XIX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente ‘
ENTAC 2022

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

Espécimes arbóreos em pátio interno: benefícios termohigrométricos para a edificação

Arboreal specimens in the internal courtyard: thermohygrometric benefits for buildings

Ivan Julio Apolonio Callejas
UFMT | Cuiabá | Brasil | ivancallejas1973@gmail.com
Fernanda Aparecida Santana dos Santos
UFMT | Cuiabá | Brasil | fernandaaparecida.santanaa123@gmail.com
Deborah Torres da Silva
UFMT | Cuiabá | Brasil | deborah.torres04@gmail.com
Luciane Cleonice Durante
UFMT | Cuiabá | Brasil | luciane.durante@hotmail.com
Karyna de Andrade Carvalho Rosseti
UFMT | Cuiabá | Brasil | luciane.durante@hotmail.com

Resumo
A arborização impacta na composição paisagística dos pátios das edificações e interfere no seu microclima. Objetiva-se avaliar os benefícios termohigrométricos que espécimes arbóreas implantadas em pátios internos trazem para os seus ambientes circundantes, na edificação. Utilizou-se de simulação computacional, modelando-se o pátio com e sem presença de espécimes arbóreas, visando captar sua influência no pátio e nos recintos circundantes. Evidenciou-se baixo impacto quantitativo de arrefecimento térmico e umidificação do ar no pátio, corredores e salas contíguas. Porém, espacialmente, os espécimes proporcionam benefícios termohigrométricos a todos os ambientes pesquisados, contribuindo como estratégia complementar para a ambiência do edifício.

Palavras-chave: Vegetação arbórea. Arrefecimento térmico. Evapotranspiração. Conforto térmico.

Abstract
Arboreal specimens impact the buildings' courtyard landscape composition and interfere with their microclimate. The objective is to evaluate the thermohygrometric benefits that tree specimens implanted in internal courtyards bring to their surrounding environments, in the building. The investigation was conducted by computer simulation, modeling the courtyard

Como citar:
CALLEJAS, I. J. A; SANTOS, F. A. S.; SILVA, D. T.; DURANTE, L. C; ROSSETI, K. A. C. Espécimes Arbóreos em Pátio Interno: Benefícios Termohigrométicos para a Edificação. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 19., 2022, Canela. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2022. p. 1-13.

with and without the presence of tree specimens, aiming to capture their influence on the courtyard and adjacent enclosures. There was a low quantitative impact of thermal cooling and air humidification inside the courtyard, near corridors, and adjacent rooms. However, spatially, the specimens provide thermohygrometric benefits to all surveyed environments, contributing as a complementary strategy to the ambiance of the building.

Keywords: Arboreal vegetation. Thermal cooling. Evapotranspiration. Thermal comfort.

INTRODUÇÃO

Pátios centrais se caracterizam como uma zona de transição descoberta, cercada por edifícios, desempenhando um papel no controle da radiação solar incidente, fornecendo iluminação natural, ventilação e sombreamento ao ambiente construído [1,2]. Permitem interações entre o ambiente exterior, o ambiente construído e seus ocupantes, proporcionando qualidade de vida por meio de uma proposta arquitetônica mais sustentável [3,4]. Constituem-se de estratégia passiva de projeto, com potencial para proporcionar condições microclimáticas mais amenas e, ainda, mitigar as cargas térmicas dos ambientes circundantes, devido à disposição e proporção de volumes cheios e vazios que criam no espaço construído [5].

As interações entre a geometria urbana e as propriedades das superfícies que compõem o ambiente construído, sob condições meteorológicas específicas, geram microclimas. Nesse sentido, os ambientes dos pátios são afetados por seus atributos morfológicos (proporções entre sua altura e largura), orientação solar, aberturas existentes em seu perímetro, assim como pelas características estéticas (cores, texturas, materiais, outros) e elementos naturais (vegetação, flores, água e outros). Todos estes fatores são considerados elementos-chave para promover modificações no microclima [3].

Especificamente em relação à vegetação arbórea, a sua implantação no interior dos pátios, além de beneficiar a composição paisagística, interfere na temperatura e na umidade do ar, em virtude dos processos de evapotranspiração [6]. Adicionalmente, proporciona sombreamento, alterando a quantidade de radiação solar absorvida pelas superfícies do interior do pátio, reduzindo suas temperaturas superficiais [7]. Por essa razão, sob a perspectiva bioclimática, questiona-se a extensividade e os benefícios no campo termohigrométrico que a implantação de vegetação arbórea pode proporcionar aos ambientes dos pátios e as regiões anexas da edificação.

O *software* ENVI-met é uma ferramenta que permite realizar simulações computacionais hipotéticas, a partir de cenários existentes, considerando a morfologia e configuração ambiental da área pesquisada [8]. Entre os enfoques dado nas simulações de ambientes urbanos, tem-se aquele voltado para a análise da influência da vegetação em microclima de ambientes de transição, definidos como aqueles caracterizados nem como ambientes externos e nem como internos [9], que criam uma ponte entre os ambientes nas edificações [10], tal como se enquadram os pátios, objeto deste estudo.

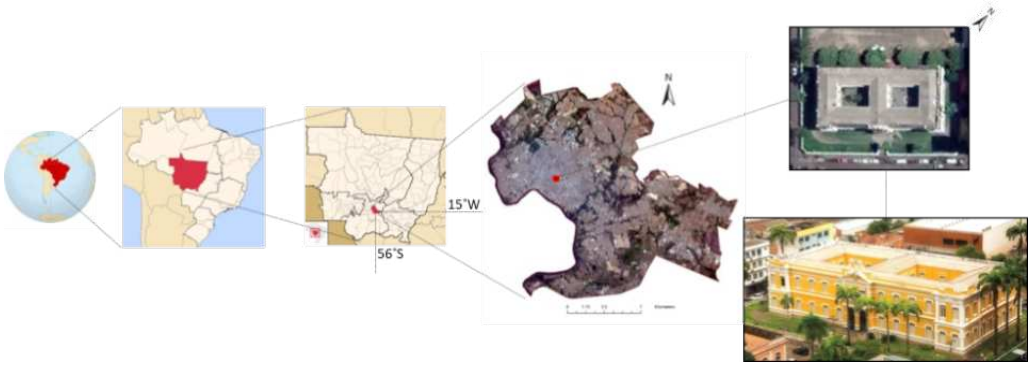
Assim, tem-se por objetivo avaliar os benefícios termohigrométricos que espécimes arbóreos implantados em pátio interno trazem para as áreas circundantes de uma edificação implantada em zona tropical, por meio de simulação computacional.

MÉTODO

ÁREA DE ESTUDO

O pátio selecionado para estudo é o do Palácio da Instrução, localizado em Cuiabá, capital de Mato Grosso, região Centro-Oeste do Brasil (Figura 1), de clima classificado como tropical de Savana (Aw – Köppen-Geiger), com estações quente-úmida e quente-seca [11]. As temperaturas média, mínima e máxima anuais são de 27,9°C, 23,0°C e 30,0°C, respectivamente [12].

Figura 1: Localização de Cuiabá na América do sul e do edifício do Palácio da Instrução



Fonte: Google Imagens e Google Earth.

DEFINIÇÃO DO LOCAL DA PESQUISA

O edifício do Palácio da Instrução foi construído em 1913, em estilo neoclassico, (Figura 1). A sua escolha como objeto de estudo se dá pela presença de dois pátios internos e composições paisagísticas distintas: um deles é desprovido de vegetação arbórea e, o outro, possui dois exemplares do espécime Palmeira *Arecaceae* (Figura 2), permitindo comparação direta dos efeitos proporcionados pela presença da vegetação.

Figura 2: Pátio da esquerda com espécimes arbóreos e, da direita, sem sua implantação



Fonte: Os autores.

COLETA DE DADOS

Foram instaladas estações meteorológicas (da marca OnsetComp modelos Hobo U-30 e U-13) para monitorar as variáveis ambientais externas e internas ao edifício e calibrar o modelo computacional do recorte urbano. Uma delas, foi posicionada na cobertura do edifício (Est. 01), a 14 metros de altura, registramdo temperatura (T_a), umidade (UR%), velocidade do ar (v_a) e radiação solar (R_g). Outra, no pátio da ala direita (Est. 02), a 1,4 metros de altura, registrando temperatura e umidade relativa do ar (Figura 3).

Figura 3: Posicionamento (cobertura e pátio) das estações no Palácio da Instrução



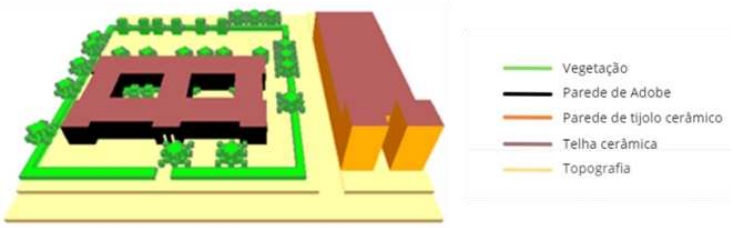
Fonte: Os autores.

Foram identificados os materiais construtivos presentes no entorno do edifício e caracterizadas as propriedades termofísicas dos materiais e sistemas construtivos das edificações. Levantou-se também o posicionamento e os tipos de espécies vegetais existentes, bem como suas características dendrológicas. A vegetação arbórea foi caracterizada *in loco*, conforme Rosseti [13], a partir das categorias de densidade de área foliar (DAF): baixa – DAF ≤ 3.45 m^2m^{-3}, média – 3.5 m^2m^{-3} <DAF ≤ 4.9m^2m^{-3} e alta densidade – DAF>4.9 m^2m^{-3}.

MODELAGEM

Para modelagem no *software* Envi-met, categorizaram-se os materiais da área pesquisada em: solo nu/revestimentos (asfalto e concreto), vegetação (gramíneas, arbustos e arbórea), sistema de cobertura (telhas cerâmicas) e de vedação vertical (parede de adobe de 0,80m) (Figura 4). As resistências térmicas dos sistemas de vedações verticais e de coberturas foram determinadas conforme NBR 15.220 [14]. Para captar a influência microclimática do entorno no edifício, considerou-se grid total de 98x98, com dimensões de modelagem de 196x196 m. Estabeleceu-se grid unitário de 2x2x2,5m para a representação tridimensional das edificações e das superfícies existentes no exterior e interior do edifício.

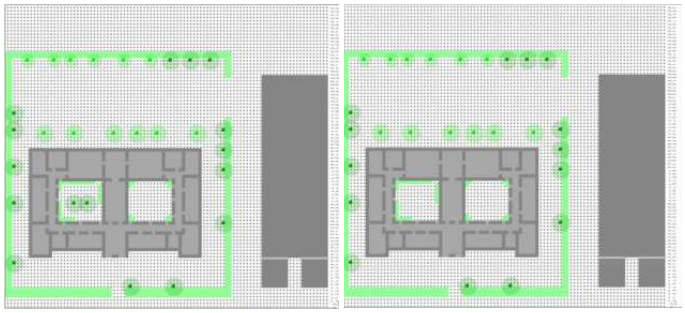
Figura 4: Modelagem 3D do Palácio da Instrução no Envi-met



Fonte: Envi-met 4.4.6.

As vegetações do tipo gramíneas, arbustos e espécimes arbóreos do pátio foram consideradas para fins de calibração do modelo real da edificação, sendo posteriormente, os espécimes arbóreos de Palmeira *Arecaceae* suprimidos para fins de avaliação do seu impacto (benefícios) no microclima do pátio e nas áreas adjacentes do edifício (Figura 5). Tanto o pátio quanto corredores e salas do primeiro piso foram modelados como ambientes, comunicando-se entre si por meio de aberturas, conforme projeto arquitetônico. As portas foram admitidas como abertas e as janelas fechadas durante as simulações, condição verificada durante o período de uso comercial do edifício. Os parâmetros considerados na modelagem das palmeiras podem ser visualizados na Tabela 1.

Figura 5: Modelagem dos cenários atual (à esquerda com palmeiras) e hipotético (à direita sem palmeiras) do edifício



Fonte: Envi-met 4.4.6.

Tabela 1: Parâmetros de modelagem da espécie arbórea palmeira

Parâmetros	Valor
IAF (índice de área foliar)	$3{,}5 m^2/m^2$
DAF (considerado homogêneo na altura)	$1{,}17 m^2/m^3$
Diâmetro da copa	3 m
Altura	7 m

Fonte: Os autores.

MÉTODO PARA CALIBRAÇÃO DO MODELO

Conduziu-se a simulação por meio do recurso das abas “Metereology: basic settings” e “Metereology: Simple Forcing” do Envi-Met, versão 4.4.6. Na primeira, são introduzidas as configurações iniciais de tempo atmosférico para o dia que antecede a data desejada para a simulação (Tabela 2). O dia selecionado se apresenta com condição sinóptica padrão para o período pesquisado (céu aberto, sem interferências de nebulosidade). Na segunda, no “Simple Forcing”, são introduzidos dados meteorológicos de temperatura e da umidade do ar coletados in loco visando “forçar” os dados simulados a se aproximarem daqueles medidos, visando calibrar o

modelo numérico. Considerou-se as variáveis de temperatura e umidade do ar medidos dentro do pátio para conduzir o procedimento de calibração.

Tabela 2: Parâmetros de entrada no programa Envi-met

Parâmetros	Valor
Data de inicio da simulação	11/07/2019
Hora de inicio da simulação	20h00min0s
Duração total	28 horas
Intervalo de registro	60 min
Velocidade do vento a 10m	1,94 m/s
Direção do vento	317°
Rugosidade z0 no ponto de referência	0,1
Temperatura inicial da atmosfera	27,24°C
Umidade específica a 2500m	7,36 g/kg
Umidade relativa a 2m	40%

Fonte: Os autores

A partir da simulação do modelo, são gerados dados de saída referentes às condições climáticas locais (T_a, UR%, v_a, entre outras). Para aferir a acurácia do modelo, posicionou-se um receptor dentro do pátio, na posição onde se encontrava a estação meteorológica, para captar as variáveis ambientais simuladas. Estimou-se os indicadores estatísticos Erro Absoluto Médio (EAM), a Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) e o Índice de Concordância "d" entre os dados medidos e simulados, visando auferir a qualidade da calibração [15]. Quanto menores forem o EAM e o REQM, mais os dados simulados se aproximam dos medidos. O Índice "d", admensional, indica discordância total entre os dados simulados e os medidos quando igual a 0, e concordância completa, quando igual a 1.

AVALIAÇÃO DO IMPACTO NOS AMBIENTES DEVIDO A SUPRESSÃO DA VEGETAÇÃO ARBÓREA DO AMBIENTE DO PÁTIO

Os dados das simulações foram utilizados para quantificar os impactos (benefícios) da estratégia passiva de uso da vegetação arbórea na temperatura e umidade do ar nos pátios, bem como nos recintos a eles circundantes, como corredores e salas. Mapas temáticos (cromáticos) das diferenças das simulações das variáveis pesquisadas ao nível dos usuários (nos horários das 6, 14 e 20h) foram confeccionados para permitir avaliações quantitativa e qualitativa das diferenças observadas, permitindo assim identificar a extensão espacial da influência da vegetação arbórea. As escalas dos mapas, materializadas por meio de cores, representam quantitativamente as diferenças encontradas entre os cenários com e sem a implantação dos espécimes arbóreos de palmeiras no pátio da ala esquerda da edificação.

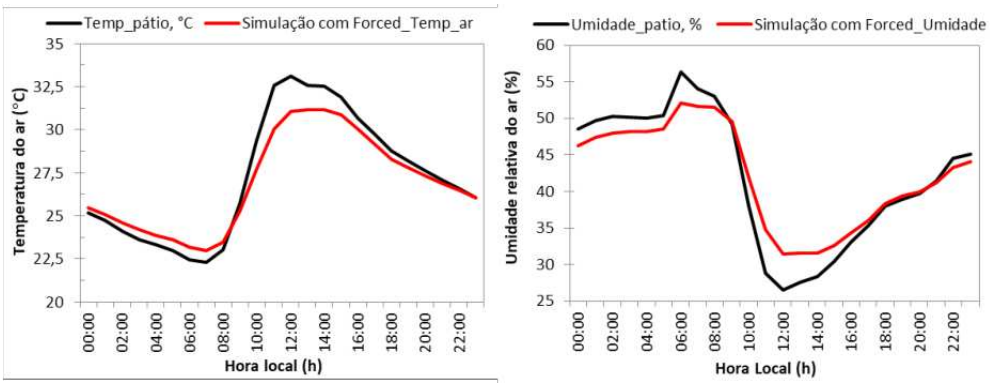
RESULTADOS E DISCUSSÕES

VALIDAÇÃO DA SIMULAÇÃO

O modelo idealizado no Envi-met é capaz de representar adequadamente a variação diária da temperatura e umidade do ar, conforme resultados da calibração dos dados medidos e simulados (Figura 6). Apesar da similaridade, a curva simulada quase

sempre apresentou valores inferiores às medidas. Este comportamento também foi observado por Forouzandeh [16] que atribuiu em parte às diferenças devido à incidência de radiação solar nos abrigos que alojam os instrumentos de medição, sobreaquecendo-os. As diferenças médias entre os dados medidos e simulados para temperatura e umidade do ar são de 0,4°C e 0,2%, respectivamente. As diferenças máximas para temperatura do ar e umidade relativa são 1,9°C às 14h e 4,2% às 6h, compatíveis com os procedimentos de calibração realizados em outros estudos de pátios [16,17].

Figura 6: Curso da temperatura e umidade do ar medidas (preto) e simuladas (vermelho)



Fonte: Os autores.

Observa-se que o modelo simulado superestima a temperatura do ar durante a noite e subestima durante o dia. Comportamento oposto é verificado na umidade do ar. Apesar disso, estimou-se baixos valores para o MAE/RSME e elevado índice de concordância entre os dados simulados e medidos (Tabela 3). Assim, as simulações no ENVI-met apresentam precisão aceitável na área do pátio, conforme estudos similares sobre o tema [7,18], possibilitando simulações com configurações hipotéticas.

Tabela 3: Indicadores de desempenho de calibração

Variáveis	EAM	REQM	d
Ta (°C)	0,74	0,96	0,96
Ur (%)	2,12	2,62	0,95

Fonte: Os autores.

BENEFÍCIO DOS ESPÉCIMES ARBOREOS PARA O PÁTIO

Ao se analisar o comportamento microclimático nos mapas cromáticos nas dependências do pátio e da edificação (corredores e salas internas circundantes), percebe-se que a presença dos espécimes arbóreos das palmeiras afeta as variáveis ambientais de forma distinta (Figura 7).

O pátio da esquerda, com palmeiras, se revela ser mais frio durante o amanhecer (6h) e no período noturno (20h) (diferença de -0,03°C), enquanto no período vespertino (14h), se observa sobreaquecimento (+0,01°C) em relação ao modelo simulado onde os espécimes arbóreos não estão implantados (suprimidos) (Figura 7a). O comportamento observado no pátio da ala da direita permanece inalterado

em virtude da ausência de espécimes arbóreos nos dois modelos pesquisados, tornando o ambiente um referencial para fins de comparação da interação entre a vegetação e o ambiente construído no pátio. O agravamento que ocorre durante o período vespertino é decorrente dos maiores níveis de insolação recebidos dentro do pátio (10 às 12h), mas também da estrutura dos galhos e das folhas da vegetação, uma vez que estes bloqueiam a saída de radiação de ondas longas para o céu, devido ao efeito de interceptação do dossel das copas, conhecido como "guarda-chuva", sobreaquecendo este ambiente [16].

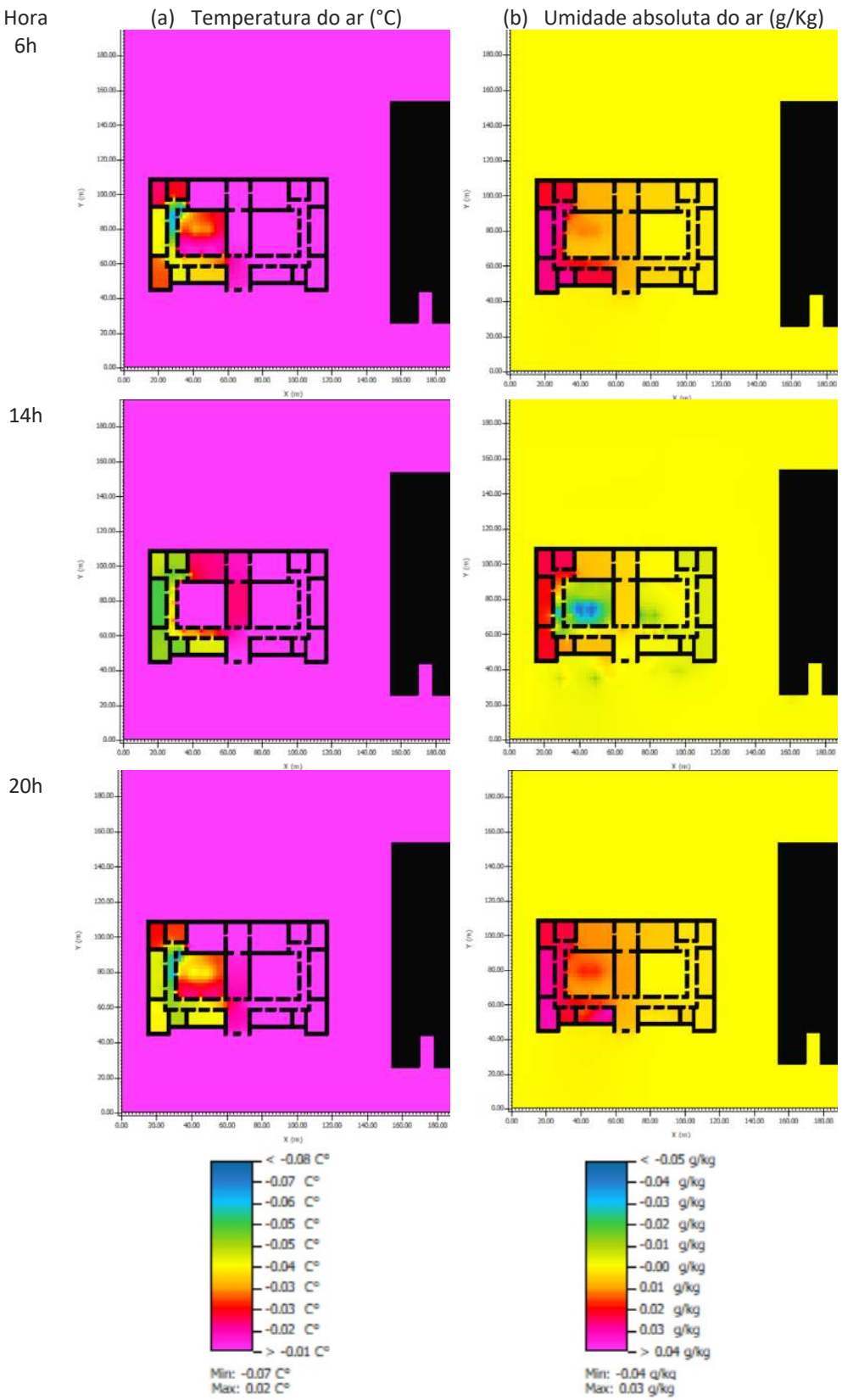
A variação da umidade específica ao longo do dia revela que os espécimes arbóreos instalados no pátio proporcionam um ambiente ligeiramente mais úmido devido ao efeito de transpiração, exceção ocorrendo durante os períodos em que o pátio recebe maior insolação, das 10 às 14h, onde há agravamento higrométrico. O pátio da esquerda com a presença das palmeiras se revela ser mais úmido ao amanhecer (6h) e durante a noite (20h) (diferença de +0,02 g/kg), enquanto no período vespertino (14h), mais seco (até -0,05 g/kg) em relação ao modelo onde não há implantação desses espécimes (Figura 7b). Por não terem sido implantados no pátio da direita, não se nota alterações na umidade absoluta do ar e nem a influência das palmeiras do pátio simetricamente oposto (esquerda).

BENEFÍCIO DOS ESPÉCIMES ARBOREOS PARA OS CORREDORES ADJACENTES AO PÁTIO

A implantação dos espécimes arbóreos de palmeiras proporciona arrefecimento térmico passivo, fazendo com que o corredor lateral e inferior da ala esquerda da edificação permaneçam com temperaturas mais amenas, se comparados a aqueles sem sua presença no pátio, ou ainda, se comparado a aqueles localizados na ala da direita simetricamente oposta da edificação. O corredor lateral alcança os maiores picos de atenuação nos períodos do amanhecer (6h) e noturno (20h) (de até -0,08°C), enquanto que no período vespertino (14h), a redução é menos acentuada (-0,04°C), devido à penetração de insolação no pátio, o que influencia o desempenho desses ambientes. Observa-se a existência de gradientes térmicos ao longo dos corredores, muito provavelmente em razão da ventilação cruzada que se estabelece no interior da edificação, que direciona o ar para a porta de acesso da edificação.

Percebe-se que a transpiração proporcionada pela presença dos espécimes arbóreos se estende para além do ambiente do pátio, influenciando os recintos dos corredores lateral e inferior da ala esquerda da edificação. Estes ambientes permaneçam mais úmidos, principalmente durante o período noturno (20h) até o amanhecer (6h), onde a umidificação é mais intensa (+0,04g/kg). Exceção ocorre nos horários das 10 às 14h, horários com maior influencia de insolação nos pátios, o que acaba influenciando o desempenho dos corredores tanto lateral quanto inferior, induzindo a menores níveis de umidade do ar se comparados ao ambiente sem a sua presença, ou ainda, a aqueles localizados na ala da direita. Nesse horário específico, a insolação também afeta os ambientes dos corredores da ala da direita, uma vez que efeito similar é verificado nesses ambientes. Similarmente, gradientes de umidade são gerados dentro desses ambientes, pelos mesmos motivos discutidos para a temperatura do ar.

Figura 9: Mapas cromáticos com a distribuição temporal e espacial das diferenças provocadas pela retirada dos espécimes arbóreos nas variáveis de temperatura do ar (°C) e umidade específica do ar (g/kg)



Apesar das reduzidas diferenças, pelos mapas, observa-se que existe uma ampla influencia no campo higrotérmico dentro dos corredores proporcionada pela implantação de vegetação arbórea no pátio. Porém, essa influencia fica limitada aos corredores dessa ala, não alcançando os ambientes simetricamente opostos da ala esquerda. Devido ao posicionamento da porta de acesso da edificação, o fluxo de ar, que age direcionado pela ação do vento exterior, de Noroeste para Sudeste, arrasta a umidade para fora do edifício, impedindo que a umidade proveniente da transpiração das plantas possa alcançar os corredores da ala esquerda da edificação.

BENEFÍCIO DOS ESPÉCIMES ARBÓREOS PARA AS SALAS ADJACENTES AO PÁTIO

Efeito similar ao dos corredores é observado nos ambientes internos da edificação na ala do edifício onde as palmeiras estão implantadas, com as salas recebendo influencia de arrefecimento térmico proporcionado pela presença da vegetação arbórea. As salas superiores (que recebem insolação vespertina) são aquelas onde se observa os menores impactos de atenuação térmica (de até -0,04°C), porém, durante o período noturno, a atenuação vai se degenerando, chegando a ser nula no início da manhã (6h). Já as salas laterais, devido ao posicionamento, recebem pouca insolação, o que proporciona maior efeito de atenuação pela implantação das palmeiras, com pico de atenuação às 14h (de até -0,06°C). Por sua vez, as salas inferiores (que recebem insolação matutina), apresentam atenuações intermediárias, também com pico às 14h (de até -0,05°C). O ar, ao escoar dos corredores, fica enclausurado nas salas, uma vez que estes ambientes foram modelados apenas com as aberturas das portas, o que provoca baixos níveis de gradientes térmicos em seus interiores.

O efeito da umidificação proporcionada pela transpiração também é notado nos ambientes das salas na ala da esquerda da edificação. As superiores são aquelas que menos ficam influenciadas ao longo do dia, com horários de maior insolação (14h) quase não recebendo nenhuma contribuição, e em outros (20h e 6h), com reduzida elevação (de até +0,03 g/kg). Isso decorre da sua posição de implantação (sol da tarde) e do sentido do fluxo de ar que se estabelece dentro do edifício, que tende a arrastar o ar para a abertura localizada na face oposta da edificação. Também se constata os efeitos de umidificação nas salas inferiores, com maiores intensidades no período noturno e matutino (de até +0,04 g/kg), com efeito degenerativo no período vespertino (14h), quase nulo. Nas salas laterais são observados os maiores efeitos, alcançando níveis mais elevados no início da amanhã e no período noturno (de até +0,04g/kg). O baixo nível de gradientes higrométricos nas salas também decorre do enclausuramento do ar devido a ausência de aberturas (janelas), o que não permite escoamento para fora do edifico, homogeneizando sua concentração.

Em termos quantitativos, a incorporação dos espécimes arbóreos das palmeiras proporciona impacto reduzido na temperatura e na umidade do ar, porém apresenta capacidade de influenciar espacialmente tanto o ambiente onde estão inseridos, quanto aqueles circundantes, como corredores e salas. Por sua vez, os ambientes localizados do lado simetricamente oposto da edificação (ala direita), incluindo o pátio desprovido de palmeiras, não chegam a ser influenciados pelos espécimes da ala da esquerda, em razão do fluxo da ventilação que se desenvolve dentro do

edifício (de Noroeste para Sudeste), que arrastra o ar na direção da porta principal de acesso, em virtude das diferenças de pressões que são geradas devido ao posicionamento das aberturas consideradas na simulação.

CONCLUSÃO

Evidenciou-se que a capacidade de arrefecimento térmico e de umidificação do ar proporcionado pelo processo de transpiração das plantas foi qualitativamente de baixa magnitude. Este fato pode estar atrelado as limitações computacionais que o software Envi-met apresenta em relação à representação da vegetação arbórea dentro do modelo numérico, uma vez que o programa tende a superestimar a temperatura da superfície da folha e subestimar o fluxo de vapor, especialmente nos horários de picos em dias quentes, como o dia considerado na simulação. Por sua vez, as Palmeiras *Arecaceae* possuem copa com reduzido fator de forma, que atrelado ao baixo índice de área foliar, podem ter comprometido o desempenho quantitativo do arrefecimento térmico. Recomenda-se a realização de simulações com espécimes arbóreos com maiores proporções de copas e índices de área foliar.

Constatou-se que o vapor d'água é carreado para os ambientes adjacentes do pátio, como no caso corredores e salas, impactando o comportamento higrotérmico. O alcance espacial está atrelado à existência de comunicação entre o pátio e corredores idealizadas no projeto, assim como a presença de aberturas entre salas e corredores, sendo fortemente influenciado pelo fluxo de ar que se desenvolve dentro do edifício em função das aberturas (do próprio pátio e das portas de acessos) e da direção do vento dominante. Em razão disso, os efeitos de arrefecimento e da umidificação do ar foram notados em todos os ambientes adjacentes ao pátio onde as palmeiras foram implantadas, sem, no entanto, constatar influencia na ala da esquerda, muito provavelmente em razão do posicionamento das aberturas, para onde o ar arrefecido e umidificado é direcionado.

As simulações apontam para a importância da estratégia do pátio, como elemento arquitetônico que auxilia na ventilação dentro do edifício, influenciado os fluxos de ar que se desenvolvem nos ambientes de transição (como corredores) e internos. Por esse motivo, os benefícios da vegetação arbórea dentro dos pátios se estendem para além destes ambientes, atuando como estratégia bioclimática complementar de arrefecimento e de umidificação para os ambientes de transição e internos anexos.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada pela Universidade Federal de Mato Grosso/Brasil por meio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

[1] SOFLAEI, F.; Shokouhian, M.; Shemirani, S. M. M. Traditional Iranian courtyards as microclimate modifiers by considering orientation, dimensions, and proportions,

Frontiers of Architectural Research, v. 5, n. 2, p. 225-238, 2016. DOI: https://doi.org/10.1016/j.foar.2016.02.002.

[2] ZAMANI, Z.; Heidari, S.; Hanachi, P., Reviewing the thermal and microclimatic function of courtyards. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 93, p. 580-595, 2018.

[3] CALLEJAS, I. J. A.; Durante, L. C.; Diz-Mellado, E.; Galán-Marín, C**. Thermal Sensation in Courtyards: Potentialities as a Passive Strategy in Tropical Climates**. Sustainability, 12, 6135, 2020. DOI: https://doi.org/10.3390/su12156135

[4] DIZ-MELLADO, E. ; López-Cabeza, V. P. ; Rivera-Gómez, C. ; Galán-Marín, ,C; Rojas-Fernández, J. ; Nikolopoulou, M. **Extending the adaptive thermal comfort models for courtyards, Building and Environment**, v. 203, 108094, 2021.

[5] RIVERA-GÓMEZ, C.; DIZ-MELLADO, E.; GALÁN-MARÍN, C.; LÓPEZ-CABEZA, V. Tempering potential-based evaluation of the courtyard microclimate as a combined function of aspect ratio and outdoor temperature, **Sustainable Cities and Society**, v. 51, 101740, 2019. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101740.

[6] LI, Y., SONG, Y. Optimization of Vegetation Arrangement to Improve Microclimate and Thermal Comfort in an Urban Park, **International Review for Spatial Planning and Sustainable Development**, v. 7, n. 1, p. 18-30, 2019.

[7] HASEHZADEH HASEH, R.; KHAKZAND, M.; OJAGHLOU, M. Optimal Thermal Characteristics of the Courtyard in the Hot and Arid Climate of Isfahan. **Buildings**, n. 8, p. 1-22, 2018.

[8] BRUSE, M.; FLEER, H. Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environmental Modeling & Software**, v. 13, p. 373-384, 1998.

[9] ZHANG, Y.; LIU, J.; ZHENG, Z.; FANG, Z.; ZHANG, X.; GAO, Y.; XIE, Y. Analysis of thermal comfort during movement in a semi-open transition space. **Energy and Buildings**, 225, 110312, 2020.

[10] KRAY, C.; FRITZE, H.; FECHNER, T.; SCHWERING, A.; LI, R.; ANACTA, V. J. Transitional Spaces: Between Indoor and Outdoor Spaces. **In:** Tenbrink T., Stell J., Galton A., Wood Z. (eds) Spatial Information Theory. COSIT 2013. Lecture Notes in Computer Science, v. 8116. Springer, Cham, Switzerland, 2013.

[11] NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2ª Ed. IBGE: Rio de Janeiro. 1989. 421p.

[12] CALLEJAS, I. J. A.; BIUDES, M. S.; MACHADO, N. G.; DURANTE, L. C.; DE ALMEIDA LOBO, F. Patterns of energy exchange for tropical urban and rural ecosystems located in Brazil central. **Journal of Urban & Environmental Engineering**, v. 13, n. 1, 2019. DOI: https://doi.org/10.4090/juee.2019.v13n1.069079

[13] ROSSETI, K. D. A. C. **Efeitos do Uso de Telhados Vegetados em Ilhas de Calor Urbana com Simulação pelo Software ENVI-met**. Dissertação. 253f. Pós-Graduação em Física Ambiental. Universidade Federal de Mato Grosso, 2013.

[14] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 15220-2**: Desempenho Térmico de Edificações - Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, Brasil, p. 1-10, 2005.

[15] WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of the American Meteorological Society, Lancaster**, v. 63, n. 11, p. 1309-1313, 1982.

[16] FOROUZANDEH, A. Numerical modeling validation for the microclimate thermal condition of semi-closed courtyard spaces between buildings. **Sustain. Cities Soc.** 36, p. 327–345, 2018. doi:10.1016/j.scs.2017.07.025.

[17] TALEGHANI, M.; KLEEREKOPER, L.; TENPIERIK, M.; DOBBELSTEEN, A. Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands, **Building and Environment**, 83, p. 65-78, 2015.

[18] GHAFFARIANHOSEINI, A.; BERARDI, U.; GHAFFARIANHOSEINI, A. Thermal performance characteristics of unshaded courtyards in hot and humid climates, **Building and Environment**, 87, p. 154-168, 2015. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.001