



Revista Brasileira de Gestão Urbana

scielo.br/urbe



Trocas radiantes e conforto térmico em pátios internos de clima tropical

Radiant exchanges and thermal comfort of courtyards in tropical climate

Ivan Julio Apolonio Callejas ^[a] 

Cuiabá, MT, Brasil

^[a] Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia

Luciane Cleonice Durante ^[a] 

Cuiabá, MT, Brasil

^[a] Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT), Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia

Eduardo Leite Krüger ^[b] 

Curitiba, PR, Brasil

^[b] Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Departamento de Construção Civil

Como citar: Callejas, I.J., Durante, L. C., & Krüger, E. L. (2025). Trocas radiantes e conforto térmico em pátios internos de clima tropical. *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 17, e20240060, 2025.
<https://doi.org/10.1590/2175-3369.017.e20240060>

Resumo

Pátios internos apresentam elevado potencial de desempenhar controle térmico passivo, proporcionando atenuação dos níveis de estresse térmico ao frio e ao calor, constituindo-se em uma estratégia mitigadora dos impactos das ilhas de calor urbanas e das mudanças climáticas em nível das edificações. Este estudo tem por objetivo avaliar comparativamente a capacidade de arrefecimento e aquecimento proporcionada por dois pátios implantados em clima tropical e seus respectivos impactos na atenuação da sensação térmica

IJAC é professor, Doutor em Física Ambiental, e-mail: ivan.callejas@ufmt.br

LCD é professora, Doutora em Física Ambiental, e-mail: luciane.durante@ufmt.br

ELK é professor, Doutor em Arquitetura, e-mail: ekruger@utfpr.edu.br

predita em condições de frio e calor. Foram monitoradas as variáveis microclimáticas externas e internas aos dois pátios, em um dia frio e em um dia quente, quantificando-se o potencial de arrefecimento e aquecimento. Constatou-se a importância da morfologia do pátio na moderação das condições de exposição térmica em seu interior, evidenciando que pátios profundos, devido à sua capacidade de controle da radiação solar direta, podem ser planejados para uso como zonas térmicas mais amenas em dias muito quentes e/ou abrigos em situação de ondas de calor.

Palavras-chave: Arrefecimento. Sensação térmica. Insolação. Fator forma.

Abstract

Courtyards have a high potential to perform passive thermal control, providing attenuation of thermal stress levels, due to cold or heat, constituting a strategy to mitigate the impacts of urban heat islands and climate change at the building level. This study aims to evaluate comparatively the cooling and heating potentials provided by two courtyards located in a tropical climate and their specific impacts on the attenuation of the predicted thermal sensation in cold and hot conditions. The external and internal microclimatic variables of the two courtyards were monitored, on a cold and a hot day, quantifying the cooling and heating potential. The morphology importance of the courtyard in moderating the thermal exposure conditions inside is highlighted. Therefore, deep courtyards, due to their ability to control direct solar radiation, can be designed with the function of relaxation areas on very hot days and/or shelters in heat wave situations.

Keywords: Cooling effect. Thermal sensation. Insolation. Aspect ratio.

Introdução

Atualmente, nos centros urbanos de países em desenvolvimento, verificam-se alterações da temperatura do ar associadas à elevada urbanização (Ward *et al.*, 2016) e ao aquecimento global. Bitencourt *et al.* (2019) verificaram em todas as regiões brasileiras, de 1961 a 2016, um aumento da frequência e intensidade das ondas de calor e uma diminuição das ondas de frio.

Apesar de representarem menos de 0,5% da superfície terrestre, as áreas urbanas são consideradas responsáveis por alterações no clima, com efeitos em escalas local e regional (Schneider *et al.*, 2009). Huang & Lu (2015) analisaram o aumento de temperatura na área do Delta do Rio Yangtze, concluindo que a urbanização causa impacto sobre o aquecimento local, agravando o global.

Nesse contexto, a baixa qualidade ambiental dos espaços urbanos a céu aberto pode comprometer o seu uso e o bem-estar dos usuários (Ward, 2011). Dentre os diversos aspectos que definem a adequação de uso de espaços públicos a céu aberto estão as condições microclimáticas, essenciais para garantir sua atratividade (Diz-Mellado *et al.*, 2006), sendo estes muito afetados pelos atributos morfológicos (tanto de estruturas naturais como construídas) e pela distribuição e densidade da vegetação, que interfere na interação do usuário com o sombreamento e acesso solar, seja em situações de frio ou calor.

Como correlato, surge a necessidade de se pensar em políticas públicas voltadas para a gestão das áreas urbanas afetadas pelo frio ou calor, propondo o uso da própria morfologia urbana para mitigar os efeitos térmicos. Diante disso, o foco deste artigo é o comportamento térmico de pátios internos, que se apresentam como espaços descobertos, delimitados por edifícios em seu perímetro, estabelecendo uma zona de transição entre ambientes internos e externos, que podem servir de *buffer zones*, regulando espaços adjacentes às edificações. Promovem iluminação natural, ventilação e sombreamento para os ambientes circundantes e podem desempenhar diversas funções, tais como convívio e lazer (Al-Hafith *et al.*, 2017; Soflaei *et al.*, 2017).

Como elemento bioclimático de origem vernacular, o pátio atua como um modulador do microclima devido a sua capacidade de regular as trocas térmicas com os elementos do clima e com os edifícios adjacentes, controlando a ventilação e insolação incidentes (Markus, 2016). Essencialmente, o arranjo interno e a proporção de volumes criados pelos pátios são responsáveis por essas trocas (Rivera-Gómez *et al.*, 2019), com elevado potencial de proporcionar resfriamento passivo e, assim, contribuir para a resiliência ao fenômeno da ilha de calor, mitigando os efeitos do aquecimento global (Zamani, Heidari & Hanachi, 2018).

Historicamente, o pátio como recurso arquitetônico tem sido empregado com fins de melhoria do conforto ambiental e do desempenho térmico de edifícios tradicionalmente em climas desérticos e mediterrâneos (Al-Hafith *et al.*, 2017; Soflaei *et al.*, 2017; Rivera-Gómez *et al.*, 2019), com recente aumento do interesse pelo seu comportamento térmico em climas quente-secos e, especialmente, em climas frios e quente-úmidos (Tablada *et al.*, 2009; Taleghani *et al.*, 2014). Seu desempenho está associado à sua orientação solar e morfologia, especialmente quanto à relação entre a altura média das edificações que o circundam (H) e a sua largura ou comprimento (W) (Hall *et al.*, 1999), que impactam diretamente nas condições de sombreamento do pátio.

Na América Hispânica, o pátio foi repassado pelos colonizadores europeus, sendo os claustros um dos tipos mais representativo na América do Sul (Caldas, 2001). Embora as edificações com pátios não façam parte da tradição luso-brasileira (Reis-Alves, 2006), no Brasil, está presente em alguns

edifícios históricos, como nos quartéis militares, mosteiros e nas casas aristocráticas. Hodiernamente, raramente é utilizado em projetos, em especial em clima tropical de savana, devido à falta de conhecimento de suas vantagens, em particular, da sua capacidade de controle passivo do microclima (Callejas et al., 2020).

A revisão de literatura internacional revelou uma vasta quantidade de pesquisas sobre o tema que se concentram em investigações do seu desempenho microclimático (Tablada et al., 2009; Rivera-Gómez et al., 2019), da influência de seus atributos morfológicos no seu desempenho térmico (Soflaei et al., 2017; Rodríguez-Algeciras et al., 2018), da sua orientação solar, sombreamento e insolação (Elghezawy & Eltarabily, 2021; Al-Hafith et al., 2017; Galán-Marín et al., 2018), da influência da vegetação no seu microclima (Del Rio et al., 2019), bem como questões relacionadas ao conforto térmico (Diz-Mellado et al., 2021; Martinelli & Matzarakis, 2017) e consumo de energia nas edificações (Taleghani et al., 2016; Cantón et al., 2016). As metodologias aplicadas são diversas desde pesquisas teóricas com uso de softwares como o ENVI-met e o Energy Plus com vistas a realizar simulações computacionais (Lopez-Cabeza et al., 2018; Cantón et al., 2016), bem como por meio de monitoramento microclimático, especialmente focando na quantificação do efeito de arrefecimento passivo (Galán-Marín et al., 2018; Rivera-Gómez et al., 2019). Mais recentemente, os pátios têm sido estudados na perspectiva de proporcionar resiliência climática (Akbari et al., 2021).

No Brasil, há um razoável número de pesquisas a respeito de conforto térmico em ambientes abertos, como, por exemplo, fragmentos florestais urbanos e parques (Dacanal, Labaki & Silva, 2010; Lima et al., 2019), locais cobertos por espécies arbóreas e por vegetação (Abreu e Labaki, 2010; Shinzato e Duarte, 2018), espaços públicos abertos destinados a pedestres (Monteiro & Alucci, 2012; Rossi et al., 2012), espaços de passagem (Labaki et al., 2012) e cânions urbanos (Minella et al., 2011; Krüger & Gonzales, 2016; Muniz-Gaal et al., 2018). No entanto, pesquisas voltadas para o conforto térmico em espaços de transições, como é o caso de pátios internos, ainda são pouco exploradas apesar de importantes uma vez que esses espaços se caracterizarem como ambientes térmicos nem internos nem externos às edificações.

Diante deste contexto, este estudo tem por objetivo avaliar comparativamente a capacidade de arrefecimento e aquecimento proporcionada por dois pátios implantados em clima tropical de savana brasileira e seus respectivos impactos na atenuação da sensação térmica em condições de frio e calor. A pesquisa contribui para aprofundar o conhecimento sobre o desempenho de pátios em regiões quentes e úmidas, buscando detalhar o comportamento dessa estratégia bioclimática com vistas a incentivar o seu uso nas diversas regiões brasileiras com características climáticas similares, especialmente como espaços que forneçam arrefecimento térmico em relação aos ambientes a céu aberto, tendo em vista as mudanças climáticas e a maior frequência e severidade das ondas de calor nessas regiões.

Método

Etapa 1: Local de estudo

A pesquisa foi realizada em Cuiabá, MT (15°36'36"S; 56°11'04"W), cidade de clima Tropical de Savana (Köppen-Geiger Aw), apresentando estação quente-úmida (entre a primavera e verão, de outubro a abril) e quente-seca (entre o outono e inverno, de maio a setembro). As temperaturas média, mínima e máxima anuais são de 27,9°C, 23,0°C e 30,0°C, respectivamente, com umidade relativa e

precipitação anuais de 72% e 1372mm, respectivamente (Callejas et al., 2019). As condições de desconforto por calor são frequentes e elevadas em Cuiabá, conforme dados de estresse térmico em termos do índice UTCI (Universal Thermal Climate Index) obtidos do repositório climate.onebuilding.org e representados na ferramenta online CBE Clima Tool (Betti et al., 2023) (Figura 1).

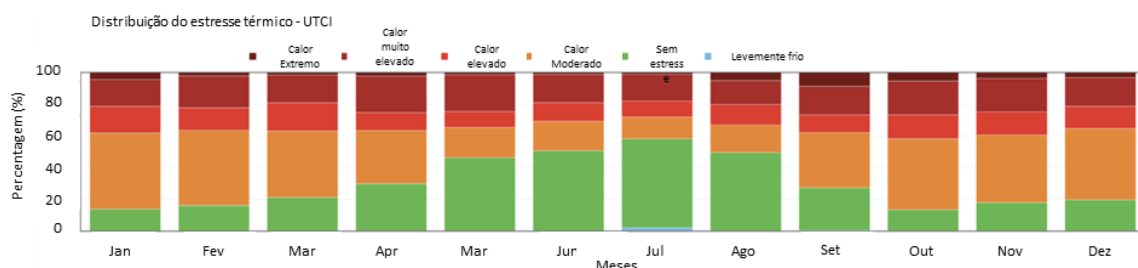


Figura 1 – Representação das classes de estresse térmico do índice UTCI para Cuiabá. Fonte: arquivo SWERA, disponível em climate.oneBuilding.org.

Como objetos de estudo, foram definidos um pátio interno do Palácio da Instrução e o do Arsenal de Guerra (Figuras 2, 3 e 4). O Palácio da Instrução foi construído em estilo neoclássico em 1914, abrigou uma escola tradicional na primeira metade do século passado e, atualmente, abriga a sede do Museu de História Natural e Antropologia e Biblioteca Pública. Possui dois pavimentos com dois pátios retangulares centrais simétricos orientados no eixo mais longo no sentido NE-SO, com 13,7 m de largura (L), 10 m de comprimento (W) e 11,8 m de altura (H), gerando um fator de forma ou AR (em inglês Aspect Ratio, representado pela relação H/W) máximo de 1,18. Para a realização das medições, selecionou-se o pátio a leste, o qual possui uma fonte central de água (mantida desativada durante o experimento). Em seu perímetro, existem canteiros, com presença de arbustos e grama, cobrindo 13% da área do pátio (Figura 2a).

O Arsenal de Guerra (Figura 2b) foi um estabelecimento militar utilizado para fabricar, reparar e guardar armamento, na então antiga Província de Mato Grosso. Construído em 1831, em estilo eclético (nos moldes franco-lusitanos), apresenta um único pavimento e um amplo pátio interno retangular orientado em seu eixo mais longo a NO-SE, com 75,20 m de largura (L), 64,30 m de comprimento (W) e 7 m de altura (H), com AR máximo de 0,11. Os ambientes internos são protegidos por varandas que circundam todo o pátio. O encontro das fachadas sudoeste/sudeste é adornado por palmeiras e das fachadas nordeste/noroeste com mangueiras. A projeção das copas sombreia 43% da área do piso do pátio e 18% da área do pátio é coberta por grama.

Ressalta-se que o Palácio da Instrução segue as regras indicadas por Rodríguez-Algeciras et al. (2018) para pátios implantados em região de clima quente e úmido, que estabelecem que estes devem apresentar três pavimentos e serem posicionado ao longo do eixo NE-SO com vistas a obter um eficiente índice de desempenho de sombreamento. Já o Arsenal de Guerra atende apenas ao requisito da orientação cardeal.

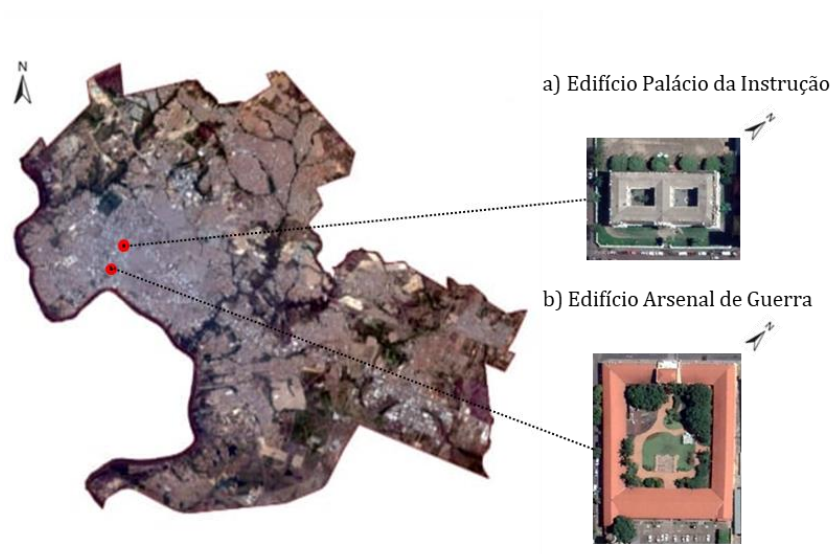


Figura 2 – Locais de estudo: a) Vista aérea do Palácio da Instrução e b) Vista aérea do Arsenal de Guerra. Fonte: Adaptado de Google Earth.



Figura 3 – Edifício Palácio da Instrução (à esquerda) e do pátio analisado (à direita). Fonte: Adaptado de Lacerda (2008), p.42, foto da esquerda de Téo de Miranda.



Figura 4 – Edifício Arsenal de Guerra (à esquerda) e do seu pátio interno (à direita). Fonte Adaptado de RD News (2021). Foto da esquerda de Rodinei Crescêncio.

Etapa 2: Monitoramento microclimático

O registro dos dados externos ocorreu por meio de estação meteorológica HOBO instalada na cobertura do edifício Arsenal de Guerra, posicionada a aproximadamente 12m de altura e equipada com

sensores de radiação solar (R_g , em W/m^2), temperatura do ar (T_a , em $^{\circ}C$), umidade relativa do ar (UR , em %), temperatura do globo (T_g , em $^{\circ}C$) e velocidade do ar (v_a , em m/s) (Figura 5a). A escolha pelo posicionamento da estação sobre a cobertura deu-se de forma a minimizar possíveis influências térmicas do pátio e seus elementos construtivos constituintes. Todos os sensores atendem às recomendações da ISO 7726 (2002) e foram previamente calibrados. Já para monitoramento das variáveis microclimáticas no interior dos pátios, utilizou-se um datalogger HOBO Onset U12, com sensores de temperatura do ar (T_a , em $^{\circ}C$), umidade relativa do ar (UR , em %) e temperatura do globo (T_g , em $^{\circ}C$) (Figura 5b/c). A Tabela 1 apresenta as características dos sensores usados nas medições.

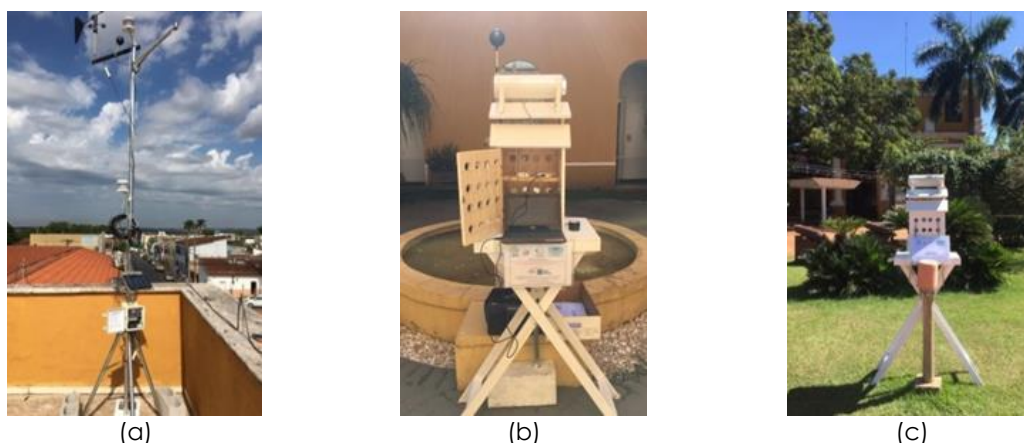


Figura 5 – Estações meteorológicas instaladas (a) referência externa aos pátios localizada na cobertura do Arsenal de Guerra e internamente ao pátio dos edifícios: (b) Palácio da Instrução e (c) Arsenal de Guerra.

Tabela 1 – Sensores utilizados na medição

Local	Variável ambiental	Modelo do Sensor	Faixa de medição	Precisão
Cobertura	Radiação solar global	Model S-LIB	0 - 1280 Wm^{-2}	$\pm 10 Wm^{-2}$
	Temperatura do ar	S - THB - M008	-40 - 75 $^{\circ}C$	$\pm 0.2^{\circ}C$ entre 0 $^{\circ}C$ a 50 $^{\circ}C$
	Umidade do ar	S - THB - M008	0 - 100%	$\pm 2.5\%$ entre 10 a 90%
	Termômetro de globo	S - TMB - M002	-40 - 100 $^{\circ}C$	$\pm 0.2^{\circ}C$ between 0 $^{\circ}C$ to 50 $^{\circ}C$
	Velocidade do ar	S - WSA/ WCA	0 - 45 m/s	1.1 m/s or $\pm 4\%$
Pátios	Temperatura do ar	U12 Temp	-20 - 70 $^{\circ}C$	$\pm 0.35^{\circ}C$ entre 0 $^{\circ}C$ a 50 $^{\circ}C$
	Umidade do ar	U12 umidade	5 - 95%	$\pm 2.5\%$ entre 10% a 90%
	Termômetro de globo	U12 externo (cabo TMD)	-20 - 70 $^{\circ}C$	$\pm 0.35^{\circ}C$ entre 0 $^{\circ}C$ a 50 $^{\circ}C$

Com exceção do termômetro de globo, posicionado a 2,0m de altura de forma a não ser sombreado pelo abrigo solar utilizado (padrão da Organização Mundial de Meteorologia), os demais instrumentos foram posicionados a 1,1m, que corresponde à altura média do centro de gravidade de pessoas adultas (ISO, 2002). Os registros foram armazenados na forma de valores médios a cada 5 minutos.

Nos pátios, a definição dos pontos de medição, levou-se em consideração a trajetória solar, o padrão de sombreamento em cada pátio e a existência da vegetação. Assim, os equipamentos foram posicionados em locais onde havia apenas influência das sombras projetadas pela envoltória do edifício, sem influência direta de indivíduos arbóreos existentes, uma vez que as árvores são capazes de alterar a sensação de conforto térmico principalmente sob suas copas e com reduzida influência em seu entorno imediato (Abreu & Labaki, 2011; Callejas & Krüger., 2022).

Quanto ao período de monitoramento, em Cuiabá, as temperaturas mais baixas anuais ocorrem próximas ao solstício de inverno, devido à entrada de frentes frias com o avanço de massas polares advindas do Atlântico Sul, levando a temperaturas do ar abaixo de 18 °C (Campelo Júnior et al., 1991). Já as mais altas temperaturas do ar são verificadas no final do período de estiagem, entre setembro e outubro, próximo ao equinócio de primavera. Assim, optou-se por analisar o desempenho dos pátios para o dia mais frio (07/07/2019) e para o dia mais quente (16/09/2019), definidos a partir de coleta de dados contínua, com registros horários durante todo o ano. Em ambos, ocorreu baixa presença de nuvens e ausência de precipitação.

Com relação à determinação dos índices de insolação e sombreamento nos pátios (ganhos solares), consideraram-se dois indicadores para avaliar o desempenho dos pátios: índices de sombreamento e de insolação (Akbari et al., 2021). O primeiro representa a porcentagem média da área sombreada total de todo o envelope do pátio (variando entre 0 e 1) e, o segundo, o nível médio de insolação recebido pelo envelope do pátio por área exposta à radiação solar (Wh/m²).

Para quantificar as áreas sombreadas e expostas à radiação solar, utilizou-se o software Autodesk Ecotect Analysis 2011 (Autodesk, 2011) para a modelagem simplificada dos edifícios (Figura 6). A escolha do programa se dá em virtude da possibilidade de alteração do arquivo climático importado usado na simulação e ainda pela capacidade gerar dados de saída como os índices de sombreamento e de insolação horários por fachada, o que permite quantificar as métricas mencionadas. Para o uso do software Ecotect, torna-se necessário inserir a orientação solar dos edifícios, latitude e longitude do local de implantação e dados das variáveis ambientais, com base em série histórica fornecida por arquivo climático no formato Weather Data Files (WEA), utilizando-se aquele desenvolvido para Cuiabá (DOE, 2005). Definidas as datas de análise, o software permite simular a trajetória aparente do sol e o consequente sombreamento proporcionado por sua forma geométrica, bem como a intensidade de insolação nas superfícies dos edifícios.

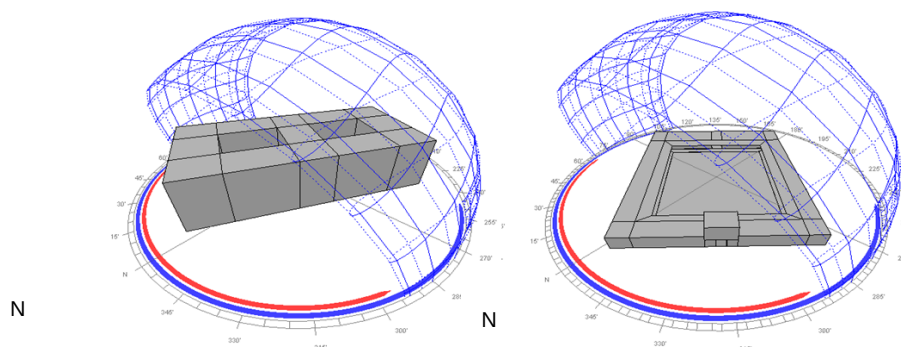


Figura 6 – Modelagem no Ecotect do Palácio da Instrução (à esquerda) e Arsenal de Guerra (à direita).

O Índice de sombreamento médio horário do pátio foi calculado quantificando-se a área sombreada das superfícies circundantes do pátio (fachadas e piso) em todas as horas do dia, por meio da Equação 1, na qual i se refere a uma superfície específica do pátio, AS_i à área das superfícies internas do pátio; e, PH_{Si} à porcentagem horária de sombra nas superfícies do pátio (fachadas ou piso).

$$I_{\text{somb}} = \frac{\sum_{i=1}^n (AS_i \cdot PH_{Si})}{\sum_{i=1}^n AS_i} \quad (1)$$

A intensidade de insolação média horária é obtida por meio da Equação 2, na qual i se refere a uma superfície específica do pátio (fachadas e piso), ISR_i se refere à intensidade da irradiação solar horária recebida por cada uma das superfícies do pátio; $PHRS_i$ à porcentagem horária de área que recebeu irradiação nas superfícies do pátio (fachada ou piso); e, AS_i à área da superfície circundante do pátio (fachada ou piso). Esse índice expressa a intensidade de irradiação solar recebida pela envoltória do pátio em Wh/m^2 .

$$I_{insol} = \frac{\sum_{i=1}^n (ISR_i \cdot PHRS_i \cdot AS_i)}{\sum_{i=1}^n AS_i} \quad (2)$$

Para representar adequadamente a radiação solar incidente, os dados das componentes direta e difusa da radiação solar incidente foram inseridos manualmente no arquivo climático, por meio da aba “hourly data” do programa Ecotect. Estes valores foram utilizados para o cômputo da intensidade de radiação recebida pelas fachadas/piso dos pátios. Os valores horários das parcelas direta e difusa foram obtidos a partir dos dados de radiação global horizontal medidos em campo, derivados conforme metodologia proposta por Lemos et al. (2017). A Figura 7 apresenta a radiação global horária medida nas datas em análise. A radiação global diária incidente registrada no dia 07/07/2019 (dia frio) e no dia 16/09/2019 (dia quente) foi similar, com valores alcançando $4,26 \text{ kWh/m}^2$ e $4,49 \text{ kWh/m}^2$, respectivamente. Devido às limitações do software, procedeu-se à simulação simplificada do sombreamento e insolação nas fachadas desprezando a existência das árvores no interior dos mesmos.

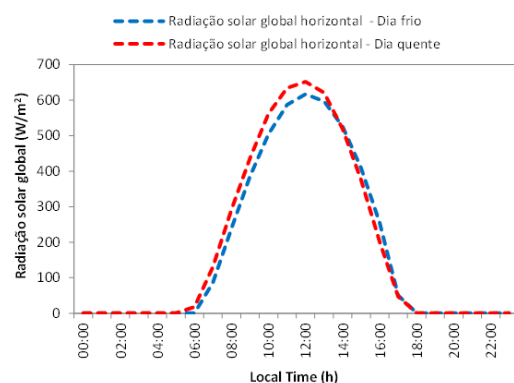


Figura 7 – Radiação solar global horizontal medida no dia mais frio e no dia mais quente.

De forma a se obter uma estimativa teórica do comportamento térmico obtido com a envoltória dos pátios, utilizou-se a ferramenta CBE Clima Tool (Betti et al., 2021), a qual permite análise climática e de conforto externo segundo o índice UTCI a partir de arquivo climático. Assim, dados climáticos do repositório *climate.onebuilding.org* de Cuiabá¹ foram utilizados para este fim. A partir deste arquivo climático derivaram-se as seguintes situações hipotéticas para o índice térmico UTCI (Universal Thermal Climate Index, em inglês) para comparar os resultados das medições no interior dos pátios: 1) “Sun_Wind” (com sol e vento), condição ambiental considerada na análise de conforto com a interferência de insolação e ventilação; 2) “Sun_NoWind” (com sol e sem vento), condição ambiental com

¹https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/MT_Mato_Grosso/BRA_MT_Cuiaba-Rondon.Intl.AP.833620_TMYx.2007-2021.zip

o bloqueio da ventilação, porém sem sombreamento (v_a fixada em 0.5m/s, considerando que esta velocidade é a mais baixa possível para aplicação do índice UTCI, segundo Bröde, 2021), 3) “NoSun_NoWind” (sem sol e sem vento) ($v_a=0.5\text{m/s}$ e $T_a=Trm$ e, sendo Trm a temperatura radiante média), condição de bloqueio total da radiação e da circulação de ar; 4) “NoSun_Wind” (sem sol e com vento), condição de bloqueio total da radiação porém com circulação de ar no ambiente.

Etapa 3: Quantificação dos impactos na sensação térmica proporcionado pelos pátios

Utilizou-se o UTCI para determinar a sensação térmica predita nos pátios. Esse índice se baseia no modelo multimodal de termorregulação humana proposto por Fiala et al. (1999), apresentando como resposta a temperatura equivalente em um ambiente fictício de referência que causa a mesma resposta fisiológica das condições ambientais do ambiente de estudo. Sua escolha se deve ao fato do UTCI ser um índice amplamente usado no Brasil em pesquisas de conforto térmico em espaços abertos (Minella et al., 2011; Krüger & Drach, 2016; Borges et al., 2020).

O UTCI foi calculado por meio do software *Universal tool for bioclimatic and thermophysiological studies - BioKlima* v. 2.6², a partir dos dados medidos concomitantemente, interna e externamente a cada pátio, sendo a vestimenta ajustada automaticamente pelo software em função da temperatura do ar do ambiente conforme rotina interna do cálculo do UTCI (Bröde et al., 2011).

Para maior compreensão da sensação térmica predita pelo UTCI, utilizaram-se as classes de sensação térmica locais calibradas por Borges et al. (2020) para Cuiabá (Tabela 2).

Tabela 2 – Categorias de Estresse térmicos originais e calibradas para região de clima Tropical

Categorias de Estresse Térmico	Faixas de UTCI (Cuiabá) ¹	Faixas de UTCI originais ²
Estresse por frio	<14,5	0 a 9°C
Leve estresse por frio	14,5 a 21,5°C	0 a 9°C
Sem estresse (conforto térmico)	21,5 a 28,5°C	9 a 26°C
Moderado estresse por calor	28,5 a 36°C	26 a 32°C
Forte estresse por calor	36 a 43°C	32 a 38°C
Muito forte estresse por calor	> 43°C	38 a 46°C

Fonte: Adaptado de Borges et al. (2020)¹ e Bröde et al. (2011)².

O impacto da atenuação do pátio na sensação térmica predita pelo UTCI foi estimado por meio da diferença do valor do UTCI a céu aberto ($UTCI_{ext}$) e no interior do pátio ($UTCI_{pátio}$) conforme a Equação 3.

$$\Delta UTCI = UTCI_{ext} - UTCI_{pátio} \quad (3)$$

A partir dessa relação, têm-se valores positivos expressando resfriamento e valores negativos representando situações de aquecimento no pátio.

Resultados

² <https://www.igipz.pan.pl/bioklima-crd.html>

As Figuras 8 e 9 apresentam os valores médios de sombreamento (em %) nas duas datas de análise, para o Palácio da Instrução e para o Arsenal de Guerra, respectivamente. Gerou-se a representação das porcentagens de sombreamento de modo a se visualizar os totais nas fachadas.

Nas datas analisadas, nos dois pátios, as fachadas orientadas a sudoeste (SO) e sudeste (SE) apresentam as superfícies mais ensolaradas, ou seja, com menor índice de sombreamento médio durante o dia. Já as fachadas noroeste (NO) e nordeste (NE) são as menos expostas ao sol, com maior nível de sombreamento em sua superfície. No Arsenal de Guerra, com AR 0,11, devido à presença das varandas, as fachadas SO e NE recebem proteção solar adicional, somente ficando expostas no início da manhã (em SO) e no final da tarde (em NE). Uma vez que a trajetória aparente do sol está declinada ao norte nas duas datas de análise, a superfície do pátio do Palácio da Instrução, com AR 1,18, permanece com elevado nível de sombreamento ao longo do dia, diferindo do que ocorre no Arsenal de Guerra, com maior exposição solar.

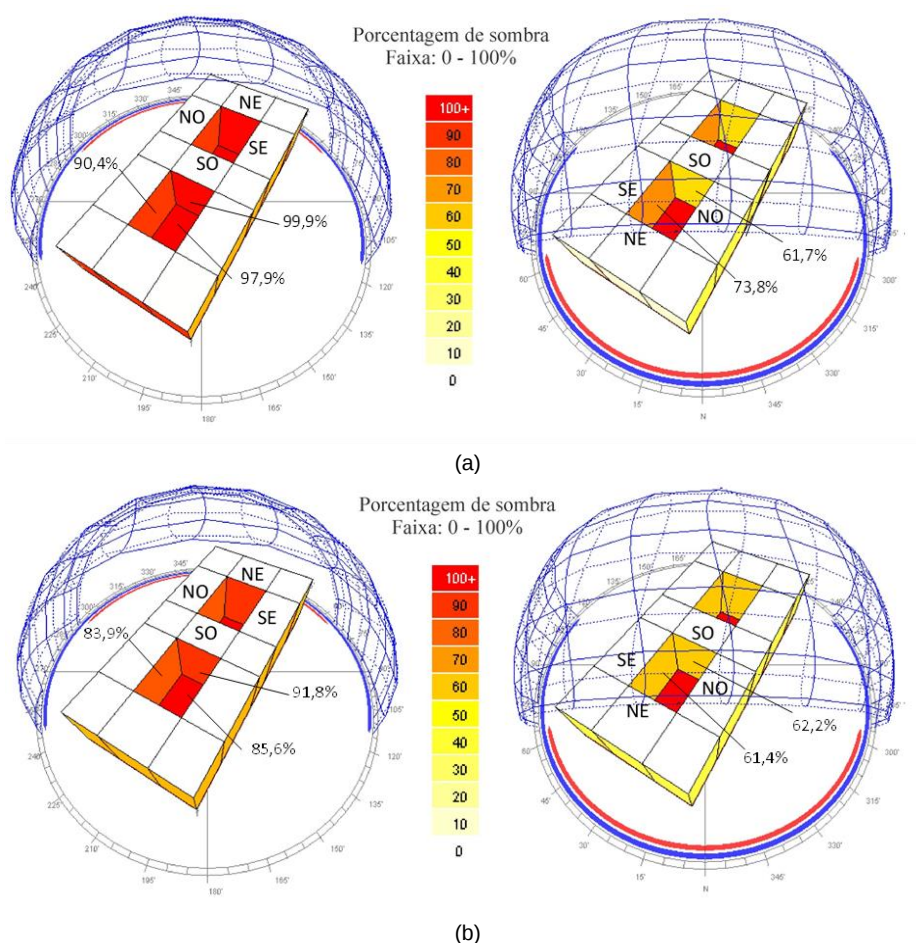


Figura 8 – Porcentagem média diária de sombreamento (das 6h às 18h) sob duas perspectivas nas superfícies no Palácio da Instrução (AR 1,18) - a) 07/07/2019 (dia frio) e (b) 16/09/2019 (dia quente).

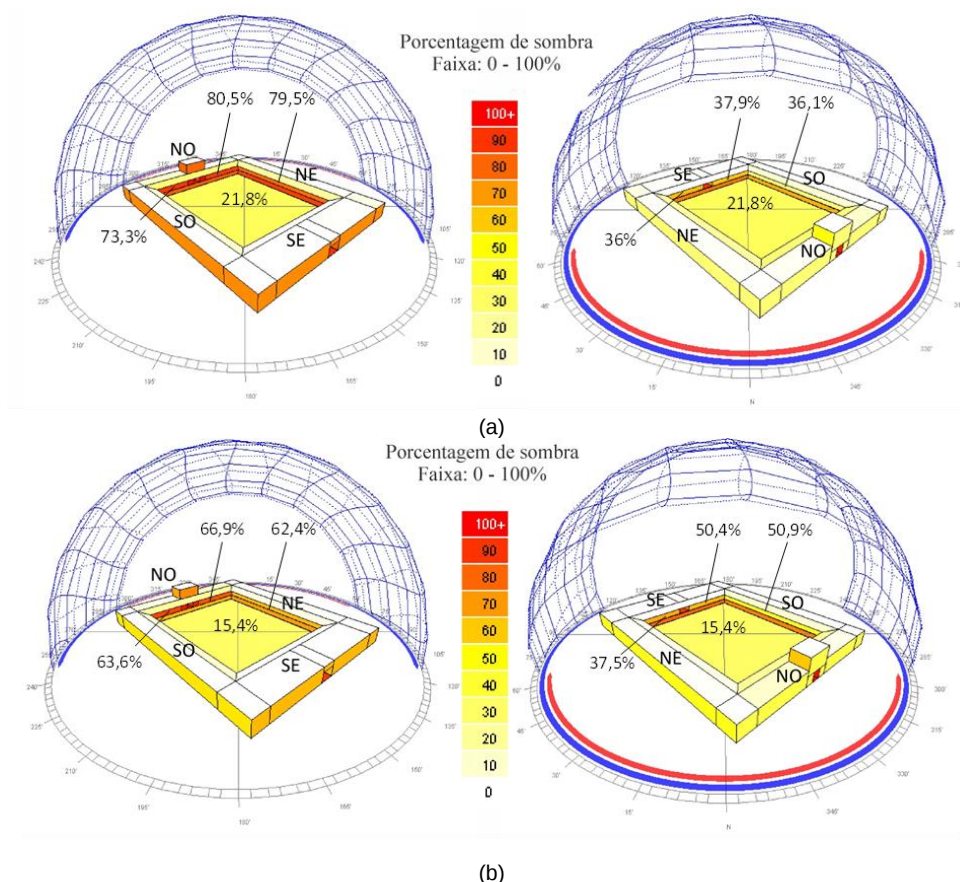


Figura 9 – Porcentagem média diária de sombreamento (das 6h às 18h) sob duas perspectivas nas superfícies do Arsenal de Guerra (AR 0,11) - (a) 07/07/2019 (dia frio) e (b) 16/09/2019 (dia quente).

Por meio da análise da Figura 10, é possível perceber que, à medida que o sol se eleva, há redução do sombreamento e elevação da insolação no interior dos pátios. Contudo, nota-se menor incidência solar no pátio mais protegido (Palácio da Instrução), comparativamente ao pátio com pouca obstrução (Arsenal de Guerra), isso ocorrendo de forma mais acentuadamente no dia quente. Devido à posição aparente do sol, o sombreamento obtido na envoltória do pátio do Palácio é na maior parte do tempo superior a 80% em ambos os dias pesquisados. No pátio do Arsenal, nos horários de maior insolação, o nível de sombreamento se reduz para 40%. Portanto, sob a perspectiva do conforto térmico, pátios com fatores de forma mais elevados tendem a permanecer mais sombreados e menos expostos à insolação, atuando assim como uma estratégia arquitetônica termorreguladora. Rodríguez-Algeciras et al. (2018) avaliaram por meio de simulação computacional o efeito da verticalização no sombreamento e na insolação modificando as condições geométricas de um pátio localizado em clima quente e úmido, inicialmente raso até ele ficar profundo. Resultados apontaram que pátios com altura de dois andares e com orientação N-S ou NE-SW são recomendados visando obter melhor desempenho em termos de controle da temperatura radiante em seu interior.

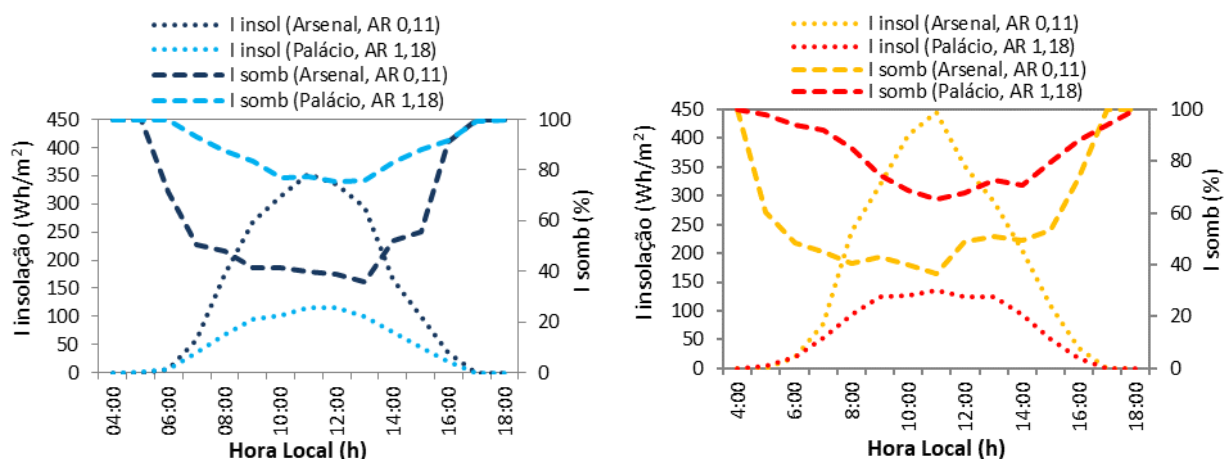


Figura 10 – Intensidade de insolação e índice de sombreamento médios horários nos pátios, dia frio (à esquerda), dia quente (à direita), em 07/07/2019 (dia frio) e 16/09/2019 (dia quente).

A Figura 11 apresenta resultados de variação anual do UTCI para quatro condições térmicas hipotéticas expressas por meio do índice térmico UTCI devido a ação do vento e do sol no espaço externo, obtidos a partir do CBE Clima Tool. Percebe-se que o bloqueio de vento aumenta a condição de desconforto por calor, enquanto o bloqueio do sol, mesmo em situação de quase estagnação do ar, traz redução do UTCI médio e dos picos anuais. Por sua vez, a condição sem sol e com ventilação proporciona os menores níveis de estresse. Nessa perspectiva, a melhor situação para mitigar o calor em pátios em regiões de clima tropical seria prover o pátio com grande percentual de sombreamento, porém favorecendo estratégias de ventilação natural, como no caso de arcadas e galerias. Na comparação entre o pátio do Palácio da Instrução e do Arsenal de Guerra e segundo as estimativas de conforto no espaço aberto trazidas pela ferramenta CBE Clima Tool, o maior percentual de sombreamento do primeiro pátio deve trazer melhores condições de conforto com redução do estresse ao calor. Essa hipótese é avaliada mais a frente, a partir das medições realizadas em campo dentro dos dois pátios com distintos fatores de forma.

O ciclo diário da sensação térmica expressa pelo índice UTCI observado externamente aos pátios é fortemente dependente da incidência de radiação solar, uma vez que esta é principal variável responsável por alterar a temperatura radiante média, conforme se verifica na comparação entre “Sun_Wind” e “NoSun_Wind” (Figura 11). Nos pátios analisados (Figura 12), a sensação térmica predita é afetada pelas variáveis microclimáticas e, também, pelo sombreamento e radiação solar nas fachadas e piso, decorrentes da sua orientação solar, forma geométrica e trajetória aparente do sol. Esta dinâmica interfere na insolação e nas parcelas de radiação de onda curta e de onda longa refletida e emitida pelas superfícies verticais circundantes, afetando, principalmente, a temperatura radiante média no pátio.

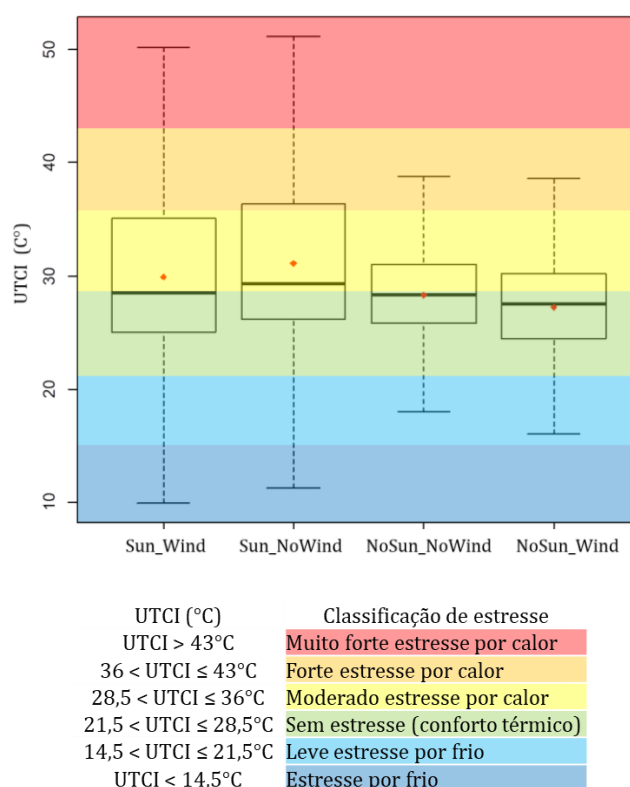


Figura 11 – Boxplot com resultados do CBE Clima Tool de UTCI anual. Cada Caixa representa o primeiro e o terceiro quartis, com as extremidades representando máximos e mínimos absolutos e o ponto central a média de valores.

No pátio do Palácio da Instrução, das 9h às 13h, a sensação térmica predita pelo UTCI é superior à observada externamente ao pátio, em virtude tanto da incidência solar quanto das trocas térmicas com as superfícies verticais internas. Na manhã, até às 10h, e em toda a tarde, a partir das 13h (incluindo-se parte do período noturno), quando o sombreamento prevalece em seu interior (pouca insolação), a sensação térmica é mais dependente das demais variáveis ambientais, uma vez que a temperatura radiante se aproxima da temperatura do ar. Durante o período noturno, em decorrência da inércia térmica das paredes da envoltória e da sua forma geométrica, seu interior permanece mais quente que externamente ao pátio devido à dificuldade de haver perdas radiativas para as abóbadas e ao calor armazenado nas superfícies verticais sendo emitido para o pátio como radiação de onda longa, fazendo com que a sensação térmica predita de calor seja superior que a externa.

Já no pátio do Arsenal de Guerra, devido ao seu menor fator de forma, logo no início da manhã, o sol atinge o pátio, reduzindo-se o sombreamento dos prédios circundantes, e elevando-se a temperatura radiante média, o que faz com a sensação térmica predita permaneça superior à externa até as 16h. Após esse horário e durante todo o período noturno, nota-se considerável redução da sensação térmica predita e do estresse térmico por calor comparativamente à condição externa. Isso ocorre devido ao seu reduzido fator de forma, o que favorece as perdas radiativas para a abóbada celeste e, também, em parte devido à varanda, a qual proporciona proteção às fachadas durante o dia, reduzindo o armazenamento de calor na fachada dos prédios circundantes e, desta forma, reduzindo também a quantidade de radiação de onda longa emitida no período noturno.

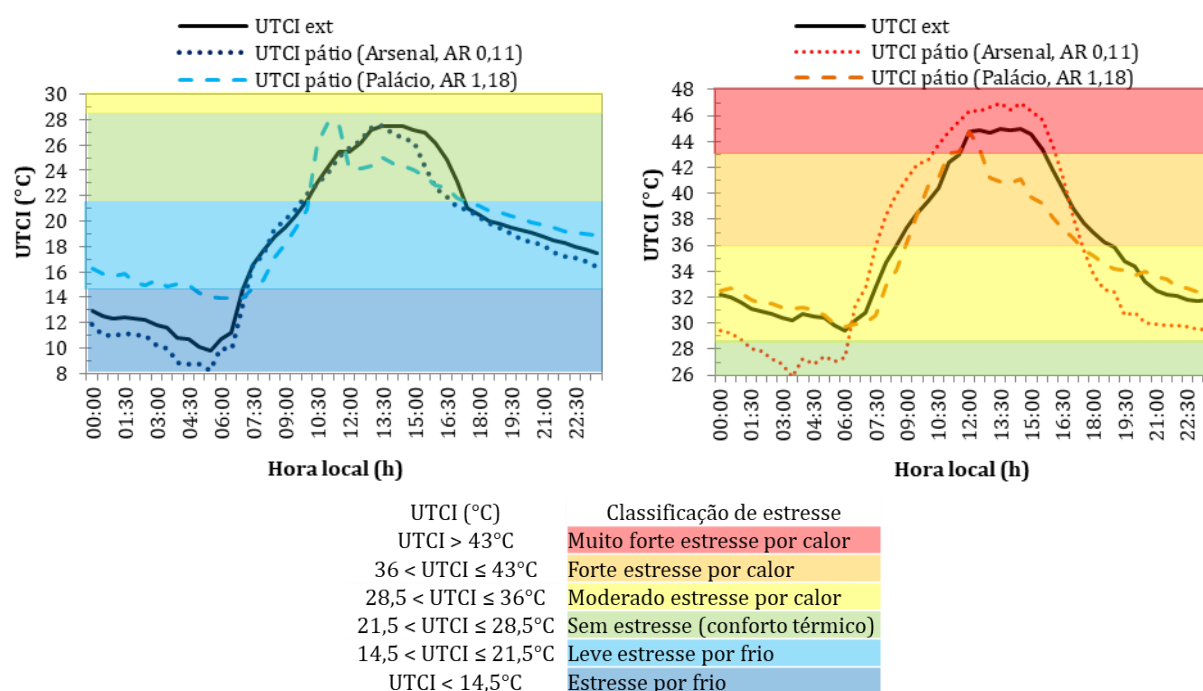


Figura 12 – Ciclo diário da sensação térmica interna e externa nos pátios - dia frio (à esquerda) e quente (à direita).

No dia frio (Figura 12, coluna à esquerda), ocorre sensação de “conforto térmico” em ambos os pátios ($21,5^{\circ}\text{C}$ a $28,5^{\circ}\text{C}$, faixa calibrada para Cuiabá) das 10h30min às 17h. No período noturno até às 23h, a sensação térmica é de “leve estresse por frio” ($14,5^{\circ}\text{C}$ a $21,5^{\circ}\text{C}$). Porém, devido ao resfriamento mais rápido observado no pátio do Arsenal, a classificação “frio” para o UTCI calibrado ($<14,5^{\circ}\text{C}$) permanece durante toda a madrugada, condição alcançada pelo pátio do Palácio da Instrução somente no alvorecer, reduzindo-se assim o desconforto térmico por frio. Durante a manhã, a sensação térmica de calor é menor no pátio mais aberto, resultante ainda do resfriamento radiativo noturno do pátio até o momento que a entrada de sol é suficiente para alterar as condições radiantes nas superfícies do pátio. Neste dia, a porcentagem de horas de conforto é de apenas 29% em ambos os pátios, prevalecendo o desconforto devido ao “leve estresse por frio” (de 58% e 38% no Palácio e Arsenal, respectivamente), e “por frio” (de 13% e 34%, respectivamente).

Já no dia quente (Figura 12, coluna à direita), a condição de “conforto térmico” não é alcançada em nenhum horário do dia nos dois pátios. Desde o início da manhã até às 8h, verifica-se a sensação predita de “moderado estresse por calor” ($28,5^{\circ}\text{C}$ a $36,0^{\circ}\text{C}$). Porém, com a progressiva elevação da temperatura radiante, a sensação se eleva para “forte estresse por calor” (36°C a 43°C) até 10h, em ambos os pátios. Com a entrada do sol no interior do pátio do Palácio da Instrução, a condição se eleva para de “muito forte estresse por calor”, se estendendo até às 13h, horário em que seu interior volta a ser sombreado e a sensação volta a ser de “forte estresse por calor” até às 17h. No pátio do Arsenal de Guerra, a sensação de “muito forte estresse por calor” se estende até às 16h devido ao baixo nível de sombreamento durante a manhã e tarde. A partir desse horário até ao final da madrugada, a sensação predita no interior dos dois pátios permanece como de “moderado estresse por calor”. Justifica-se a ausência de horas de conforto por se tratar de um dia com condições extremas de exposição térmica encontrada durante o período de medição. A porcentagem de horas em “moderado estresse por calor”

(63%) prevalece em ambos os pátios, seguida de “forte estresse por calor” (25%) no Palácio e de “muito forte estresse por calor” (21%) no Arsenal.

Em termos de redução das condições de sobreaquecimento para as duas datas de análise (Δ UTCI, definida conforme a Eq. 3), a Figura 13 apresenta tais relações.

No dia frio (Figura 13, coluna à esquerda), no pátio do Palácio da Instrução, durante o período noturno (das 18h às 6h), o sobreaquecimento no interior do pátio resulta em sensação térmica predita mais elevada que a externa (média de $-2,25^{\circ}\text{C}$) (Figura 14). Durante a manhã e à tarde, com exceção do período de maior insolação no interior do pátio e de maior altura solar, variando de 60° a 80° entre das 10h às 12h, no qual há elevação da sensação térmica predita (em média $2,9^{\circ}\text{C}$) no pátio, constata-se a capacidade de arrefecimento passivo do pátio (Δ UTCI médio para manhã e tarde de $2,1^{\circ}\text{C}$). No pátio do Arsenal de Guerra, durante o período noturno, se observa sua capacidade de arrefecimento, com sensação térmica predita mais amena que a externa (Δ UTCI médio de $1,4^{\circ}\text{C}$). No período diurno, com exceção da faixa entre 10h30 e 11h30 com sensação térmica predita mais elevada que a externa (Δ UTCI médio de $-0,35^{\circ}$), nota-se um discreto arrefecimento durante todo o dia (média de $0,4^{\circ}\text{C}$).

Já no dia quente (Figura 13, coluna à direita), no pátio do Palácio da Instrução, o comportamento no período noturno é semelhante ao do dia frio, notando-se uma redução acentuada do sobreaquecimento noturno. Nesse pátio, ocorre também uma maior redução do calor no interior do pátio durante o período de maior incidência solar (Δ UTCI médio de $0,6^{\circ}\text{C}$), chegando a um pico de Δ UTCI de cerca de 5°C no meio da tarde. No pátio do Arsenal de Guerra, nota-se a capacidade de arrefecimento no período noturno, com sensação térmica predita no pátio mais amena do que no exterior (Δ UTCI médio de $2,8^{\circ}\text{C}$). Durante o período diurno, o sobreaquecimento prevalece, com elevação na sensação térmica predita no pátio (Δ UTCI médio de $2,4^{\circ}\text{C}$).

Em linhas gerais, o pico da atenuação da sensação térmica predita é de $3,5^{\circ}\text{C}$ e $3,7^{\circ}\text{C}$ nos pátios de elevado e baixo fator de forma, respectivamente, no período vespertino no dia frio. Este pico é de $4,9$ e $4,2^{\circ}\text{C}$ no dia quente, no período vespertino e noturno nos pátios de elevado e baixo fator de forma, respectivamente.

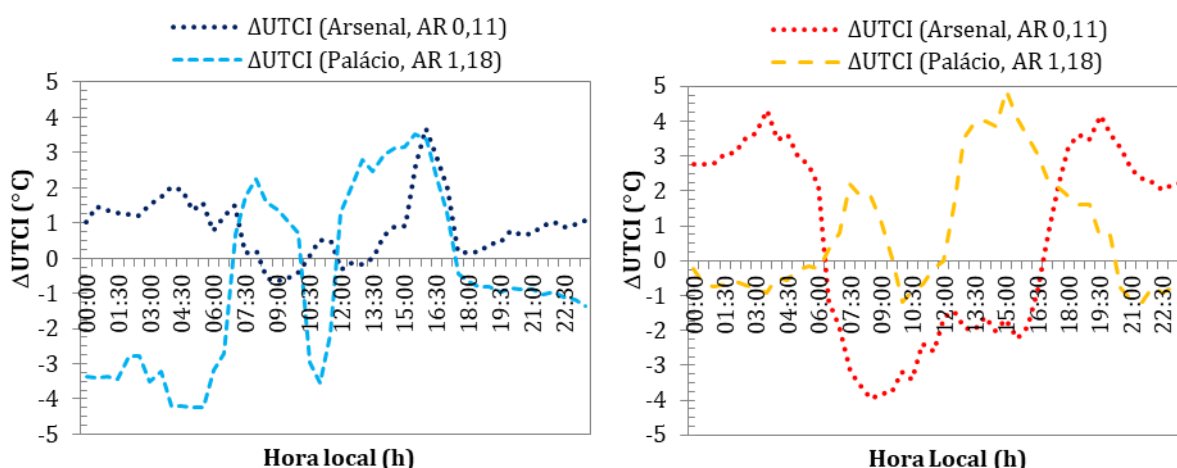


Figura 13 – Atenuação da sensação térmica predita nos pátios no dia frio (à esquerda) e quente (à direita).

Discussão

Observa-se a tendência de um efeito estabilizador da sensação térmica predita, em períodos distintos nos dois pátios, decorrente das suas proporções geométricas. Essa tendência foi observada também em pátios implantados em clima mediterrâneo, onde a elevação das proporções H/W reduziu os valores extremos de estresse térmico ao frio e ao calor estimados por meio do índice PET, com efeitos mais pronunciados no verão do que no inverno (Martinelli & Matzarakis, 2017).

Os padrões observados no estudo são coerentes com os encontrados para pátios retangulares durante o solstício de inverno e verão, respectivamente, no Centro Histórico de Camagüey-Cuba, onde se observou a importância do fator de forma no controle da temperatura radiante média e dos níveis de conforto atingidos internamente nos pátios (Rodríguez-Algeciras et al., 2018).

Estudo desenvolvido por Callejas & Krüger (2022) envolvendo aplicação de questionários com visitantes e usuários dos pátios analisados mostrou haver maior variação dos votos de sensação térmica no pátio mais exposto (Arsenal de Guerra) para baixos níveis de estresse térmico por calor do que no pátio do Palácio da Instrução, o que representa mais uma vez esse efeito de mitigação de calor e controle térmico do pátio em razão de sua morfologia (Diz-Mellado et al., 2021).

Como recomendação de utilização dos pátios, para os dias frios, no pátio do Palácio, são aconselháveis atividades ao ar livre das 10 às 15h, período em que a radiação solar penetra no seu interior e eleva a sensação térmica para dentro da faixa de conforto térmico. No pátio do Arsenal, devido à presença de sol durante quase todo o período diurno, não há restrição quanto ao uso. Nos dias quentes, o oposto é sugerido, ou seja, realização de atividades ao ar livre no interior do pátio mais obstruído recomendada para antes das 10h e após às 16h. No pátio do Arsenal, atividades ao ar livre devem ocorrer após as 16h e durante todo o período noturno.

Com vistas a atenuar a insolação recebida nas superfícies dos pátios, principalmente no pátio com baixo fator de forma, recomenda-se o plantio de vegetação ou uso de dispositivos de sombreamento estrategicamente posicionados para torná-lo acessível às atividades nos horários não recomendados para seu uso. As sugestões se aderem àquelas apresentadas para pátios implantados em clima tropical no hemisfério norte (Ghaffarianhoseini et al., 2015).

Ressalta-se a relevância do emprego de pátios em cidades quentes como Cuiabá (clima tropical), atualmente afetada por ondas de calor de grande intensidade em razão das mudanças climáticas. Estudo realizado para algumas capitais brasileiras quanto à relação entre urbanização e alterações no clima local a partir de dados de reanálise climática mostrou um aumento significativo da condição de desconforto por calor, com acréscimo de 15% de horas anuais na classe do UTCI de “Muito forte estresse por calor” na comparação entre os anos de 1985 e 2020 para Cuiabá (Krüger et al., 2024), o que certamente irá requerer soluções viáveis de mitigação do calor. Considerando a função de controle térmico dos pátios de maior profundidade ou fator de forma, sua função como abrigo para ondas de calor cada vez mais frequentes em regiões tropicais (Robinson et al., 2021), mostra enormes vantagens.

Reduzir o risco de exposição ao calor sob condições de ondas de calor é parte das recomendações da Organização Mundial de Meteorologia (WHO, 2024), incluindo ações que visam permanecer na sombra. Enquanto o Norte Global já vem pensando em prover os cidadãos urbanos com abrigos contra o calor geridos com equipamentos de ar-condicionado (Derakhshan et al., 2023), uma solução mais branda para o Sul Global, via de regra com economia menos estável, pode focar na implementação de

espaços de transição mais eficazes ao combate ao calor. Tais espaços podem até mesmo ser parte de edificações, como pátio e átrios, por exemplo.

Na perspectiva de proporcionar maior resiliência térmica a estes ambientes, quanto ao fator de forma, que se mostrou eficiente em impactar as variáveis ambientais dentro do pátio, a implantação de espécimes arbóreos nesses espaços de transição contribui para proporcionar maior sombreamento aos elementos que integram o pátio, reduzindo os ganhos térmicos nas superfícies de piso e paredes e impactando positivamente o efeito da inércia térmica do conjunto. Além disso, o uso de espécimes arbóreos é uma importante estratégia para atenuar ainda mais os níveis de estresse térmico uma vez que proporcionam resfriamento evaporativo decorrentes da evapotranspiração, configurando-se como estratégia passiva de condicionamento térmico. Uma investigação conduzida por meio de simulação computacional considerando a supressão de espécimes arbóreos dentro do pátio evidenciou a importância dessa estratégia bioclimática complementar como uma forma de alívio térmico, observando-se efeitos de arrefecimento térmico e de umidificação do ar, principalmente nos horários de pico (14h), que se estenderam aos corredores e salas adjacentes do pátio (Callejas et al., 2022).

Conclusões

Como principais contribuições da estratégia projetual de pátios em climas tropicais, ressalta-se que morfologias mais avantajadas, com maior fator de forma, são recomendadas para espaços de transição e permanência nos quais a utilização se dá prioritariamente durante o dia, em razão do sombreamento proporcionado e menores níveis de estresse térmico por calor decorrentes. No entanto, ressalta-se que, no período noturno, pátios profundos permanecem sobreaquecidos, o que pode comprometer o desempenho térmico dos ambientes circundantes durante a noite. Já os pátios mais abertos, de menor fator de forma, são recomendados para utilização no final do período vespertino e durante o período noturno (espaços destinados a apresentações, shows, dentre outros). Destaca-se que essa estratégia projetual pode beneficiar os ambientes circundantes do pátio, uma vez que há efeito de arrefecimento em seu interior durante esse período. No entanto, durante o período diurno, devido ao elevando nível de insolação recebidos no seu envelope, o desempenho de pátios abertos fica comprometido.

Em termos de mitigação de ilhas de calor, pátios profundos podem cumprir importante função de controle térmico e de entrada de radiação solar direta em dias quentes, e, portanto, serem planejados para utilização durante o dia como áreas de lazer em regiões de clima quentes e/ou abrigos em situação de ondas de calor.

Como forma de aprofundar o conhecimento do pátio como agente mitigador de calor, recomenda-se a realização de estudos, principalmente por meio de simulação computacional em vista aos custos envolvidos na sua materialização nos ambientes reais, que considerem a implantação de estratégias complementares dentro ou nas imediações do pátio, como o caso de paredes e telhados vegetados. Adicionalmente, uma estratégia ativa passível de ser testada se refere ao uso de aspersores de água dentro do pátio, tendo-se em vista o custo-benefício envolvido na sua aplicação e a capacidade de arrefecimento térmico proporcionada por este sistema ao ambiente, principalmente na estação quente e seca.

Declaração de disponibilidade de dados

O conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste artigo está disponível no SciELO DATA e pode ser acessado em <https://doi.org/10.48331/scielodata.9WNI4K>

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq por meio da Bolsa PIBIC N. 2826694 cedida pela Universidade Federal de Mato Grosso (Processo SEI N. 23108.068538/2020-71).

Referências

- Abreu, L. V., Labaki, L. C. (2010). Conforto térmico propiciado por algumas espécies arbóreas: avaliação do raio de influência através de diferentes índices de conforto. *Ambiente Construído*, 10(4), 103-117. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212010000400008>
- Al-Hafith, O., Satish, B. K.; Bradbury, S., & De Wilde, P. (2017). The impact of courtyard compact urban fabric on its shading: case study of Mosul city, Iraq. *Energy Procedia*, 122, 889-894. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.382>.
- Akbari, H., Cherati, S. M., Monazam, N. H., & Noguchi, M. (2021). Effect of courtyards' geometrical parameters on climate adaptability and shading performance in hot-arid climate of Yazd (Iran). *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 48. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101594>
- Autodesk. Ecotect Analysis: Sustainable Building Design Software. 2016.
- Betti, G., Tartarini, F., Nguyen, C., & Schiavon, S. (2023). CBE Clima Tool: A free and open-source web application for climate analysis tailored to sustainable building design. *Build. Simul.* <https://doi.org/10.1007/s12273-023-1090-5>
- Bitencourt, D. P., Fuentes, M. V., Franke, A. E., Silveira, R. B., & Alves, M. P. A. 2020. The climatology of cold and heat waves in Brazil from 1961 to 2016. *International Journal of Climatology*, 40(4), 2464-2478.
- Borges, V. C. A. L., Callejas, I. J. A., & Durante, L. C. (2020). Thermal sensation in outdoor urban spaces: a study in a Tropical Savannah climate, Brazil. *Int J Biometeorol.*, 64, 533-545. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01830-x>.
- Bröde, P., Fiala, D., Blazejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Tinz, B., & Havenith, G. (2011). Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, 56, 481-494.
- Bröde, P. (2021). Issues in UTCI calculation from a decade's experience. In Krüger E. L. (Ed.), *Applications of the Universal Thermal Climate Index UTCI in Biometeorology: latest developments and case studies*. (p. 13-21). Cham, Switzerland. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-76716-7>
- Caldas, B. B. 2001. O elogio do pátio - parte 1. *Arquitextos*, São Paulo, 2(014.01). Recuperado em 22 de abril de 2023 de <https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/02.014/864>
- Callejas, I. J. A., Nogueira, M. C. J. A., Biudes, M. S., & Durante, L. C. (2016). Seasonal variation of surface energy balance of a Central Brazil City. *Mercator*, 15, 85-106. <https://doi.org/10.4215/RM2016.1503.0006>
- Callejas, I. J. A., Biudes, M. S., Machado, N. G., Durante, L. C., & Lobo, F. A. (2019). Patterns of Energy Exchange for Tropical Urban and Rural Ecosystems Located in Brazil Central. *J. Urban Environ. Eng.*, 13, 69-79. <https://doi.org/10.4090/juee.2019.v13n1.069079>
- Callejas, I. J. A., Durante, L. C., Diz-Mellado, E., & Galán-Marín, C. (2020). Thermal Sensation in Courtyards: Potentialities as a Passive Strategy in Tropical Climates. *Sustainability*, 12(15), 6135. <https://doi.org/10.3390/su12156135>

- Callejas, I. J. A., Amarante, L. M., Durante, L. C., Rosseti, K. A. C., Machado, L. M., & Morais, M. L. C. (2022). Impacto da vegetação no microclima de pátios localizados em clima tropical. *Arquitextos*, São Paulo, 22(263.05). Recuperado em 22 de abril de 2023 de <https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/22.263/8452>
- Callejas, I. J. A., Krüger, E. (2022). Microclimate and thermal perception in courtyards located in a tropical savannah climate. *International Journal of Biometeorology*, 66(9), 1877-1890.
- Callejas, I. J. A., Santos, F. A. S. dos, Silva, D. T. da, Durante, L. C., Rosseti, K. de A. C. (2022). Espécimes arbóreos em pátio interno: benefícios termohigrométricos para a edificação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC. p. 1-13. <https://10.46421/entac.v19i1.2120>.
- Campelo Júnior, J. H., Priante Filho, N., & Caseiro, F. T. (1991). *Caracterização macroclimática de Cuiabá*. In: III Encontro Nacional de Estudos sobre o Meio Ambiente. Londrina.
- Cantón, M. A., Ganem, C., Barea, G., & Llano, J. F. (2014). Courtyards as a passive strategy in semi dry areas. Assessment of summer energy and thermal conditions in a refurbished school building, *Renew. Energy*, 69, 437-446. <https://10.1016/j.renene.2014.03.065>
- Costa, A. E., & Cotrim Cunha, M. (2015). O pátio no Brasil. Da casa moderna à contemporânea. *Arquitextos*, São Paulo, 16, 181.07. Recuperado em 22 de abril de 2023 de <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/16.181/5560>
- Dacanal, C., Labaki, L. C., & Silva, T. M. L. (2010). Vamos passear na floresta! O conforto térmico em fragmentos florestais urbanos. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, 10, 115-132.
- Del Rio, M. A., Asawa, T., Hirayama, Y., Sato, R., & Ohta, I. (2019). Evaluation of passive cooling methods to improve microclimate for natural ventilation of a house during summer. *Building and Environment*, 149, 275-287. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.027>
- Derakhshan, S., Bautista, T. N., Bouwman, M., Huang, L., Lee, L., Tarczyski, J., Wahagheghe, I., Zeng, X., & Longcore, T. (2023). Smartphone locations reveal patterns of cooling center use as a heat mitigation strategy. *Applied Geography*, 150, 102821.
- Diz-Mellado, E., López-Cabeza, V. P., Rivera-Gómez, C., Galán-Marín, C., Rojas-Fernández, J., & Nikolopoulou, M. (2021). Extending the adaptive thermal comfort models for courtyards, *Building and Environment*, 203, 108094. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108094>
- Department of Energy – DOE. (2016). *EnergyPlus*. Recuperado em 22 de abril de 2023 de <https://energyplus.net>
- Elgheznavy, D., & Eltarabily, S. (2021). The impact of sun sail-shading strategy on the thermal comfort in school courtyards. *Building and Environment*, 202, 108046. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108046>
- Fiala, D., Lomas, K. J., & Stohrer, M. (1999). A computer model of human thermoregulation for a wide range of environmental conditions: the passive system. *J Appl Physiol*, 87, 1957-1972. <https://doi.org/10.1152/jappl.1999.87.5.1957>
- Forouzandeh, A. (2018). Numerical modeling validation for the microclimate thermal condition of semi-closed courtyard spaces between buildings. *Sustain. Cities Soc.*, 6, 327-345. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.07.025>
- Galán-Marín, C., López-Cabeza, V. P., Rivera-Gómez, C., & Rojas-Fernández, J. M. (2018). On the Influence of Shade in Improving Thermal Comfort in Courtyards. *Proceedings*, 2(22), 1390. <https://doi.org/10.3390/proceedings2221390>.
- Ghaffarianhoseini, A., Berardi, U., & Ghaffarianhoseini, A. (2015). Thermal performance characteristics of unshaded courtyards in hot and humid climates. *Build. Environ.*, 87, 154-168. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.001>

- Hall, D. J., Walker, S., & Spanton, A. M. (1999). Dispersion from courtyards and other enclosed spaces. *Atmos. Environ.*, 33, 1187–1203.
- Huang, Q., & Lu, Y. (2015). The effect of urban heat island on climate warming in the Yangtze River Delta urban agglomeration in China. *International journal of environmental research and public health*, 12(8), 8773–8789.
- Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. (2018). Normais climatológicas do Brasil 1961-1990. Brasília, 766p.
- International Organization for Standardization - ISO. (1998). *ISO 7726: Ergonomics of the thermal environments: Instruments and methods for measuring physical quantities*. International Standards Organization.
- Krüger, E. L., & Drach, P. R. C. (2016). Impactos do uso de climatização artificial na percepção térmica em espaços abertos no centro do Rio de Janeiro. *Ambiente Construído*, 16(2), 133-148. doi: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000200084>
- Krüger, E. L., & Gonzalez, D. E. G. (2016). Impactos da alteração no albedo das superfícies no microclima e nos níveis de conforto térmico de pedestres em cânions urbanos. *Ambiente Construído*, 16(3), 89-106. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000300094>
- Krüger, E. L., & Drach, P. R. C. (2017). Interferências do fator cor da pele na percepção térmica de transeuntes. *Ambiente Construído*, 17(1), 83-96. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000100125>
- Krüger, E. L., & Tamura, C. A. (2018). Efeito de uma onda de calor na aclimação no curto prazo durante experimentos suportados por câmara climática. *Ambiente Construído*, 18(1), 491-501. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000100234>
- Krüger, E., Gobo, J. P. A., Tejas, G. T., Silva De Souza, R. M., Neto, J. B. F., Pereira, G., Mendes, D., & Di Napoli, C. (2024). The impact of urbanization on heat stress in Brazil: A multi-city study. *Urban Climate*, 53, 101827.
- Labaki, L. C., Fontes, M. S. G. C., Bueno-Bartholomei, C. L., & Dacanal, C. (2012). Conforto térmico em espaços públicos de passagem: estudos em ruas de pedestres no estado de São Paulo. *Ambiente Construído*, 12(1), 167-183. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212012000100003>
- Lacerda, L. B. (2008). *Patrimônio Histórico-cultural de Mato Grosso*. Cuiabá: Entrelinhas.
- Lemos, L. F. L., Starke, A. R., Boland, J., Cardemil, J. M., Machado, R. D., & Colle, S. (2017). Assessment of solar radiation components in Brazil using the BRL model. *Renewable Energy*, 108, 569-580. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.02.077>
- Lima, L. C., Leder, S. M., Silva, L. B., & Souza, E. L. (2019). Conforto térmico em espaços abertos no clima quente e úmido: estudo de caso em um parque urbano no Bioma Mata Atlântica. *Ambiente Construído*, 19(2), 109-127. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000200311>
- Lima, P. P. (2015). *Estratégias Bioclimáticas na Arquitetura Moderna de João Pessoa: Análise aplicada em três residências produzidas entre as décadas de 1950 a 1980*. (Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- Lopez-Cabeza, V. P., Galan-Marin, C., Rivera-Gomez, C., & Roa-Fernandez, J. (2018). Courtyard microclimate ENVI-met outputs deviation from the experimental data. *Building and Environment*, 144, 129–141. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.08.013>
- Markus, B. (2016). A review on courtyard design criteria in different climatic zones. *African Research Review*, 10, 181-192. <http://dx.doi.org/10.4314/afrrrev.v10i5.13>
- Martinelli, L., & Matzarakis, A. (2017). Influence of height/width proportions on the thermal comfort of courtyard typology for Italian climate zones. *Sustainable Cities and Society*, 29, 97-106. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.12.004>

- Minella, F. C. O., Rossi, F. A., & Krüger, E. L. (2011). Análise do efeito diurno do fator de visão do céu no microclima e nos níveis de conforto térmico em ruas de pedestres em Curitiba. *Ambiente Construído*, 11(1), 123-143. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212011000100009>
- Monteiro, L. M., & Alucci, M. P. (2012). Modelo adaptativo de conforto para avaliação in loco de espaços urbanos abertos. *Ambiente Construído*, 12(1), 1-79. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212012000100005>
- MUNIZ-GÄAL, L. P., Pezzuto, C. C., Carvalho, M. F. H. D., & Mota, L. T. M. (2018). Parâmetros urbanísticos e o conforto térmico de cânions urbanos: o exemplo de Campinas, SP. *Ambiente Construído*, 18(2), 177-196. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000200249>
- Pereira, M. C. (2012). Pátio interno – arquitetura da mandala. *Revista Estética e Semiótica*, 2(1), 49-62. <https://doi.org/10.18830/issn2238-362X.v2.n1.2012.04>
- Poletto, Ângela S., & Gomes, Adriano P. (2012). O Pátio Interno como Espaço Bioclimático de Edificações em Ouro Preto/MG. In *Anais da Semana de Ciência e Tecnologia*, Ouro Preto, 4, 112-120.
- RD News Portal de notícias. *Símbolos de Cuiabá*. Recuperado em 22 de abril de 2023 de https://www.rdnews.com.br/galeria_embeds_full.php?id=390#ad-image-5
- Reis-Alves, L. A. (2006). *O pátio interno escolar como lugar simbólico. Um estudo sobre a interrelação de variáveis subjetivas e objetivas do conforto ambiental*. (Tese de doutorado). Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Rivera-Gómez, C., Diz-Mellado, E., Galán-Marín, C., & López-Cabeza, V. (2019). Tempering potential-based evaluation of the courtyard microclimate as a combined function of aspect ratio and outdoor temperature, *Sustainable Cities and Society*, 51, 101740. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101740>
- Robinson, A., Lehmann, J., Barriopedro, D., Rahmstorf, S., & Coumou, D. (2021). Increasing heat and rainfall extremes now far outside the historical climate. *Clim Atmospheric Sci.* 4(1),1-4. <https://doi.org/10.1038/s41612-021-00202-w>
- Rodríguez-Algeciras, J., Tablada, A., Chaos-Years, M., De La Paz, G., & Matzarakis, A. (2018). Influence of aspect ratio and orientation on large courtyard thermal conditions in the historical center of Camagüey-Cuba, *Renewable Energy*, 125, 840-856. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.01.082>
- Rojas-Fernández, J., Galán-Marín, C., Roa-Fernández, J., & Rivera-Gómez, C. (2017). Correlations between GIS-Based Urban Building Densification Analysis and Climate Guidelines for Mediterranean Courtyards. *Sustainability*, 9(12), 2255. <https://doi.org/10.3390/su9122255>
- Rossi, F. A., Krüger, E. L., & Bröde, P. (2012). Definição de faixas de conforto e desconforto térmico para espaços abertos em Curitiba, PR, com o índice UTCI. *Ambiente Construído*, 12(1), 41-59. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212012000100004>.
- Schneider, A., Friedl, M. A., & Potere, D. (2009). A new map of global urban extent from MODIS satellite data. *Environmental Research Letters*, 4(4), 044003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/4/4/044003>
- Shinzato, P., & Duarte, D. H. S. (2018). Impacto da vegetação nos microclimas urbanos e no conforto térmico em espaços abertos em função das interações solo-vegetação-atmosfera. *Ambiente Construído*, 18(2), 197-215. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212018000200250>
- Soflaei, F., Shokouhian, M., Abraveshdar, H., & Alipour, A. (2017). The impact of courtyard design variants on shading performance in hot-arid climates of Iran. *Energy and Buildings*, 143, 71-83. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.027>
- Tablada, A., De Troyer, F., Blocken, B., Carmeliet, J., & Verschure, H. (2009). On natural ventilation and thermal comfort in compact urban environments – the Old Havana case. *Building and Environment*, 44(9), 1943-1958. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.01.008>

Taleghani, M., Tenpierik, M., & Van Den Dobbelsteen, A. (2014). Indoor thermal comfort in urban courtyard block dwellings in the Netherlands. *Building and Environment*, 82, 566–579. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.09.028>

Ward Thompson, C. (2011). Linking landscape and health: The recurring theme. *Landscape and urban planning*, 99(3), 187-195.

Ward, K., Lauf, S., Kleinschmit, B., & Endlicher, W. (2016). Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers. *Science of the Total Environment*, 569, 527-539. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.119>

World Health Organization - WHO. Heatwaves: How to stay cool. Recuperado em 01 de março de 2023 de <https://encurtador.com.br/dBDQR>

Zamani, Z., Heidari, S., & Hanachi, P. (2018). Reviewing the thermal and microclimatic function of courtyards. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 580-595. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.05.055>

Editor responsável: Luciene Pimentel da Silva

Recebido: 09-Sep-2024

Aprovado: 06-Mar-2025