior à 20%, com um nível de confiança estatística de 80%. Enquanto Reinhart (2010) estabelece que as simulações dinâmicas da luz natural devem apresentar erro relativo de no máximo 25%. O ideal é que os valores de MBE e RMSE tendam a zero, assim garantindo maior confiabilidade da iluminância simulada. De acordo com Reinhart (2011) e outros (Mardaljevic 2000a, b, Reinhart e Walkenhorst 2001, Reinhart e Andersen 2006, Reinhart e Breton 2009) as simulações dinâmicas da luz do dia podem ser consideradas adequadas para a condição de erro relativo abaixo de 25% em comparação com as medições.

Considerando os dados da Tabela 2, observa-se que nas três condições de céu o erro médio quadrático (RMSE) encontra-se dentro dos limites esperados. Já com relação ao desvio das médias (MBE), apenas a condição de céu parcialmente encoberto está dentro da margem de erro aceitável. Assim, considerando os limites dessa pesquisa, na condição de céu parcialmente encoberto foram observados os melhores resultados na comparação entre simulação e medição, sendo, também, esta condição de céu mais frequente na cidade em estudo. Consequentemente, pode-se considerar o modelo digital arbóreo aqui empregado, um representante adequado da árvore real.

5 CONCLUSÕES

Nesta pesquisa investigou-se a obstrução da luz natural provocada pela vegetação e as formas de representação da mesma nos modelos digitais utilizados na simulação computacional da iluminação natural. Assim, foram realizadas medições de iluminância *in loco* e simulações computacionais em uma sala de aula no Bloco CTE da UFPB, que possui no entorno espécies arbóreas tipo Mangueira. Para a análise das diferenças encontradas entre medição e simulação, foram utilizados os indicativos estatísticos do erro médio quadrático (RMSE) e o desvio das médias (MBE). Com os resultados, observa-se que em todas as condições de céu o erro médio quadrático (RMSE) encontra-se dentro dos limites esperados, porém o mesmo não

ocorrendo para o desvio das médias (MBE), onde apenas a condição parcialmente encoberto está dentro da margem de erro aceitável.

Visto isto, e considerando a condição de céu parcialmente encoberto, pode-se dizer que o modelo digital arbóreo aqui empregado, pode ser considerado um representante adequado da árvore real. No entanto, além do refinamento do modelo, acredita-se que o erro acima do esperado para as condições de céu claro e encoberto, pode estar associado à condição de céu selecionada para a simulação.

É importante ressaltar que as diferenças entre resultados de medições e simulações são esperadas, devido às simplificações dos fenômenos luminosos ocorridos na prática da simulação. No caso de simulações computacionais envolvendo elementos tão complexos como copas de árvores, inúmeros fatores são difíceis de serem inseridos na simulação e exercem influência no desempenho da luz sob a copa, um deles é o movimento das folhas causado pela ação do vento. Isto permite que a variabilidade das iluminâncias sob copas reais seja, naturalmente, maior que em simulações.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq/UFPB pelas bolsas pibic.

REFERÊNCIAS

AL-SALLAL, Khaled A. AL-RAIS, Laila. A novel method to model trees for building daylighting simulation using hemispherical photography. **Journal of Building Performance Simulation**, Emirados Árabes, v.6, n.1, p. 38-52, Janeiro 2013.

AL-SALLAL, K.A., ABU-OBEID, N. Effects of shade trees on illuminance in classrooms in the United Arab Emirates. **Architectural Science Review**, Emirados Árabes, v. 52, n. 4, p. 295–311, 2009.

AL-SALLAL, K. A Practical method to model trees for daylighting simulation using hemispherical photography. **Building Simulation: Eleventh International IBPSA Conference**. 2009.

CIBSE. S.o.L.a. lighting. In: **SII lighting guide 11:surface reflectance and colour**. London, UK: CIBSE; 2001.

MARDALJEVIC, J. **Daylight simulation: validation, sky models and daylight coefficients**. Thesis (PhD). De Montfort University, Leicester, UK, 2000a.

MARDALJEVIC, J. Simulation of annual daylighting profiles for internal illuminance. **Lighting Research and Technology**. v. 32 , p. 111–118, 2000b.

MASCARÓ, Lucia; MOORE, Juan Luis. **Vegetação Urbana**. Ed.3º Porto Alegre: Masquatro, 2010.

REINHART, C.F; WALKENHORST, O. Dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a full-scale test office with outer Venetian blinds. **Energy and Buildings**. v. 33, p. 683–697, 2001.

REINHART, C.F; ANDERSEN, M. Development and validation of a Radiance model for a translucent panel. **Energy and Buildings**, v. 38, p. 890–904, 2006.

REINHART, C; BRETON, P. F. Experimental validation of autodesk 3Ds Max1 design 2009 and Daysim 3.0. **Building Simulation**, v. 6, p. 1514 – 1521, Ottawa, 2009.

REINHART, C. WIENOLD, J. The Daylighting Dashboard - A Simulation- Based Design Analysis for Daylit Spaces. **Building and Environment**, Volume 46, Issue 2, 2010.

REINHART, C. Daylight performance predictions. In: J. Hensen and R. Lamberts, eds. **Building performance simulation for design and operation**, v. 1, p. 235–276, USA: Spon Press, 2011.

RORIZ, M. **Uma proposta de revisão do zoneamento bioclimático brasileiro**. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ANTAC. São Carlos. 2012.

SILVA, Adriane Sobreira. **Influência da vegetação na iluminação natural de interiores: elementos de controle e entorno**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2013.

VILLALBA, A.; PATTINI, A.; CORREA E. An approach to urban tree daylight permeability simulation using models based on louvers. **Building and Environment**. Mendonza, v. 73, p. 75-87, fev. 2014.