XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
ENTAC 2022

Ambiente Construído: Resiliente e Sustentável
Canela, Brasil, 9 a 11 novembro de 2022

Impacto da vegetação na iluminação natural: estudo com modelos em escala reduzida

Impact of vegetation on daylighting: Case study using reduced scale models

Eliana de Fátima da Costa Lima
UFPB/IFPB | João Pessoa | Brasil | eliana_fcl@msn.com
Solange Maria Leder
UFPB | João Pessoa | Brasil | solangeleder@yahoo.com.br

Resumo

Árvores se constituem em elementos complexos quando observadas em relação à transmissão, reflexão e dispersão da luz. Variáveis como altura, geometria e forma da copa, das folhas, do tronco e galhos, bem como, cor e transparência impactam na trajetória da luz. Assim, esse artigo apresenta resultados de uma investigação conduzida com o objetivo de mensurar e analisar o impacto da vegetação na iluminação natural de ambientes internos. O método proposto consiste em utilizar uma espécie arbórea em escala reduzida (bonsai), simulando uma vegetação em tamanho real, em conjunto com ambientes internos, em escala reduzida, e medições da iluminância interna sob céu real. Os resultados obtidos demonstram que a obstrução causada pela árvore pode reduzir expressivamente (68%) as iluminâncias internas, por outro lado, a vegetação contribuiu para a uniformidade nos níveis da iluminação.

Palavras-chave: Vegetação; Iluminação natural; Simulação da luz natural.

Abstract

Trees are complex elements when observed in relation to the transmission, reflection, and dispersion of light. Variables such as height, geometry, and shape of the crown, leaves and branches, as well as color and transparency impacts on the light path. Considering the highlighted aspects, this article presents the proposition, experimentation, and analysis of a method for predicting the impact of vegetation on daylighting in indoor environments. The method consists of using a small-scale tree species (bonsai), simulating a full-scale tree, together with four indoor environments, also on a reduced scale. Real sky illuminance measurements were conducted and analyzed. The results show that the obstruction caused by vegetation significantly reduces (68%) the internal illuminance, on the other hand, the vegetation contributes to the uniformity of lighting levels.

Keywords: Vegetation; Daylighting; Daylighting simulation.

Como citar:
LIMA, E. F. C.; LEDER, S. M. Impacto da vegetação na iluminação natural: estudo com modelos em escala reduzida. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. XXX-XXX.

INTRODUÇÃO

A arborização urbana é um elemento com inúmeros impactos positivos para a qualidade ambiental: proporciona proteção solar para os edifícios, reduzindo o consumo de energia para o condicionamento térmico interno devido ao seu efeito de sombra [1]; redução da radiação UV abaixo da copa e nas proximidades [2] [3] [4] [5]; redução do processo de erosão, atuando no controle da velocidade do vento, na mitigação da poluição do ar [6] [7]; habitat para algumas espécies de vida selvagem [8]; aumento dos laços de vizinhança, despertando o senso de comunidade [9]; benefícios que atuam diretamente na melhora da saúde mental e física das pessoas [10].

A crescente conscientização sobre o impacto das árvores na escala urbana, bem como seus benefícios na escala da edificação, resulta no aumento de pesquisas que, por sua vez tem como resultado a defesa do "reflorestamento urbano" [11]. No entanto, esse impulso também influencia outra qualidade essencial do meio ambiente — o ambiente visual, um aspecto menos estudado na relação vegetação arbórea e o planejamento urbano.

O efeito do sombreamento arbóreo no meio urbano sobre o comportamento da luz natural no interior dos edifícios é uma área de pesquisa ainda pouco explorada. Já é reconhecido em diversos estudos [12] [13] [14] [15] [16] [17] que a estrutura da copa das árvores (dimensões, densidade, configuração dos galhos, tamanho e propriedades espectrais das folhas) influenciam na exposição à radiação. Estas mesmas características também podem interferir diretamente no desempenho da iluminação dos ambientes internos.

As árvores criam um complexo campo tridimensional de luz: transmitindo, espalhando e atenuando a luz. Variáveis como a altura, a geometria da copa, a quantidade, dimensão e espaçamento das folhas, dimensão do tronco, ramos e galhos, índice de refletância, índice de opacidade, entre outras, impactam na trajetória da luz. [18] ressaltam ainda que as características físicas das copas de árvores mudam entre espécies e com o tempo, e um modelo de copa, incluindo esses detalhes, aumenta o tempo computacional. Incorporar árvores nos cálculos da luz do dia é uma tarefa ainda muito desafiadora.

Sobre a capacidade da vegetação urbana em reduzir o brilho excessivo vindo da luz natural, [19] afirma que as árvores ajudam a controlar a dispersão e a intensidade da luz, além de modificar os comprimentos de onda predominantes de sua localização. O autor afirma ainda que, as árvores bloqueiam e refletem a luz do sol, diminuindo a tensão ocular.

Desta forma, a vegetação arbórea pode melhorar a qualidade da luz que incide através das aberturas, reduzindo a intensidade da componente direta do sol, bem como o brilho vindo do céu. Conforme afirma [20], a qualidade da luz do dia é alcançada através do bloqueio da luz solar direta e o incremento da luz solar refletida, Nesse aspecto, a luz natural que entra através das aberturas pode ser filtrada e suavizada pela presença de vegetação, proporcionando maior conforto visual e bem-estar aos

usuários. Assim, este artigo tem como objetivo principal estudar o impacto da vegetação arbórea no comportamento da iluminação natural de ambientes internos.

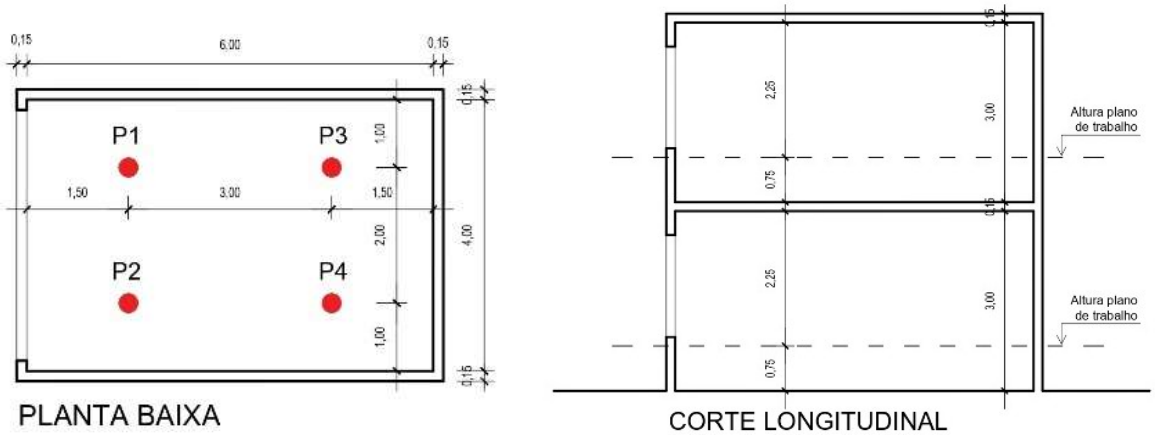
MÉTODO

Para atingir o objetivo proposto para esta pesquisa, diversas etapas de trabalho, bem como diferentes instrumentos e procedimentos de coletas de dados foram necessários. O método adotado na pesquisa tem como base medições com modelos em escala reduzida e compreende quatro estágios principais: definição e caracterização do modelo em escala reduzida da edificação e da árvore; medições da iluminância sob céu real; tabulação dos dados e condução das análises e discussões dos resultados.

DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO MODELO EM ESCALA REDUZIDA

Como parâmetro de análise do impacto da vegetação arbórea na iluminação natural de ambientes internos, foram utilizados dois modelos idênticos na escala de 1:20, constituídos cada um de dois ambientes – térreo e pavimento superior. Os ambientes têm formato retangular, medindo 4,00 de largura x 6,00 metros de profundidade e, 3,00 metros de pé direito. Em uma das fachadas de menor dimensão, foi considerada uma janela medindo 3,70 de largura x 1,70 de altura (Ver desenhos esquemáticos na figura 1). A refletância considerada para a superfície do teto e paredes foi de 86% e, para o piso 40%. Em um dos modelos foi considerada a presença da árvore imediatamente em frente à janela.

Figura 1: Planta e corte esquemáticos da maquete.



Fonte: os autores.

A maquete foi construída em MDF de 1,5 mm. Todas as bordas e juntas foram cuidadosamente seladas para evitar qualquer vazamento de luz, conforme recomendado por [21]. O revestimento de acabamento foi em papel color plus branco nas faces internas, exceto a superfície do piso que recebeu revestimento com papel cinza.

Para representar um modelo arbóreo em escala reduzida (1:20), foi utilizada uma planta natural, réplica de uma árvore da natureza em miniatura, denominada bonsai.

A espécie utilizada para representar uma árvore real foi o Buxus Harlandi. Se trata de um arbusto baixo e bastante ramificado procedente da china e regiões do mediterrâneo. Suas folhas são pequenas arredondadas e possuem a coloração verde escura.

O Buxus Harlandi é uma espécie muito utilizada para a formação do bonsai shohin (pequeno tamanho) e hôkidachi (aparência de vassoura). Sua característica mais atraente é o aspecto envelhecido da casca que com o tempo forma várias fissuras profundas dando uma aparência de um tronco muito antigo ao bonsai.

O bonsai utilizado tem altura total de aproximadamente 5,00 metros na escala de 1:20. A folha tem dimensões longitudinal e transversal de aproximadamente 0,35 e 0,15 cm, respectivamente (Figura 2). A copa tem altura de 3,00 metros e de 4,50 metros de largura.

Figura 2: à esquerda - Desenho esquemático do bonsai; ao centro - Fotografia bonsai da espécie Buxus; e à direita - Proporção da folha do Buxus na escala 1:20.



Fonte: os autores.

Considerando a classificação de [22], a forma geométrica da copa pode variar conforme a estrutura dos galhos principais, densidade das ramificações e tipos de folhas. Segundo a classificação desta autora, a copa desse bonsai pode ser classificada como árvore de copa geométrica larga e arredondada. A folha do Buxus Harlandi assemelha-se em termos de formato e dimensões a algumas espécies de árvores como a mangueira (Mangifera indica). Segundo [23], o comprimento da folha da mangueira varia de 12 a 38 cm e a largura pode ser entre 2 –13 cm. Segundo estas características, consideramos o bonsai utilizado como sendo uma árvore em escala reduzida devido a sua proporcionalidade entre seus elementos (folhas, galhos, tronco, copa).

MEDIÇÕES DA ILUMINÂNCIA

A principal variável analisada neste trabalho é a iluminância observada no interior dos ambientes dos modelos estudados. Nessa etapa, foram realizadas medições simultâneas do nível de iluminância horizontal em quatro pontos distribuídos no interior de cada ambiente – dois ambientes (pavimento térreo e superior) com a presença do modelo físico da árvore e dois ambientes (pavimento térreo e superior) sem a presença da árvore.

As maquetes foram posicionadas considerando o norte magnético. A diferença angular encontrada entre o norte magnético e o norte geográfico foi de aproximadamente 21 graus. As medições ocorreram considerando a abertura (janela) voltada para quatro orientações distintas – norte, sul, leste e oeste.

Os registros foram realizados no período de 18 de fevereiro de 2022 a 18 de março de 2022 (período próximo ao equinócio). Os dados foram registrados das 9:00 às 15:00h a cada 1 minuto. Para cada orientação foram considerados quatro dias de medição, resultando em 1680 registros de iluminância por orientação. Esse horário foi estabelecido considerando a abrangência de todo o período do dia com níveis de iluminação natural mais significativos.

Para os registros da iluminância foram utilizados um conjunto de dezoito sensores fotométricos Li-210 da LI-COR, fixados no interior da maquete (quatro sensores em cada pavimento). A altura do sensor corresponde a 60 cm em escala real. Para referência das condições externas de iluminação, dois sensores foram fixados na parte superior de cada maquete para registro da iluminância exterior. Todos os sensores foram programados para realizar as medições simultaneamente (ver registro fotográfico na figura 3). Os dados foram armazenados em seis dataloggers da LI-COR - Li 1400.

O local das medições é a cidade de João Pessoa/PB, em uma área aberta (campo esportivo) localizada nas dependências do Instituto Federal da Paraíba. A escolha deste local deve-se à baixa obstrução do entorno e a segurança, tendo em vista o longo período de permanência no local e o manuseio de equipamentos de custo elevado.

Figura 3 – Imagens da disposição dos modelos no momento das medições da iluminância.



Fonte: os autores.

RESULTADOS

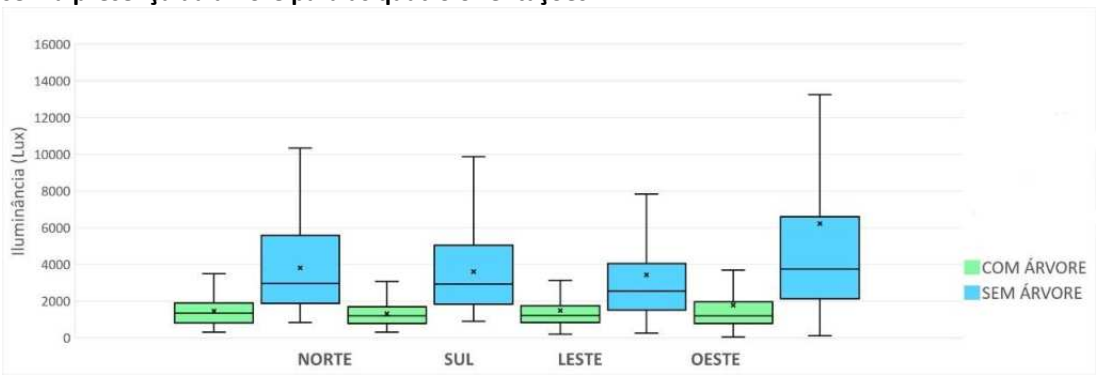
Os resultados desta pesquisa são apresentados a seguir. Estes resultados são baseados nas medições dos níveis de iluminância medidos com maquetes em escala reduzida e sob céu real.

Os gráficos das figuras 4 e 5 representam a dispersão da iluminância medida nos ambientes internos com a inserção da árvore paralela à abertura lateral e sem a presença da árvore. No pavimento térreo há diferença significativa nos níveis de

iluminância em todas as orientações. As medianas da iluminância considerando a condição com árvore são de aproximadamente 1.600 lux. Já considerando a condição sem árvore, as medianas apresentam níveis de iluminância de aproximadamente 3.200 lux.

Ainda considerando a figura 4, os registros com a presença da árvore apresentaram comportamento muito semelhante em todas as orientações. Já os registros sem a presença da árvore, observa-se alguma variação entre as orientações. As maiores diferenças ocorreram na orientação oeste, onde os maiores níveis de iluminância atingidos foram de aproximadamente 4.000 lux para o ambiente com árvore e 13.700 lux para o ambiente sem árvore.

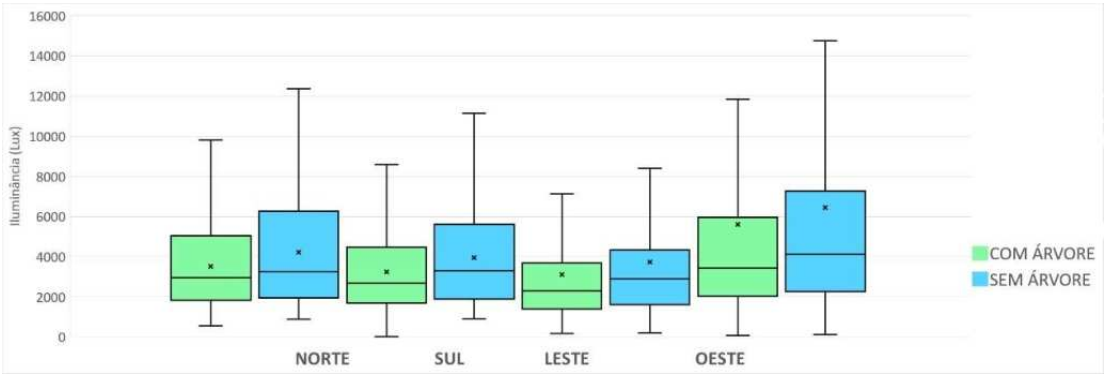
Figura 4: Pavimento térreo – Distribuição da iluminância considerando a situação com a presença da árvore e sem a presença da árvore para as quatro orientações



Fonte: os autores.

A figura 5 apresenta o comportamento da iluminância no pavimento superior. Nota-se que em todas as orientações há redução dos níveis de iluminação considerando a presença da árvore, ainda que menos significativa em relação ao pavimento térreo. Neste caso, a copa da árvore exerce menor influência, pois a obstrução da aboboda celeste é parcial (ver figura 5). Os maiores níveis de iluminação no pavimento superior também foram atingidos na orientação oeste.

Figura 5: Pavimento superior – Distribuição da iluminância considerando a situação com a presença da árvore e sem a presença da árvore para as quatro orientações



Fonte: os autores.

Nos gráficos das figuras 6 a 9 é possível visualizar a distribuição da iluminância por faixa de ocorrência. Na figura 6 são apresentados os dados para a orientação norte. Neste caso, é possível observar que no pavimento térreo com a presença da árvore 44% dos

registros ocorreram na faixa entre 1.000 e 2.000 lux. No pavimento superior com a presença da árvore, 30% das ocorrências também se encontraram entre 1.000 e 2.000 lux. Já na condição sem árvore, a faixa de iluminância acima de 5.000 lux correspondeu a 31% para o pavimento térreo e 37% para o pavimento superior.

Figura 6 – Orientação Norte – Percentual dos níveis de iluminância divididos por faixa.



Fonte: os autores.

A figura 7 apresenta os dados para a orientação sul. Considerando a situação com presença da árvore, tanto no pavimento térreo (46%) quanto no pavimento superior (37%), as maiores frequências ocorreram para a faixa de iluminância entre 1.000 e 2.000 lux. Na condição sem árvore, o pavimento térreo registrou 34% dos dados na faixa entre 1.000 e 2.000 lux. Já no pavimento superior, a maior frequência foi para os registros acima de 5.000 lux.

Figura 7 – Orientação Sul – Percentual dos níveis de iluminância divididos por faixa.



Fonte: os autores.

A figura 8 apresenta os dados da orientação leste. Nesta orientação é possível observar que em todas as situações as maiores frequências registradas está entre 1.000 e 2.000

lux. No pavimento térreo com a presença da árvore essa faixa de iluminância apresentou a maior frequência – 44% dos registros.

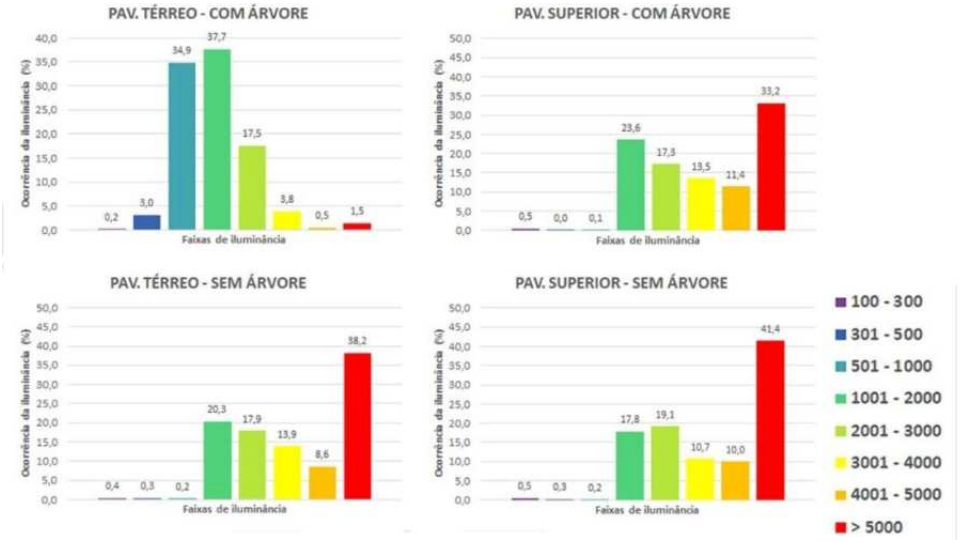
Figura 8 – Orientação Leste – Percentual dos níveis de iluminância divididos por faixa.



Fonte: os autores.

Para a orientação oeste, apresentada na figura 9, a maior frequência de iluminância para o pavimento térreo com a presença da árvore foi de aproximadamente 38% na faixa de iluminância que vai de 1.000 a 2.000 lux, seguido de 35% para a faixa de iluminância que vai de 500 a 1.000 lux. No pavimento superior, com a presença da árvore, a maior frequência (aproximadamente 38%) ocorreu para a faixa acima de 5.000 lux. Considerando a situação sem árvore, os dois pavimentos apresentaram comportamento semelhante, onde a maior frequência dos registros foi acima de 5.000 lux – aproximadamente 33% no pavimento térreo e 41% no pavimento superior.

Figura 9 – Orientação Oeste – Percentual dos níveis de iluminância divididos por faixa.



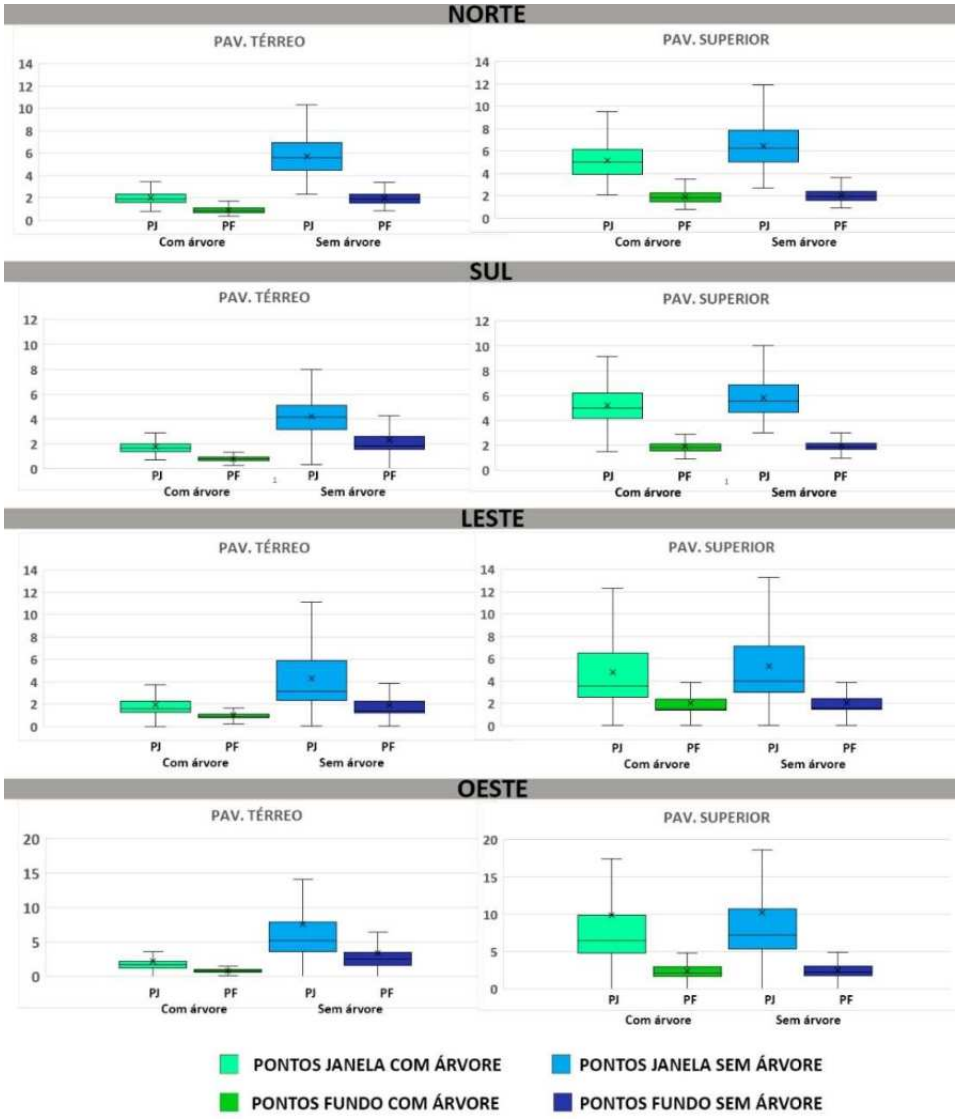
Fonte: os autores.

Na figura 10 e tabela 1 são apresentados os níveis de iluminância atingidos considerando o ambiente dividido em duas metades – pontos próximos à janela e

pontos no fundo do ambiente (PJ e PF). Os intervalos de variação da iluminância considerados nos parágrafos seguintes se referem 50% dos dados registrados, ou seja, os dados contidos nas caixas dos gráficos boxplot da figura 10.

Para todas as orientações e nos dois pavimentos os registros dos pontos próximos ao fundo dos ambientes, com a presença da árvore, apresentaram os menores níveis de iluminação. No pavimento térreo, observa-se diferenças muito significativas nos pontos próximos à janela entre as situações sem árvore e com a presença da árvore. As maiores diferenças observadas foram nas orientações leste e oeste. Em leste, 50% das ocorrências variaram 994 lux (entre 1.238 a 2.232 lux) com a presença da árvore e 3.535 lux (entre 2.330 a 5.865 lux) com ausência da árvore. Na orientação oeste, essa variação é de 937 lux (entre 1.294 a 2.231 lux) para a situação com árvore e 4.193 lux (3.742 a 7.935 lux) sem a árvore.

Figura 10: Níveis de iluminância atingidos considerando a primeira metade do ambiente (mais próxima à janela) e a segunda metade (mais ao fundo) do ambiente.



Fonte: os autores.

No pavimento superior, considerando todas as condições, as variações da iluminância observadas são menos significativas. Neste pavimento, os gráficos de caixas apresentados na figura 10 demonstram que há consideráveis reduções da iluminância na parte próximo ao fundo do ambiente em relação a parte próxima a janela, na situação com árvore e sem árvore. No entanto, as amplitudes atingidas quando comparamos as situações com e sem árvore são bastante semelhantes. É o que observamos, por exemplo, na orientação oeste, onde 50% dos registros próximos à janela, considerando a presença da árvore, variaram 5.076 lux (entre 4910 a 9986 lux) e, sem árvore, a variação apresentada é 5.361 lux (5458 a 10819 lux). A variação para os registros dos pontos próximos ao fundo do ambiente, considerando a presença da árvore é de 1.262 lux (entre 1691 a 2953 lux) e, sem a árvore essa variação é de 1.228 lux (entre 1805 a 3033 lux).

Tabela 1: Níveis de iluminância mínima e máxima atingidos e variação da porção correspondente a 50% dos registros.

				Iluminância (lux)		
				Mín	50%	Máx
NORTE	Pav. Tér.	C/ árv	PJ	765	1566 a 2312	3430
			PF	317	658 a 1064	1665
		S/ árv	PJ	2315	4462 a 5913	10345
			PF	827	1540 a 2315	3362
	Pav. Sup.	C/ árv	PJ	2046	3924 a 6156	9495
			PF	791	1475 a 2276	3472
		S/ árv	PJ	2684	4999 a 7825	11941
			PF	885	1589 a 2403	3584
LESTE	Pav. Tér.	C/ árv	PJ	257	1238 a 2232	3720
			PF	203	744 a 1105	1646
		S/ árv	PJ	583	2330 a 5865	11110
			PF	200	1172 a 2241	3835
	Pav. Sup.	C/ árv	PJ	548	2596 a 6537	12431
			PF	277	1393 a 2390	3907
		S/ árv	PJ	626	3023 a 7198	13437
			PF	220	1447 a 2422	3876

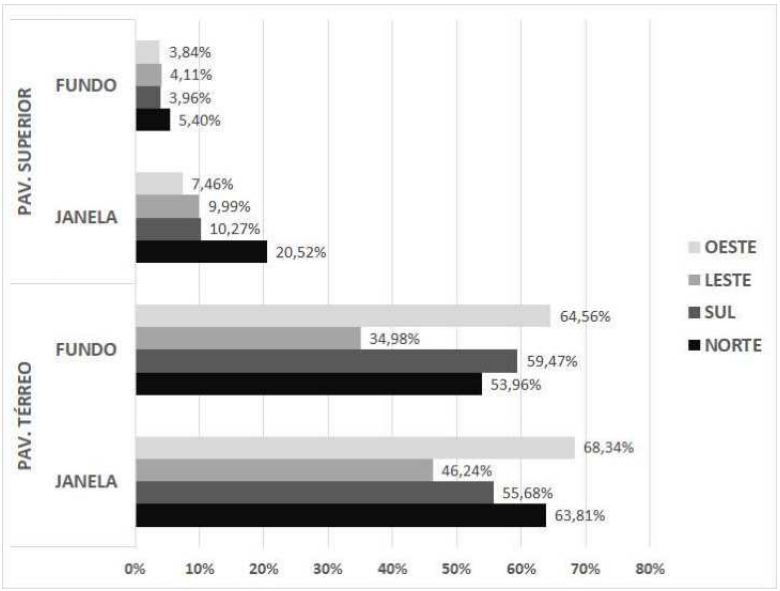
				Iluminância (lux)		
				Mín.	50%	Máx
SUL	[illegible]	C/ árv	PJ	705	1414 a 2009	2902
			PF	313	658 a 941	1364
		S/ árv	PJ	367	3192 a 5125	7956
			PF	150	1566 a 2650	4263
	Pav. Sup.	C/ árv	PJ	2622	4230 a 5222	9143
			PF	914	1600 a 2196	2888
		S/ árv	PJ	2980	4708 a 6895	10013
			PF	975	1668 a 2200	2998
OESTE	Pav. Tér.	C/ árv	PJ	85	1294 a 2231	3587
			PF	126	639 a 995	1522
		S/ árv	PJ	250	3742 a 7935	14144
			PF	10	1680 a 3578	6412
	Pav. Sup.	C/ árv	PJ	305	4910 a 9986	17478
			PF	100	1691 a 2953	4818
		S/ árv	PJ	396	5458 a 10819	18645
			PF	134	1805 a 3033	4866

Fonte: os autores.

O gráfico da figura 11 mostra os percentuais de redução da iluminância da situação com a presença da árvore em relação a situação sem a presença da árvore. Para demonstrar estas reduções, os ambientes foram divididos em duas porções - a porção mais próxima à janela e a porção no fundo do ambiente.

É possível observar que as maiores reduções ocorreram para o pavimento térreo, principalmente para a orientação oeste, chegando a quase 70% de redução dos níveis de iluminâncias registrados. O comportamento das reduções da luz considerando as duas porções do ambiente (janela e fundo) é bastante semelhante em todas as orientações para este pavimento.

Figura 11: Percentuais de redução da iluminância da situação com árvore em relação a situação sem árvore.



Fonte: os autores.

Observa-se no pavimento superior as menores reduções dos níveis de iluminação natural. Na parte mais próxima à janela os percentuais de redução entre as orientações apresentam-se entre 7,5% e 20,5%. Para a parte correspondente ao fundo do ambiente, as reduções entre as orientações são de aproximadamente 3,8% e 5,4%.

CONCLUSÕES

São diversos os fatores que influenciam a disponibilidade da luz natural, entre eles a obstrução causada pelo entorno edificado ou natural. Elementos naturais, como a vegetação arbórea, podem provocar uma obstrução considerável, que se traduz na alteração da quantidade de luz natural disponível no interior dos ambientes. Assim, este artigo investigou o impacto da vegetação arbórea no comportamento dos níveis de iluminação natural de ambientes internos.

Os resultados obtidos demonstram que, especialmente no pavimento térreo, a obstrução causada pela vegetação arbórea locada em frente à uma abertura (janela) resulta em significativo impacto nos níveis de iluminação natural do ambiente interno. A redução da iluminância no pavimento térreo com árvore é cerca de 68% menor em relação à condição com ausência da árvore. Já no pavimento superior a redução nos níveis de iluminação não ultrapassa 20%. O maior impacto da presença da árvore foi observado na porção do ambiente próximo à janela no pavimento térreo, especialmente nas orientações leste e oeste, onde há maior incidência da luz direta do sol.

De forma geral, a presença da árvore proporcionou menores níveis de iluminância, como também maior uniformidade da luz, de maneira mais significante no pavimento térreo e de modo menos contundente no pavimento superior.

Embora a presença de elementos arbóreos se traduza em perda de iluminação natural em ambientes internos, a inserção destes elementos próximos a janelas pode

apresentar um grande potencial para mitigar o desconforto visual através da diminuição dos altos níveis de contraste, brilho excessivo vindo da janela e distribuição desigual da luz no espaço.

Esta pesquisa encontra-se em andamento e tem como foco a proposição, experimentação e análise de métodos de predição do impacto da vegetação na iluminação natural em ambientes internos.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi apoiada com recursos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Cnpq e as Pró-Reitorias de Pesquisa e de Pós-Graduação da Universidade Federal da Paraiba - PROPESQ/PRPG/UFPB. Os autores agradecem o financiamento do CNPQ pelo edital MCTIC / CNPq nº 28/2018 - Universal / Faixa B - Processo: 434583 / 2018-9 e o financiamento obtido através da Chamada Produtividade PROPESQ/PRPG/UFPB Nº 03/2020.

REFERÊNCIAS

[1] ROUHOLLAHI, M.; WHALEY, D.; BYRNE, J.; BOLAND, J. Potential residential tree arrangement to optimise dwelling energy efficiency. **Energy and Buildings**, v. 261, fev. 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111962

[2] SIVARAJAH, S.; THOMAS, S. C.; SMITH, S. M. Evaluating the ultraviolet protection factors of urban broadleaf and conifer trees in public spaces. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 51, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126679

[3] QI, Y.; HEISLER, G. M.; GAO, W.; VOGELMANN, T. C.; BAI, S. Characteristics of UV-B Radiation Tolerance in Broadleaf Trees in Southern USA. In: UV RADIATION IN GLOBAL CLIMATE CHANGE. p. 509 – 530, Heidelberg, 2010. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-03313-1_18

[4] GIES, P. et al. Assessment of the UVR protection provided by different tree species. **Photochemistry and Photobiology**, v. 83, n. 6, p. 1465–1470, 2007.

[5] GRANT, R. H. et al. Ultraviolet leaf reflectance of common urban trees and the prediction of reflectance from leaf surface characteristics. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 120, n. 1–4, p. 127–139, 2003.

[5] SPIEKERMANN, R. I.; SMITHA, H. G.; MCCOLL, S.; BURKITT, L.; FULLER, J. C. Quantifying effectiveness of trees for landslide erosion control. **Geomorphology**, v. 396, Nova Zelândia, 2022.

[7] VAILSHERY, L. S.; JAGANMOHAN, M.; NAGENDRA, H. Effect of street trees on microclimate and air pollution in a tropical city, **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 12, p. 408-415, 2013.

[8] TSUCHIYA, K.; OKURO, T.; TAKEUCHI, K. The combined effects of conservation policy and co-management alter the understory vegetation of urban woodlands: A case study in the Tama Hills area, Japan. **Landscape and Urban Planning**, v. 110, n. 1, p. 87–98, 2013.

[9] MAAS, J. et al. Social contacts as a possible mechanism behind the relation between green space and health. **Health and Place**, v. 15, n. 2, p. 586–595, 2009.

[10] NILSSON K.; SANGSTER M.; KONIJNENDIJK C.C. **Forests, Trees and Human Health and Well-being**: Introduction. Springer, 2011.

[11] BALOGUN, A. A.; MORAKINYO, T. E.; ADEGUN, O. B. Effect of tree-shading on energy demand of two similar buildings. **Energy and Buildings**, v. 81, p. 305-315, 2014.

[12] YOSHIMURA, H. et al. Spectral properties of plant leaves pertaining to urban landscape design of broad-spectrum solar ultraviolet radiation reduction. **International Journal of Biometeorology**, v. 54, n. 2, p. 179–191, 2010.

[13] TOOKE, T. R. et al. Tree structure influences on rooftop-received solar radiation. **Landscape and Urban Planning**, v. 102, n. 2, p. 73–81, 2011.

[14] CANTÓN, M. A.; CORTEGOSO, J. L.; DE ROSA, C. Solar permeability of urban trees in cities of western Argentina. **Energy and Buildings**, v. 20, n. 3, p. 219–230, 1994.

[15] SINOQUET, H. et al. Simple equations to estimate light interception by isolated trees from canopy structure features: Assessment with three-dimensional digitized apple trees. **New Phytologist**, v. 175, n. 1, p. 94–106, 2007.

[16] NA, H. R. et al. Modeling of urban trees' effects on reducing human exposure to UV radiation in Seoul, Korea. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 13, n. 4, p. 785–792, 2014.

[17] BERRY, R.; LIVESLEY, S. J.; AYE, L. Tree canopy shade impacts on solar irradiance received by building walls and their surface temperature. **Building and Environment**, v. 69, p. 91–100, 2013.

[18] TREGENZA, P.; WILSON, M. **Daylighting: Architecture and Lighting Design**. 1º ed.. Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203724613

[19] CODER, R. D. **Identified benefits of community trees and forests**. University of Georgia, n. October, p. 7, 1996.

[20] AL-SALLAL, K. A.; AL-RAIS, L. A novel method to model trees for building daylighting simulation using hemispherical photography. **Journal of Building Performance Simulation**, v. 6, n. 1, p. 38–52, 2012.

[21] SCHILER, M. **Simulating daylight with architectural models**. Daylighting network of North America, University of Southern California, Los Angeles, 1987.

[22] MASCARÓ, L.; MOORE, J. L. **Vegetação Urbana.** Porto Alegre: Masquatro, 2010.

[23] MUKHERJEE, D.; SAFRAJ, S.; TAYYAB, M.; SHIVASHANKAR, R.; PATEL, S. A.; NARAYANAN, G.; AJAY, V. S.; ALI, M. K.; NARAYAN, KM. V.; TANDON, N.; PRABHAKARAN, D. Park availability and major depression in individuals with chronic conditions: Is there an association in urban India? **Health & Place**, v. 47, p. 54-62, 2017.