ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Simulação de sombreador urbano para mitigar ilhas de calor em áreas de adensamento irregular

Simulation of urban shading to mitigate heat islands in irregularly dense areas

Bruna Barros Rodrigues
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | brunabarros@ufmg.br
Júlia Vilanova Valadares
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | juliavillanova@ufmg.br
Larissa Arêdes Monteiro
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | lam2019@ufmg.br
Grace Cristina Roel Gutierrez
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | gracegutierrez@ufmg.br
Eleonora Assis Sad
UFMG | Belo Horizonte | Brasil | elsad@ufmg.br
Rafael Silva Brandão
UFSJ | Belo Horizonte | Brasil | rbrandao@ufsj.edu.br

Resumo

As ilhas de calor são intensificadas pela mudança climática, levando a episódios de ondas de calor nas cidades. Diante da problemática, no contexto da cidade de Belo Horizonte, o presente trabalho objetivou melhorar as condições de conforto térmico em uma rua estreita de adensamento irregular. Para tal, foram desenhados sombreadores urbanos com diferentes inclinações, confeccionados com garrafas plásticas PET (Polietileno Tereftalato), material de reciclagem dos moradores locais. Os sombreadores foram estudados de acordo com as condições de ventilação e incidência solar local. Simulações foram realizadas nos *softwares* Rhinoceros 6, Ladybug e Rayman 3.1, com o objetivo de avaliar o potencial de redução de calor. Os resultados revelaram uma redução significativa da radiação solar no local em estudo, o que proporcionou a redução do índice térmico PET (°C) de 5,4° a 11,3°, evidenciando o potencial de melhoria no conforto térmico humano, com redução do grau de estresse fisiológico. Portanto, conclui-se que o uso de sombreadores urbanos pode ser uma solução sustentável, viável técnica e economicamente, além de mostrar-se eficiente na mitigação de ilhas de calor em áreas urbanas adensadas.

Palavras-chave: Simulação microclimática. Conforto térmico humano. Ilhas de calor. Sombreador urbano. Material reciclado.

Como citar:
RODRIGUES, B. B. et. al. Simulação de sombreador urbano para mitigar ilhas de calor em áreas de adensamento irregular. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

Abstract

Heat islands are intensified by climate change, leading to episodes of heatwaves in cities. Faced with this issue, within the context of the city of Belo Horizonte, this study aimed to improve thermal comfort conditions on a narrow street with irregular density by designing urban shading structures with different inclinations, made from PET (Polyethylene Terephthalate) plastic bottles, a recycling material from local residents. The shading structures were studied based on local ventilation conditions and solar incidence. Simulations were conducted using Rhinoceros 6 and Rayman 3.1 software to assess the potential for heat reduction. The results revealed a significant decrease in solar radiation at the study site, leading to a reduction in the PET (°C) thermal index ranging from 5.4°C to 11.3°C, highlighting the potential for improving human thermal comfort and reducing physiological stress. Therefore, it is concluded that the use of urban shading structures can be a sustainable, technically and economically viable solution, proving to be efficient in mitigating heat islands in densely populated urban areas.

Keywords: Microclimate simulation. Human thermal comfort. Heatwaves. Urban Shading. Recycled material.

INTRODUÇÃO

Múltiplos fatores exercem influência sobre o clima urbano, tais como o relevo, a densidade populacional, a emissão de poluentes do tráfego e das indústrias, as atividades humanas variadas, a presença de áreas verdes, a orientação solar das vias e quarteirões etc. Deste modo, ocorre uma grande variação nas condições microclimáticas em diferentes regiões da cidade devido aos efeitos das ilhas de calor, que acabam afetando as condições de conforto térmico em cada lugar. Diversas estratégias podem ser adotadas para melhorar o conforto térmico local e as condições de saúde pública, como, por exemplo, a aplicação de materiais de superfície com propriedades de resfriamento, uso de superfícies de alto albedo, pavimentação permeável, técnicas de resfriamento evaporativo, aumento da cobertura vegetal e sombreamento, incluindo estruturas como os sombreadores urbanos [1].

As estruturas de sombreamento urbano têm sido utilizadas desde tempos antigos, mas seu uso declinou com o advento do urbanismo moderno e a disseminação do resfriamento artificial em edificações [2]. Estas estruturas podem ser definidas como dispositivos cuja finalidade é melhorar o conforto térmico em áreas expostas à alta radiação solar, proporcionando sombra e proteção contra a luz solar excessiva. Podem assumir diversas formas, tais como toldos fixos ou retráteis, treliças ou muxarabis e arcadas. Podem ser instalados sobre as calçadas e vias urbanas, ou mesmo como elementos isolados de mobiliário urbano; alguns deles conseguem até mesmo ser adaptados para o cultivo de plantas trepadeiras. Recentemente, tem-se observado um renovado interesse por dispositivos de sombreamento urbano como medida para combater o aquecimento local [3][4], por meio do controle da incidência direta da radiação solar e do ofuscamento [5], o que melhora o conforto térmico nas áreas urbanas.

Em áreas urbanas informais, que representam cerca de 20% ou mais do tecido urbano das grandes cidades brasileiras [6], as ruas estreitas e sinuosas dificultam a implantação de infraestruturas, o que muitas vezes inviabiliza o plantio de árvores para sombreamento. No entanto, devido à alta densidade construtiva nessas regiões, as

temperaturas podem ser tão elevadas quanto em centros urbanos densos e verticalizados, resultando em desconforto térmico para residentes e transeuntes [7][8]. Assim, é importante considerar alternativas ao plantio de árvores nas vias urbanas nessas áreas específicas.

O índice térmico PET (temperatura fisiológica) refere-se à temperatura equivalente que um ambiente deve ter para que o equilíbrio térmico do corpo humano seja mantido. Em um cenário típico de ambiente interno, esse índice considera uma temperatura do ar que permite que o corpo humano, com um metabolismo de 80W (devido à atividade física leve somada ao metabolismo basal) e uma resistência térmica da roupa de 0,9 clo, mantenha a temperatura central do corpo e da pele iguais às condições avaliadas. Assim, o índice térmico PET permite avaliar o aspecto térmico do clima com base na experiência de uma pessoa, comparando a sensação geral das complexas condições externas com o que ela percebe em um ambiente interno [9].

A cidade de Belo Horizonte, possui clima de inverno seco e verão quente e úmido, sendo o clima *Aw* na classificação Köppen-Geiger, ou seja, clima tropical de savana com estação seca no inverno. Com isso, uma região com clima de verões quentes pode sofrer com alto desconforto por calor, agravado pelo alto adensamento e pouca vegetação nas cidades [10].

A partir disso, foi desenvolvida a modelagem microclimática de um sombreador urbano, fixado nas fachadas das edificações e feito em plástico de garrafa Polietileno Tereftalato, material mais conhecido como garrafas PET, a fim de melhorar o conforto térmico em regiões altamente adensadas (figura 1). Em cidades como Belo Horizonte, com clima de verões quentes e alto adensamento, o uso de sombreadores na malha urbana pode contribuir para a redução da radiação incidente nas ruas e melhorar o conforto exterior da população. Dessa forma, o objetivo do presente estudo foi analisar a eficiência desse dispositivo de sombreamento na redução da radiação incidente no recinto urbano e seu impacto no índice térmico PET (°C), utilizado na avaliação de conforto térmico urbano.

MÉTODO

A metodologia desenvolvida integrou a abordagem experimental e a simulação computacional [11], de modo que os parâmetros dos modelos computacionais utilizados foram calibrados por dados medidos em campo e/ou registrados por estações meteorológicas locais.

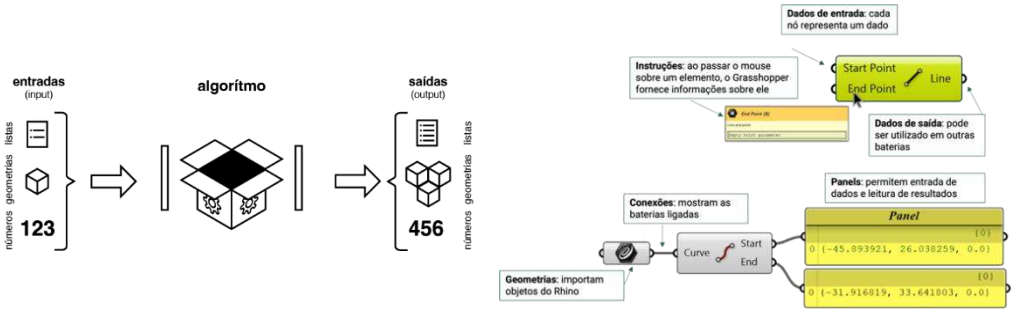
A avaliação do desempenho do sombreador foi desenvolvida por meio da modelagem paramétrica com o uso do *software* Grasshopper acoplado ao modelador Rhinoceros e seu *plug-in* Ladybug. A modelagem paramétrica teve origem ainda nos anos 1960 [12], tendo se desenvolvido simultaneamente ao desenho computacional. Os avanços dessa linguagem de concepção e representação baseada em objetos permitem a incorporação de informações construtivas e ambientais aos elementos do espaço a partir de seus atributos ou propriedades: os **parâmetros**, que podem ser fixos ou variáveis. A parametria, assim, demanda a incorporação de um algoritmo (na forma de código ou *script*) que contenha as instruções para a criação ou para a modificação

do objeto a partir das informações utilizadas, podendo-se também extrair informações dos objetos na medida em que eles são modelados ou criados [13]. Isto se aproxima de uma lógica típica da linguagem de programação de computadores, na qual geometria e espaço são variáveis, estas compreendidas dentro de um arcabouço teórico construído pelo projetista/analista, interagindo com outros tipos de informação abstratas e/ou concretas.

Rivka Oxman discute a contribuição teórica do processo paramétrico para a arquitetura, definindo-o como ***Performance-Based Design*** [14]. Dessa forma, são destacadas três características dos sistemas de modelagem digital: transformação do modelo geométrico com base em avaliações, integração entre modelo e sistema de avaliação e interatividade com o projetista. Essas características tornam o processo paramétrico uma ferramenta eficaz, permitindo que a performance do ambiente guie o projeto e que o ciclo de avaliação e redesenho seja quase automático.

Para viabilizar essas ferramentas, linguagens de programação paramétrica foram integradas a programas de desenho e modelagem computacional. Inicialmente em *scripts* textuais, essas linguagens evoluíram para formatos visuais. Exemplos comuns são o Grasshopper (acoplado ao Rhinoceros) e o Dynamo (integrado ao Revit). Nesses aplicativos, a linguagem verbal foi substituída por "pilhas" interligadas que executam comandos, formando algoritmos visuais (Figura 1).

Figura 1: Esquema de funcionamento do *Grasshopper*



Fonte: os autores.

Entre as ferramentas para investigar o desempenho térmico e luminoso do espaço construído, destacam-se os aplicativos *Ladybug* e *Honeybee*. Integrados ao Grasshopper ou Dynamo, esses aplicativos utilizam algoritmos próprios e motores de simulação de código aberto para analisar dados ambientais.

- ***Ladybug***: Importa arquivos climáticos, cria cartas solares e modelos de céu, visualiza e processa dados, e calcula índices de conforto. Seus algoritmos são internos, não necessitando de outros programas.
- ***Honeybee***: Realiza simulações de desempenho térmico e luminoso usando os programas Radiance, Energy Plus e Daysim. Permite simulações independentes ou integradas, como a sincronização da iluminação artificial

com simulações energéticas. Requer a instalação dos programas "motores" para cálculos, focando principalmente no desempenho de espaços internos.

Com isso, a partir do entendimento e da utilização das ferramentas paramétricas, as etapas de desenvolvimento do trabalho foram definidas (Figura 2).

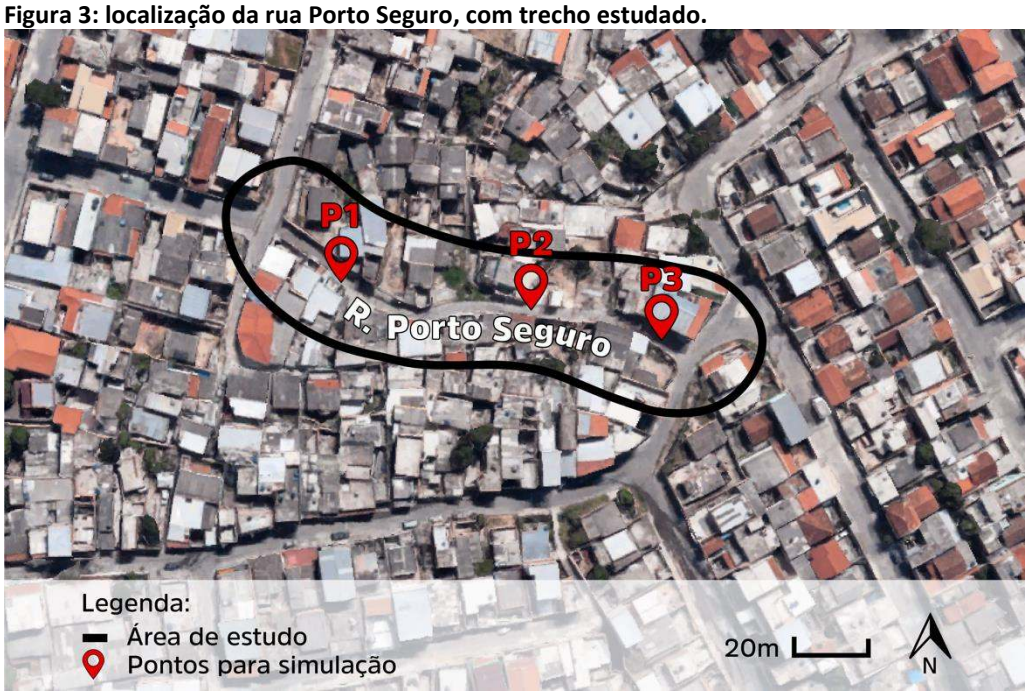
Figura 2: Fluxograma das etapas da pesquisa

1	Definição do caso	Trecho da rua Confisco, cidade de "omitido para avaliação cega"
2	Coleta de dados *in loco*	levantamento de construções e vegetações; medição da velocidade do vento, temperatura, umidade, confecção de imagens olho de peixe
3	Coleta de dados *online*	Radiação Global, razão entre a radiação solar difusa e global, Índice PET, Topografia, malha urbana
4	Modelagem 3D	Rua e entorno urbano no *software* Rhinoceros
5	Definição do material do sombreador	Conforme estudos de "omitido para avaliação cega"
6	Medição	Transmitância de amostras do material proposto para o sombreador
7	Modelagem 3D	Configuração do sombreador
8	Simulação	Configuração do modelo no *plug-in* Ladybug
9	Tratamento de dados	Comparações de dados de Radiação Global e PET

Fonte: os autores.

Na primeira etapa, o lugar foi escolhido, com o objetivo de entender as demandas locais e o problema em seu contexto. O caso de estudo é um trecho de adensamento irregular da rua Porto Seguro, localizada no bairro Confisco, na cidade de Belo Horizonte. Três pontos da rua foram tomados como referências para levantamento dos dados. A Figura 3 mostra o trecho estudado, o entorno construído e os pontos analisados.

Figura 3: localização da rua Porto Seguro, com trecho estudado.



Fonte: os autores, adaptado de Google Maps, 2023.

Na etapa 2, foi feita visita *in loco* para atualização, observação das construções e vegetação locais, a fim de atualizar as informações contidas em documentos da prefeitura municipal e do Google Earth. Nessa etapa, foram coletados dados de três pontos da rua, com medições da velocidade do vento, temperatura e umidade, com o uso de um termo-higro-anemômetro Akrom KR-825. Além disso, foram feitas imagens olho de peixe, com uma lente Nikon FC-E9 acoplada à câmera Nikon Coolpix 5400; esta lente tem a mesma projeção geométrica adotada no *software* RayMan PRO.

A terceira etapa - coleta de dados - foi realizada para gerar os dados de entrada do *software* RayMan PRO. Estes dados são: localização (Belo Horizonte), longitude (-43º56'), latitude (-19º56'), altitude (854,02 m) e fuso horário (-3.0); radiação global [15], dado medido na estação Pampulha, oficial do INMET, a mais próxima do local em estudo, estando distante 9,5 km da rua Porto Seguro [9]; data e horário da medição da velocidade do vento, temperatura e umidade, feita pelos autores *in loco* (30/10/2023 às 15h30); dados médios da população de Belo Horizonte usada na calibração do índice de conforto, com altura (1,70 m), peso (69 kg), idade (32,5 anos) [9], vestimenta (clo=0,5) [16] e atividade metabólica (132,7 W) [17]; razão de Bowen (0,20) [18]; albedo médio (0,20) [19]. Com o uso do *software* Radiasol 2.0, obteve-se a razão entre a radiação solar difusa e global. A coleta de dados envolveu ainda informações extraídas do Google Earth e arquivos dwg disponibilizados pela prefeitura municipal, para a etapa 6 – Modelagem 3D.

Na quarta etapa foi feito o modelo tridimensional da rua e seu entorno mais próximo, no *software* Rhinoceros, através das informações obtidas na etapa 2 e de dados disponibilizados pelo site da prefeitura local. A localização e as projeções das edificações, por exemplo, foram coletadas em arquivos dwg e inseridas e trabalhadas no *software* AutoCAD, para que houvesse maior precisão na modelagem.

A etapa 5 seguiu os estudos de Rodrigues *et al*. [20]. Sabendo que na comunidade há um ponto de reciclagem de garrafas pet, este foi o material escolhido para o desenvolvimento do sombreador, já que é de fácil acesso e conseguido em grande quantidade. Tais objetos podem ser cortados e presos uns aos outros com argolas metálicas, e fixadas nas fachadas das edificações com ganchos metálicos [20].

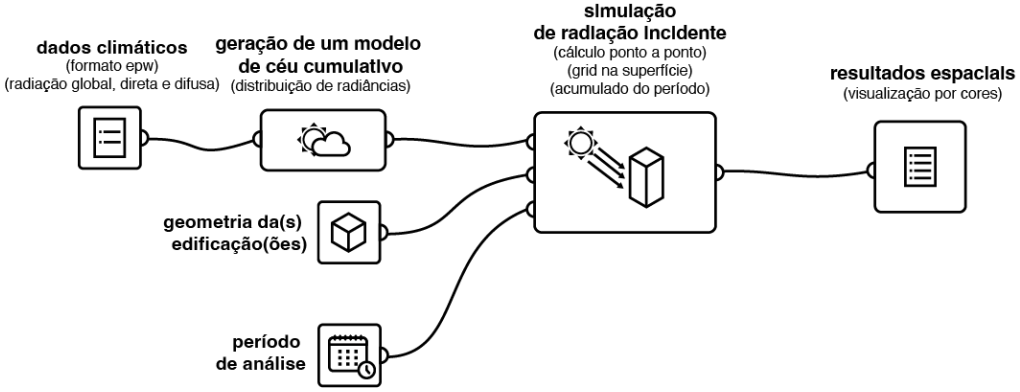
Na etapa 6, uma amostra da malha com garrafas pets foi criada digitalmente. A irradiância solar global foi medida em um pátio aberto, com e sem a presença da amostra da malha, a fim de se obter o percentual de sombreamento fornecido pelo dispositivo. Ressalta-se que foi criada uma pequena malha, apenas como protótipo, sendo todas as malhas que compõem o sombreador desenhadas tridimensionalmente no *software* Rhinoceros, para simulação computacional.

Na modelagem 3D do sombreador (etapa 7), o dispositivo foi desenhado com as mesmas medidas de uma garrafa plástica PET de 1L (10cm de diametro) no Rhinoceros como objeto opaco com vazamentos de 28% da área que indicavam a porcentagem de quantidade de luz que passa pela malha, conforme medição feita na etapa 6.

Na etapa 8, foi feita a configuração da simulação. O algoritmo para simulação de radiação é uma ferramenta do Ladybug e permite criar um céu acumulativo utilizando o modelo de distribuição de radiâncias de Perez [21] e dados horários de radiação

(global, normal direta e difusa) extraídos de um arquivo climático em formato EPW (o mesmo utilizado em programas como o *Energy Plus*). É criada então uma malha sobre a superfície dos objetos a partir de uma dimensão de referência estabelecida pelo usuário e calculada a incidência de radiação acumulada ponto a ponto. O resultado é apresentado de forma gráfica, colorindo-se a malha de pontos de acordo com a intensidade da radiação incidente. Os objetos modelados podem ter sua radiação incidente calculada (incluídos na malha de pontos) ou apenas serem considerados no sombreamento do entorno. O algoritmo não considera as inter-reflexões, sendo calculada apenas a primeira incidência da radiação, seja ela direta ou difusa (Figura 3).

Figura 3: Esquema do algorítmo de simulação para radiação incidente no Ladybug



Fonte: os autores.

RESULTADOS

MODELAGEM

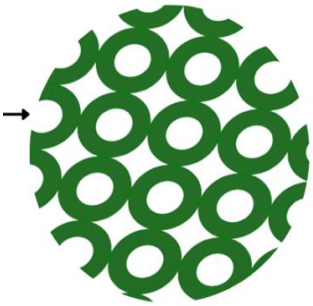
A modelagem do sombreador foi feita em seis malhas de diferentes alturas e inclinações de acordo com as fachadas das edificações, para preservar a ventilação entre elas, juntamente com o desenho dos fundos da garrafa plástica PET que, em malha, também possuem espaços abertos entre cada elemento. A Figura 4.a mostra o protótipo criado para o sombreador. A Figura 4.b mostra o modelo 3D desenhado no Rhinoceros, com o desenho da malha feita para o sombreador. As Figuras 4.c e 4.d mostram o modelo tridimensional do trecho estudado da rua Porto Seguro, seu entorno imediato e das malhas desenhadas, em planta (4.c) e perspectiva (4.d).

Figura 4.a): protótipo do sombreador



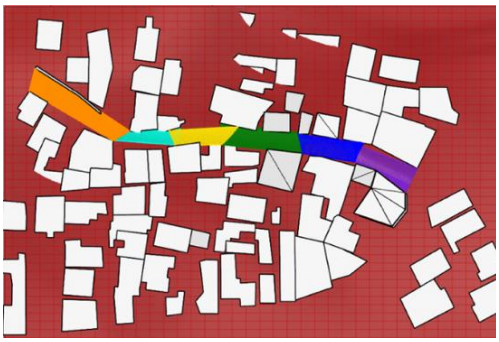
Fonte: os autores.

Figura 4.b): modelo 3D do sombreador, com detalhe da malha desenhada



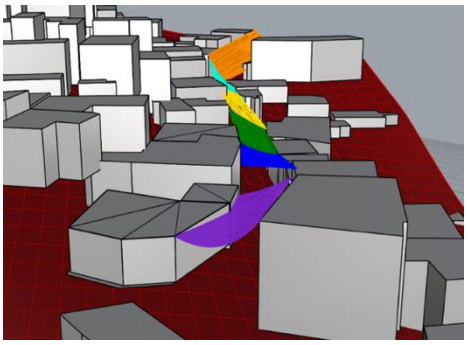
Fonte: os autores.

Figura 4.c) modelagem 3D em planta



Fonte: os autores.

Figura 4.d) modelagem 3D em perspectiva



Fonte: os autores.

DADOS OBTIDOS

Os resultados são apresentados pelos *softwares* de forma gráfica e por tabelas. A Tabela 1 mostra os dados obtidos através de medições e calculados nos *softwares* utilizados.

Tabela 1: dados obtidos

Dado	Resultado			Fonte
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	
Temperatura do ar (°C)	33,5	35,6	33,5	Medição *in loco*
Umidade relativa (°C)	45,9	41,8	46,7	
Velocidade do vento (m/s)	0,4	0	0,4	
Irradiação Global média (W/m²)	343			Ladybug
Irradiância difusa média (W/m²)	176			Radiasol
Razão entre as irradiâncias global e difusa	0,51			
Irradiação incidente sem sombreador (kWh/m²)	222,9	321,0	291,7	Ladybug
Irradiação incidente com sombreador (kWh/m²)	104,3	62,9	69,8	
Índice PET sem sombreador (°C)	41,9	45,7	44,6	Rayman
Índice PET com sombreador (°C)	36,5	34,4	34,7	

Fonte: os autores.

Verificou-se que os resultados das simulações da irradiação solar apresentaram consistência com os dados provenientes de medições e testes realizados. Além disso, observou-se uma redução significativa na incidência da irradiação solar após a implementação do sombreador proposto, reduzindo-a de 20% a 47%, destacando sua eficácia na mitigação das condições de desconforto térmico.

O cálculo do índice PET mostrou uma redução de no mínimo 5,4°C (redução de 12,9% no Ponto 1) e no máximo de 11,3°C (redução de 24,7% no Ponto 2), mostrando que o uso do sombreador foi bastante eficiente para amenizar a radiação solar, e que as condições do entorno alteram bastante a sensação térmica das pessoas, mesmo que

não ocorra uma variação muito grande da temperatura do ar, que no horário considerado foi de apenas 2,1°C.

Pode-se dizer que a área onde o sombreador é mais necessário é no Ponto 2, onde encontra-se uma praça de uso público, sem vegetação e com piso todo pavimentado por concreto.

Na análise dos intervalos do índice PET com o grau de estresse fisiológico percebido pela população de Belo Horizonte (Tabela 3), o uso do sombreador pode levar o usuário da percepção de "extremo estresse de calor" para "forte estresse de calor".

Tabela 3: Intervalos do índice térmico PET calibrado para a população de Belo Horizonte e ajustados para a escala de 7 pontos recomendada pela ISO-10551

PMV	Índice PET	Percepção Térmica	Grau de estresse fisiológico
-1,5 a -3,5	Sem dados	Muito frio	Extremo estresse de frio
Abaixo de 1,5	Abaixo de 12,0	Com frio	Forte estresse de frio
-1,5 a -0,5	12,0 a 15,5	Com pouco frio	Moderado estresse de frio
-0,5 a 1,5	15,3 a 30,5	Confortável; bem	Não há estresse térmico
1,5 a 2,0	30,5 a 31,0	Com pouco calor	Moderado estresse de calor
2,0 a 3,0	31,0 a 35,5	Com calor	Forte estresse de calor
Acima de 3,0	Acima de 35,5	Muito calor	Extremo estresse de calor

Fonte: ASSIS, FIGUEIREDO, MASCARELLO, 2022 [22].

Com isso, os dados e resultados das simulações se mostraram coerentes e válidos para a previsão do efeito do sombreador aplicado no espaço público.

CONCLUSÃO

Este estudo mostrou que a incidência de radiação solar em vias de áreas densamente ocupadas e sem possibilidade de arborização pode levar a condições de extremo estresse térmico, de modo que a alternativa de desenvolver sombreadores urbanos para este tipo de via precisa ser melhor explorada. Assim, foi aplicada a análise paramétrica para a avaliação do desempenho térmico de um projeto de sombreador adaptado às características do local estudado. Os *softwares* Rhinoceros e Ladybug, foram usados na modelagem das condições de irradiação solar, enquanto o RayMan PRO foi usado na modelagem microclimática.

Os resultados das simulações da irradiação solar foram consistentes com dados medidos e testes realizados com um protótipo reduzido da malha do sombreador, validando a simulação computacional, que se revelou uma ferramenta eficiente para os estudos de soluções para lidar com a tendência de aquecimento local.

Apesar do estresse fisiológico ainda ser forte com o uso do sombreador, obteve-se uma redução de até 11,3°C no índice PET, o que é considerável e demonstra a eficácia do dispositivo de sombreamento.

Tendo tudo isso em vista, o estudo dos sombreadores pode ser aprofundado, otimizando a altura de instalação, as geometrias e interfaces entre as malhas, com isto obtendo desempenhos mais eficientes. Além disso, a análise da ventilação através dos softwares é planejada em pesquisa futura. Nesse estudo, essa análise não foi feita devido ao tempo exigido para desenvolver um algoritmo adequado no Rhinoceros. No entanto, entende-se que as formas e instalações do sombreador urbano pode ser aperfeiçoada para melhor desempenho no local. Em pequena escala, o estudo demonstrou o impacto significativo local na melhoria do conforto térmico da população, o que pode ser testado em outras localidades, com o uso de materiais sustentáveis dos locais.

Destaca-se, ainda a sustentabilidade e o *design* passivo como alternativas viáveis para melhorar o conforto ambiental urbano, utilizando sombreadores feitos de garrafas PET recicladas. A pesquisa demonstrou que intervenções sustentáveis e de baixo impacto podem transformar significativamente a percepção térmica e a qualidade de vida em locais, com custo relativamente reduzido. Isso reforça a importância de soluções criativas e ecologicamente responsáveis para enfrentar desafios ambientais nas cidades.

REFERÊNCIAS

[1] OSMOND, P.; SHARIFI, E. **Guide to Urban Cooling Strategies**. 2017. Disponível em: http://www.lowcarbonlivingcrc.com.au/sites/all/files/event_file_attachments/crc_lcl_urban_cooling_guide_2017_web.pdf. Acesso em: 20 agosto 2020.

[2] FOROUDI, L. The architecture of heat: how we built before air-con. **Financial Times**, Architecture, August 28, 2020. Disponível em: https://www.ft.com/content/839d4ccf-269f-44fe-914b-544644a4c819. Acesso em 18 dezembro 2021.

[3] GARCIA-NEVADO, E.; BECKERS, B.; COCH, H. Assessing the cooling effect of urban textile shading devices through time-lapse thermography. **Sustainable Cities and Society**, v. 63, 2020, 102458.

[4] BANDE, L.; GUERRA CABRERA, A.; MARPU, P.; AFSHARI, A. Urban smart shading devices based on traditional Gulf design. Case study located in a district of a hot-arid climate city (Abu Dhabi). In: IEEE INTERNATIONAL SMART CITIES CONFERENCE, 1., 2015, Guadalajara. **Proceedings [...]** Guadalajara: IEEE, 2015. p. 1-6. Disponível em https://hdl.handle.net/11311/983727. Acesso em 18 dezembro 2021.

[5] LAM, C. K. C.; WENG, J.; LIU, K.; HANG, J. The effects of shading devices on outdoor thermal and visual comfort in Southern China during summer. **Building and Environment**, v. 228, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109743

[6] MATA, D. D.; LALL, S. V.; WANG, H.G. Favelas e dinâmica das cidades brasileiras. In: CARVALHO, A.X.Y. *et al*, (Eds.) **Ensaios de Economia Regional e Urbana.** Brasília: IPEA, 2007. p. 47-64.

[7] MORAIS, J.A.M. **Análise exploratória de diferenças de conforto térmico entre dois padrões de ocupação urbana representados por ocupação espontânea e por ocupação planejada**. 2011. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.

[8] GUSSON, C.D.S. **Efeito da densidade construída sobre o microclima urbano: construção de diferentes cenários possíveis e seus efeitos no microclima para a cidade de São**

Paulo, SP. 2014. 152 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

[9] HIRASHIMA, S. Q. S. **Calibração do índice de conforto térmico Temperatura Fisiológica Equivalente (PET) para o município de Belo Horizonte**. 2010. 225 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

[10] REBOITA, M. S.; RODRIGUES, M.; SILVA, L. F.; ALVES, M. A. Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, 2015, p. 206-226.

[11] GROAT, L.; WANG, D. **Architectural Research Methods**. 2nd ed., New Jersey: Wiley, 2013.

[12] WOODBURY, R. **Elements of Parametric Design.** New York: Routledge, 2010

[13] HERNANDEZ, C. Thinking parametric design - introducing parametric Gaudi. **Design Studies**, v. 27, n. 3, 2006, p. 309-324.

[14] OXMAN, R. Digital architecture as a challenge for design pedagogy: theory, knowledge, models and medium. **Design Studies**, v. 29, n.2, 2008, p. 99-120.

[15] INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados Históricos Anuais**. Brasília, 2023. Disponível em: https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos. Acesso em: 30 outubro 2023.

[16] LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3 ed. Rio de Janeiro: ELETROBRÁS/PROCEL, 2012.

[17] FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1995.

[18] TEJEDA-MARTINEZ, A.; JAUREGUI-OSTOS, E. Surface energy balance measurements in the Mexico City region: a review. **Atmósfera**, v. 18, n. 1, 2005, p. 1-23.

[19] STEWART, I. D. Local Climate Zone for Urban Temperature Studies. **Bull. Am. Meteorol. Soc.**, v. 93, n. 12, 2012, p. 1879-1900.

[20] RODRIGUES, B. B.; COSTA, E. D. F.; ASSIS, E. S.; SILVA, F. J. In: ZERO ENERGY MASS CUSTOM HOME INTERNATIONAL CONFERENCE (ZEMCH), 10., 2023. Arequipa. **Proceedings [...]** Arequipa: ZEMCH Network/Universidad Catolica de San Pablo, 2023. 6p.

[21] PEREZ, R.; SEALS, R.; INEICHEN, P.; STEWART, R.; MENUCCUCCI, D. New simplified version of the Perez Diffuse Irradiance Model for tilted surfaces. **Solar Energy**, v.39, n.3, 1987, p. 221-231.

[22] ASSIS, E. S.; FIGUEIREDO, A. M.; MASCARELLO, A. V. S. Análise da percepção de variáveis climáticas urbanas por residentes da cidade de Belo Horizonte, Brasil. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL, 7º, 2016, Maceió. **Anais [...]** Maceió: Universidade Federal de Alagoas, 2016, 12 p.