ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO EM EVENTOS REALIZADOS NA ESPLANADA DO ESTÁDIO GOVERNADOR MAGALHÃES PINTO (MINEIRÃO)

Aline Costa Vilela (1); Natalia de Oliveira Azevedo (2); Anna Christina Miana (3)
(1) Graduanda, Arquitetura e Urbanismo, acvilela@sga.pucminas.br , PUC Minas, Rua Cláudio Manoel, 1.149 - Funcionários, Belo Horizonte, MG - CEP: 30140-100, 31994331416
(2) Graduanda, Arquitetura e Urbanismo, natalia.azevedo@sga.pucminas.br , PUC Minas, Rua Cláudio Manoel, 1.149 - Funcionários, Belo Horizonte, MG - CEP: 30140-100, 31984816653
(3) Pós Doutora, Arquitetura e Urbanismo, annamiana@pucminas.br , PUC Minas , Rua Cláudio Manoel, 1.149 - Funcionários, Belo Horizonte, MG - CEP: 30140-100, 31 998281836

RESUMO:
O estádio Governador Magalhães Pinto (Mineirão), localizado em Belo Horizonte, capital de Minas Gerais, é sede de diversos eventos de importância mundial, como por exemplo a Copa do Mundo FIFA 2014. A partir de sua reforma em 2012, incentivado em decorrência da Copa, o estádio Mineirão passou a contar com uma esplanada destinada a eventos. Desse modo, é objetivo desta pesquisa avaliar o conforto térmico nessa esplanada. Levando em consideração a pandemia do COVID-19, espaços confinados com aglomeração de pessoas apresentavam grande risco de contaminação, valorizando, portanto, os espaços abertos e amplos para a realização de eventos. Para isso, adotou-se uma metodologia, que por meio de simulações com o software Envi-Met e medições in loco de algumas variáveis ambientais (temperatura, umidade e vento), foram avaliadas as condições de conforto térmico no local. Desse modo, após análise das simulações e dos resultados das medidas in-loco, percebemos que a esplanada do Mineirão se encontra em estado de desconforto térmico por calor.
Palavras-chave: Conforto-térmico urbano; Bioclimática; Infra-estruturas urbanas; Simulação computacional.

ABSTRACT:
The Governador Magalhães Pinto stadium (Mineirão), located in Belo Horizonte, capital of Minas Gerais, hosts several events of global importance, such as the 2014 FIFA World Cup. Since its renovation in 2012, encouraged by the World Cup, the Mineirão stadium now has an esplanade for events. Thus, this research aims to evaluate the thermal comfort in this esplanade. Taking into account the COVID-19 pandemic, confined spaces with agglomeration of people presented a high risk of contamination, thus valuing open and large spaces for events. For this, a methodology was adopted, that by means of simulations with the Envi-Met software and in loco measurements of some environmental variables (temperature, humidity and wind), the thermal comfort conditions in the venue were evaluated. Thus, after analyzing the simulations and the results of on-site measurements, we realized that the Mineirão esplanade is in a state of thermal discomfort due to heat.
Keywords: Urban thermal-comfort; Bioclimatics; Urban infrastructures; Computational simulation.

1. INTRODUÇÃO

Belo Horizonte (BH) é um município localizado na região sudeste do Brasil, sendo a capital do estado de Minas Gerais. A mudança climática percebida no município é decorrente de mudanças antropogênicas como a ampliação da área urbana, redução das áreas verdes, aumento da população, da frota de veículos, do parque industrial, do comércio e prestação de serviços, que afetaram a qualidade ambiental urbana com temperaturas cada vez mais altas, somadas à alta densidade das edificações. (JARDIM & SILVA, 2016, p. 84)

De acordo com Oliveira et al. (2017, p. 817) a partir da década de 60, Belo Horizonte:

> "… passa por uma fase intensa de crescimento, onde casas eram demolidas para dar lugar aos arranha-céus, o que resultou na derrubada de árvores e na pavimentação do solo. Nas décadas seguintes, a degradação ambiental passou a se intensificar ainda mais, como resultado direto do processo da urbanização … o que fez com que a ilha de calor de Belo Horizonte gerasse uma pluma de contaminação térmica ao longo da região metropolitana…"

Estas ações têm afetado a qualidade ambiental urbana com temperaturas cada vez mais altas (Jardim e Silva, 2016, p. 84). Em um estudo realizado por Silva (2021), no qual as temperaturas da cidade de Belo Horizonte foram analisadas de 1991 a 2020, confirmou estatisticamente o aumento da temperatura no município, com um aumento de 2,5ºC em sua temperatura média máxima. Mostrando assim, o momento em que BH começa a enfrentar problemas relacionados às ilhas de calor. De acordo com Assis (2010), em Belo Horizonte, as ilhas de calor coincidem com as áreas densamente povoadas e impermeáveis do município, o que favorece o acúmulo de elementos nocivos no ar.

O Mineirão está localizado em Belo Horizonte, na Regional da Pampulha. O estádio está localizado na Av. Antônio Abrahão Caram, 1001 - Bairro São Luiz, Belo Horizonte - MG. (ver figura 1)

Desde sua renovação em 2012, em preparação para a Copa do Mundo FIFA 2014, o estádio Mineirão foi equipado com uma esplanada externa para eventos. A construção da esplanada removeu aproximadamente 44% das árvores do solo, substituindo-as por uma área de concreto sem áreas sombreadas (ver figura 1).



Figura 1 - Estádio Mineirão antes (esquerda) e depois da reforma (direita)

Em 2014 o projeto do estádio recebeu o mais alto selo de Liderança em Energia e Design Ambiental (LEED), o selo Platinum. É o único estádio no Brasil a obter este selo, tornando-o uma referência arquitetônica e de construção sustentável. Por outro lado, a esplanada foi construída com um piso de concreto e poucas áreas sombreadas. Estas características não contribuem para o conforto térmico do usuário, aumentando consideravelmente a temperatura do ar.

De acordo com Siqueira (2013) "O Estádio do Mineirão aponta caminhos sobre como megaeventos podem deixar um legado para as cidades … assim, o solo da cidade se expande pela arquitetura." Mostrando, portanto, a importância dessa análise.

No Brasil há uma diversidade de estudos a respeito do conforto térmico em espaços abertos, assim como estudos específicos para a cidade de Belo Horizonte. No entanto, nas pesquisas realizadas sobre o tema, verifica-se que poucas analisam o conforto térmico em espaços de eventos abertos. Por fim, pesquisas na área de conforto térmico urbano são fundamentais para a construção de cidades melhores, mais sustentáveis e habitáveis, nas quais os usuários possam exercer suas atividades da melhor forma possível.

2. OBJETIVO

O objetivo geral da pesquisa é analisar o conforto térmico da Esplanada do Estádio Governador Magalhães Pinto - o Estádio Mineirão, Belo Horizonte, por meio de medidas in-loco e simulações computacionais com o software Envi MET.

3. MÉTODO

A partir da revisão bibliográfica sobre o que já foi produzido com relação ao tema proposto, foi adotada uma metodologia de pesquisa de estudo de caso, incluindo a seleção de ferramentas computacionais para auxiliar as avaliações do conforto térmico, tal o ENVI-Met[1] . A partir disso, a pesquisa foi dividida em quatro fases:

1. Revisão bibliográfica: Para conhecimento das pesquisas que envolvem análise de conforto urbano, quais métodos foram adotados e quais ferramentas. Nessa fase foi possível realizar a escolha do software e do índice de conforto térmico urbano mais adequados para aplicação na pesquisa.
2. Pesquisa in loco: Realização de medições da temperatura do ar, temperatura da superfície, umidade e velocidade do vento, de acordo com métodos já experimentados.
3. Simulações computacionais: Realização de simulações computacionais das condições de conforto térmico na situação atual e antes da construção da esplanada e comparação entre as seguintes variáveis: Temperatura Média Radiante (TRM), Temperatura Potencial do Ar e Voto médio previsto (PMV).

3.1. Revisão Bibliográfica - Índices de Conforto Térmico Urbano:

A partir da revisão bibliográfica, foram encontrados diversos pesquisadores que avaliam o conforto térmico urbano, a partir de pesquisas empíricas in loco, com o objetivo de entender as variáveis dos cálculos (metabolismo, atividade que estão exercendo, vestimenta, gênero e idade) e verificar se condiz com a sensação do usuário, analisando assim o balanço termo fisiológico, como citado na tabela abaixo (Tabela 1).

Diversos índices de conforto foram criados e adotados para avaliar a sensação térmica dos seres humanos em diferentes espaços. Estes, em sua maioria, foram criados para avaliar o conforto térmico no interior das edificações. Em espaços abertos, é necessária a análise de mais variáveis para medir a sensação do usuário, sendo, portanto, utilizados índices específicos para a avaliação do conforto térmico urbano.

Tabela 1- Índices e metodologias utilizadas em pesquisas de análise do conforto térmico urbano

Autor	Índice	Metodologia
Silveira, Assis e Ferreira (2011)	PET	Calibração do índice PET para espaços abertos por meio do método indutivo experimental.
Assis, et. al. (2016)	PMV e PET	Percepção de variáveis climáticas urbanas através da metodologia qualitativa descritiva em caráter exploratório.
Ribeiro, Justi, Santos, Nogueira e Musis (2020)	PMV e PET	Análise dos índices de conforto PMV e PET em diferentes tipos de coberturas em ambientes abertos.
Rossi, Minella, Tamura, Dumke, Krüger (2009)	PMV, PET e SET (Rayman)	Análise da resposta humana em relação ao conforto térmico em Curitiba, através de medidas das variáveis e de questionários aplicados aos usuários no espaço.
Shinzato, Duarte, Barros e Moreira (2013)	PMV (ENVI-Met)	Medição do Índice de área foliar (IAF) para calcular o impacto de vegetação nos microclimas urbanos.
Souza, et. al. (2016)	PMV (ENVI-Met)	Metodologia aplicada, baseada no método dedutivo. Levantamento de dados do local in loco, simulação computacional.
Monteiro, Duarte, Gonçalves e Alluci (2008)	Tne e ET (Energy PLUS)	Análise do conforto térmico em espaços abertos para aplicação de um modelo adaptativo
Nascimento e Silva (2019)	PMV (ENVI-Met)	Simulação tridimensional virtual comparando diferentes cenários, com ou sem vegetação.

FONTE: Elaboração própria, 2021.

[1] Envi Met Brasil - https://www.envi-met.com/pt-pt/recursos/ Acessado em 26 set.. 2020.

Desse modo, a partir da análise bibliográfica foi selecionado o software ENVI-Met para ser estudado. Em função disso, o índice escolhido para a análise do conforto térmico urbano foi o Voto médio previsto (PMV) desenvolvido por Gagge et all. (1986).

ENVI-Met:

O software simula as interações superfície-vegetação-ar em um ambiente urbano, sendo validado com medidas in loco. O ambiente circundante é constituído pelas superfícies dos edifícios, a atmosfera e a superfície do solo. Todos os fluxos de radiação da atmosfera, solo e paredes, são levados em conta. A temperatura de cada superfície do edifício vista da face de um ponto-alvo é calculada como uma temperatura ponderada, em que o peso é definido pela quantidade de superfícies circundantes que são vistas pela face de um determinado ponto (Naboni et al. 2019). O software utiliza índices de Voto médio previsto (PMV) descrito anteriormente.

Voto médio previsto (PMV):

Realizado a partir de uma percepção térmica de um grupo de pessoas, sendo específico para espaços externos. É baseado na termorregulação do corpo dos entrevistados. Os votos são registrados em uma tabela de no máximo 7 pontos, sendo considerados a radiação solar, velocidade do vento e taxas de suor. (MONTEIRO,2018)

4. RESULTADOS

4.1. Pesquisa in-loco:

Para o estudo, foram realizadas medidas na esplanada do Mineirão em dois dias distintos, no dia 4 de março de 2022 e 18 de agosto de 2022. Para isto, foram utilizados os equipamentos Termômetro Infravermelho (modelo: MT-395A - marca: Minipa) para medição de temperatura de piso (ºC) ; o Termo-higrômetro Digital (modelo: 625 - marca: Testo) para temperatura do ar (ºC); o Termo-higrômetro Digital (modelo: 625 - marca: Testo) para Umidade Relativa (%); e o Termo Anemômetro (modelo: 425 - marca: Testo) para Velocidade do vento (m/s). Os pontos de temperatura do ar não foram realizados com o auxílio de um abrigo. Foram selecionados os seguintes pontos (Figura 2)



Figura 2 - Localização pontos de medição

O primeiro dia escolhido para as medições in loco, 4 de março de 2022, foi um dia típico de verão para a cidade de Belo Horizonte, que estava com grande quantidade de sol e poucas nuvens. Foram registradas duas vezes medições para cada ponto. Os gráficos se referem a uma média do valor entre as duas voltas.

Tabela 2 - Medições in loco dia 1

	Pontos ao redor Mineirão				Pontos entrada - Sombra		
Descrição	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7
	Portaria F Piso concreto	Portaria B Piso concreto	Portaria C Piso concreto	Portaria E Piso concreto	Sombra Cobertura tensionada - Piso concreto	Sombra Árvore - Piso grama	Sombra Árvore - Piso concreto
Hora	12:59	13:05	13:13	13:20	13:10	13:11	13:15
Temperatura do piso (ºC)	51 ºC	51,1 ºC	51,4 ºC	51,7 ºC	36,4 ºC	31,9 ºC	31,5 ºC
Temperatura do ar (ºC)	31,1 ºC	31,8 ºC	33,6 ºC	32,8 ºC	31 ºC	32,5 ºC	31,65 ºC
Umidade relativa (%)	48,75 %	43,15 %	42,6 %	44,25 %	50,1 %	47,35 %	49,25 %
Velocidade do Vento (m/s)	1,3 5m/s	2,25 m/s	2,1 m/s	1,95 m/s	0,8 m/s	0,4 m/s	1,15 m/s

Valor médio entre volta 1 e volta 2:

Gráfico de Temperatura do piso (ºC)

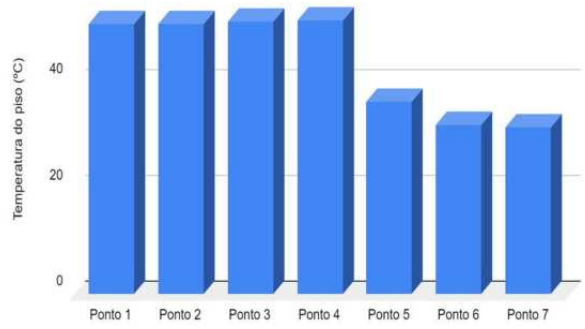


Gráfico de Temperatura do ar (ºC)

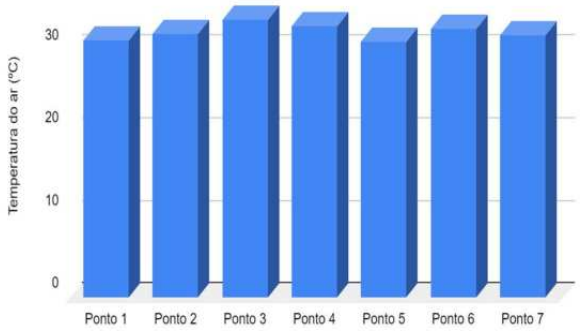


Gráfico de Velocidade do vento (m/s)

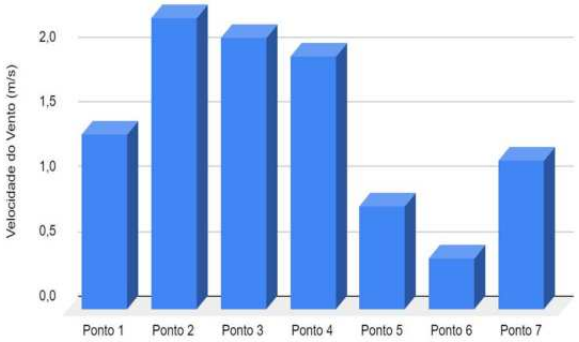
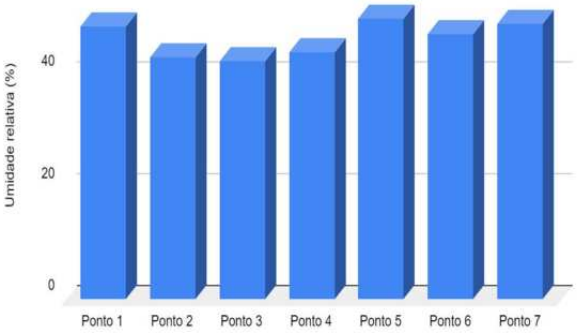


Gráfico de Umidade Relativa (%)



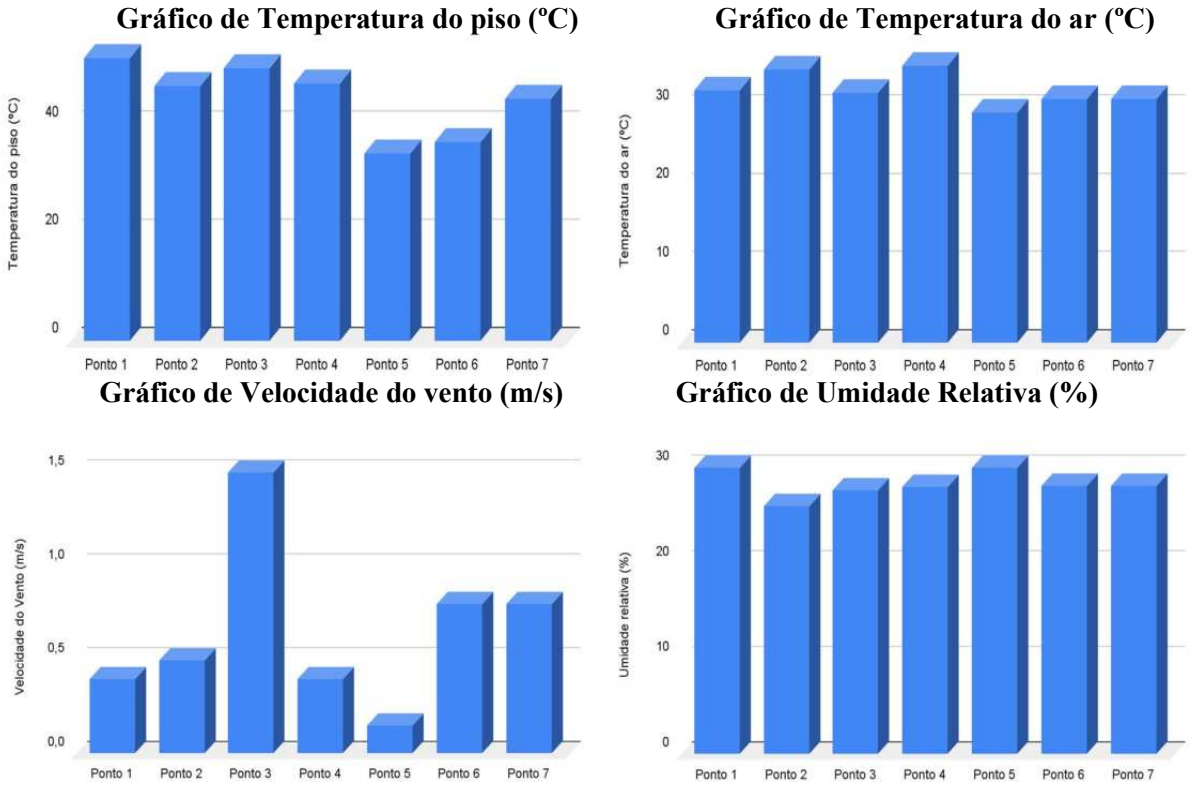
A partir da coleta de dados in loco, podemos perceber como a presença de cobertura, seja natural ou artificial, contribui significativamente para a diminuição da temperatura do piso (ºC). Verifica-se que as medidas de temperatura do piso nas áreas de sombra abaixo a cobertura tensionada possui uma diferença de 15,3ºC a menos do que nas áreas descobertas. Essa diminuição é maior quando em cobertura vegetal e piso de concreto, chegando a uma diferença de 19,8ºC. É ainda maior quando em cobertura vegetal e piso de gramado em que proporciona uma diminuição de 20,2ºC na temperatura do piso.

A respeito da velocidade do vento, apresentou uma variação significativa, com exceção do ponto 1, porém acredita-se que tal ocorrência se deu pelo fato de ser um ponto mais baixo da esplanada e da quantidade de obstrução. Com relação a temperatura do ar (ºC), e umidade relativa (%) não apresentaram muita variação, se mantendo constantes em todos os pontos.

O segundo dia escolhido para as medições in loco, foi um dia atípico de inverno, como ocorreu em grande parte dos dias de inverno no ano de 2022 em Belo Horizonte, com temperaturas acima do normal para esta estação do ano. Além disso, a umidade relativa do ar se encontrava muito baixa, e a velocidade do vento também estava baixa, fatores que contribuíram para o aumento na temperatura do ar.

Tabela 3 - Medições in loco dia 2

	Pontos ao redor Mineirão				Pontos entrada - Sombra		
	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4	Ponto 5	Ponto 6	Ponto 7
Descrição	Portaria F Piso concreto	Portaria B Piso concreto	Portaria C Piso concreto	Portaria E Piso concreto	Sombra Cobertura tensionada - Piso concreto	Sombra Árvore - Piso grama	Sombra Árvore - Piso concreto
Hora	15:18	15:28	15:33	15:45	15:05	15:55	15:57
Temperatura do piso (ºC)	52,5ºC	47,3 ºC	50.6ºC	47,7ºC	34,8ºC	36,9ºC	44,8ºC
Temperatura do ar (ºC)	32,3ºC	34,9ºC	32ºC	35,4ºC	29,5ºC	31,2ºC	31,2ºC
Umidade relativa (%)	30%	26,00%	27,60%	28%	30,00%	28,10%	28,10%
Velocidade do Vento (m/s)	0,4 m/s	0,5 m/s	1,5 m/s	0,4 m/s	0,15 m/s	0,8 m/s	0,8 m/s

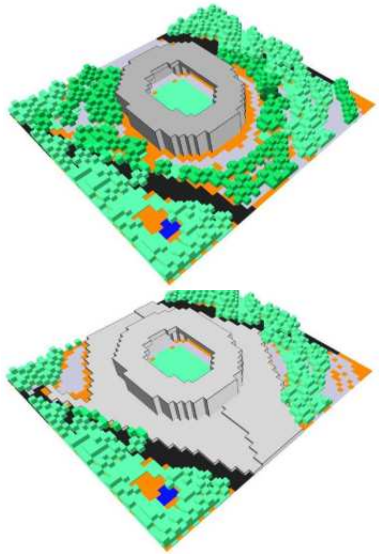


De toda forma, pode-se verificar como a presença de cobertura seja natural ou artificial, contribui significativamente para a diminuição da temperatura do piso. Verifica-se que as medidas de temperatura do piso nas áreas de sombra possuem uma diferença de 7ºC a menos do que nas áreas descobertas, quando abaixo de cobertura vegetal. Essa diminuição é maior quando em cobertura vegetal e piso gramado, chegando a uma diferença de 15,6ºC. Já a cobertura tensionada proporciona uma diminuição de 17,7ºC na temperatura do piso.

Com relação à temperatura do ar, há uma variação menor, porém considerável para o conforto térmico do ser humano, possuindo uma variação de até 5,9ºC a menos nos locais cobertos em relação aos locais descobertos.

A respeito da velocidade do ar, não apresentou muita variação, com exceção do ponto 3, porém acredita-se que tal ocorrência se deu pelo fato de ser um ponto mais elevado da esplanada. A umidade relativa sofreu uma variação de 4%.

4.2. Simulação computacional:



Para a realização das simulações computacionais foi realizada a modelagem do local na versão gratuita do software ENVI-Met 5.0.3. A fim de analisar o conforto térmico na Esplanada do Mineirão, as simulações foram realizadas no mesmo dia em que foram feitas as medidas in loco. Na data de medição realizada no dia 18 de agosto de 2022, foram simulados dois cenários para modelos comparativos, sendo um a modelagem da situação do local antes da reforma e a outra modelagem do Mineirão na situação após a reforma.

Os dados climáticos inseridos no programa foram retirados do site do Inmet (Instituto Nacional de Meteorologia). As variáveis climáticas consideradas para a extração dos mapas de análise foram: temperatura média radiante (temperatura superficial) e temperatura potencial do ar (temperatura do ar). Além disso, também foram extraídos os mapas de cálculo do índice de conforto PMV. Na data de medição do dia 18 de agosto de 2022, foram simulados dois modelos comparativos, sendo um a modelagem da situação do local antes da reforma e a outra modelagem do Mineirão na situação atual, considerando os mesmos dados climáticos do dia 18 de agosto de 2022.

Figura 3 - Modelagem do Mineirão antes (acima) e depois (abaixo) da reforma

Como também, para análise do conforto térmico foram extraídos os mapas de conforto gerados no software a partir do índice de conforto PMV, considerando um adulto de 25 anos, com 75 kg e 1,75m de altura. O norte é considerado para cima.

4.2.1. Temperatura Média Radiante

A temperatura média radiante é a soma dos fluxos de radiação de ondas curtas e longas absorvidos por um corpo humano e que afetam seu equilíbrio energético, é a principal variável na avaliação da sensação térmica externa durante o dia, independentemente do índice de conforto utilizado (ALI-TOUDERT; MAIO, 2006). É o parâmetro mais afetado pelo sombreamento. A implementação do sombreamento para reduzir este parâmetro significa menos radiação de onda curta direta, difusa e refletida do sol e temperaturas de superfície reduzidas, portanto menos radiação térmica das superfícies urbanas (DUARTE et al., 2015).

Nos estudos de Shinzato e Duarte (2018) na cidade de São Paulo, esta variável teve o maior impacto na parte de área sombreada, que influencia diretamente o conforto térmico, além da umidade do ar. Ela está sendo afetada principalmente pelas características da árvore e do dossel solar.

Antes da esplanada

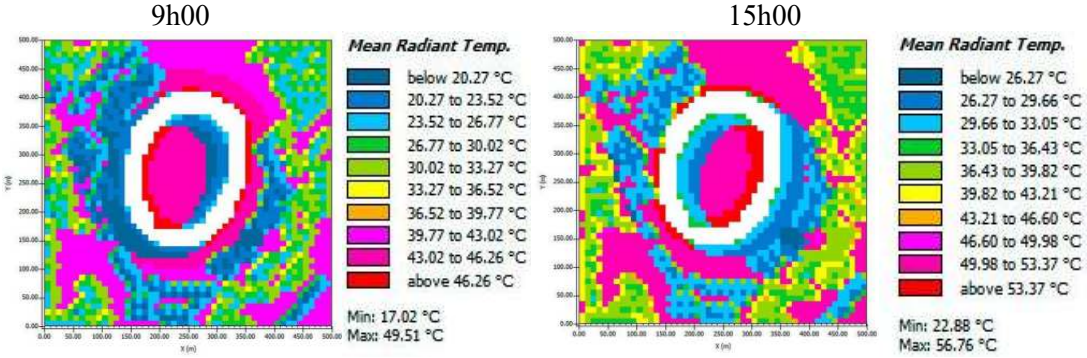


Figura 4 - Mapa de Temperatura Média Radiante, obtido através do Envi-MET

Condições atuais

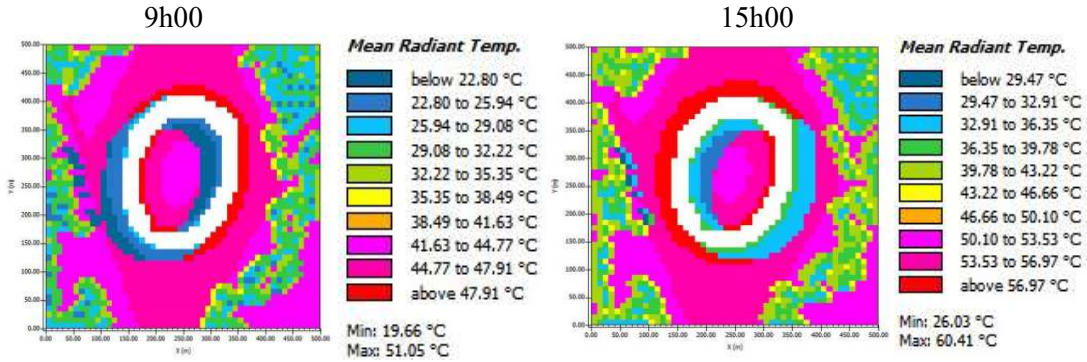


Figura 5 - Mapa de Temperatura Média Radiante, obtido através do Envi-MET

Ao comparar as simulações, às 15 horas, podemos perceber o aumento na temperatura média de aproximadamente 2ºC durante o período da manhã, chegando a 51,05ºC, e aproximadamente 4ºC durante a tarde, chegando a 60,41ºC, temperatura máxima radiante mais alta encontrada nas simulações. Como também, vemos a diferença de temperatura nas áreas arborizadas e de sombra, em que a TMR fica entre 29ºC e 36ºC, enquanto no mesmo local, atualmente, está entre 50 e 56ºC. Desse modo, podemos perceber o ganho de temperatura causado pela troca de áreas vegetadas e sombreadas por áreas de piso de concreto.

De maneira geral verifica-se que a área onde foi realizada a construção da esplanada em concreto encontra-se, em todas as simulações realizadas com o modelo após a reforma, com a temperatura média radiante acima de 40ºC no período da tarde e acima de 38ºC no período da manhã. Já na simulação realizada com o modelo antes da reforma as temperaturas, na mesma área onde encontra-se a esplanada atualmente, são predominantemente abaixo de 30ºC. Tal fato se dá pela quantidade de árvores que havia no local anteriormente que promoviam o sombreamento do local, diminuindo, portanto, a temperatura radiante.

4.2.2 Temperatura potencial do ar

A temperatura do ar é a temperatura que está ao redor do corpo humano (ISO 7726, 1998). A temperatura é comumente determinada por meio da medição de variáveis que são influenciadas pelos volumes de líquidos,

resistências elétricas, força eletromotriz, entre outros fatores. Independentemente da variável que esteja sendo utilizada para se relacionar com a temperatura, a leitura do sensor indica somente a temperatura no local onde ele está posicionado.

A percepção do usuário do espaço resulta da interação de diversos fatores como a temperatura do ar, contexto, tipo de atividade, grau e tipo de sombreamento, entre outros. (Javadi, 2012)

Antes da esplanada

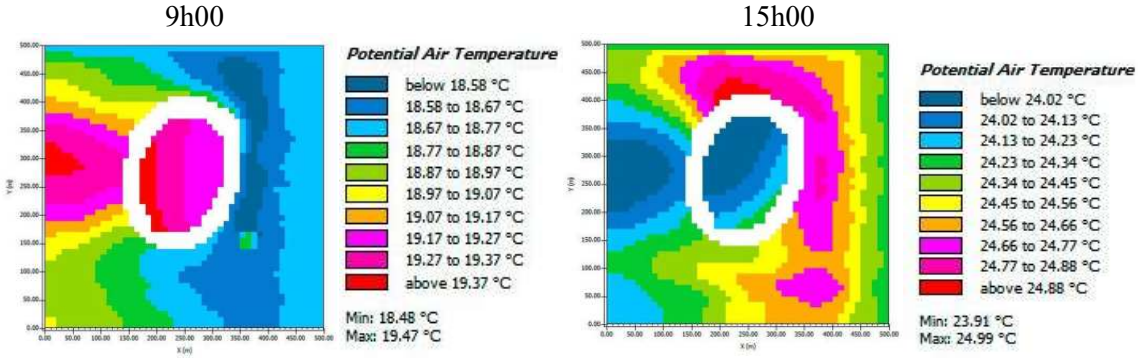


Figura 6 - Mapa de Temperatura Potencial do Ar, obtido através do Envi-MET

Condições atuais

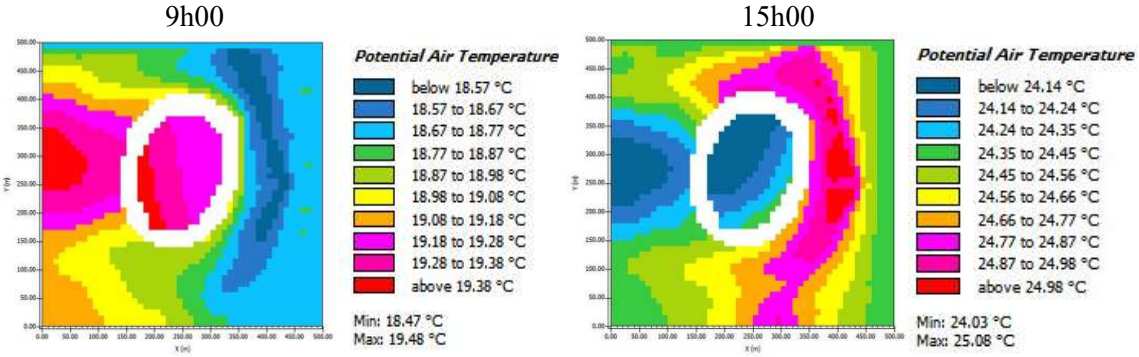


Figura 7 - Mapa de Temperatura Potencial do Ar, obtido através do Envi-MET

Ao comparar as simulações, percebemos que não houve aumento significativo na temperatura do ar durante o período da manhã, e aumento de 1ºC no período da tarde, após a construção da esplanada. Como também, se pode perceber um aumento do vento em uma temperatura mais alta (24,77 a maior que 24.98ºC) na parte Leste da esplanada.

De maneira geral, a temperatura do ar varia de acordo com as estações do ano, verificando um aumento da temperatura geral na porção leste na parte da tarde após a construção do Mineirão.

4.2.3. PMV

Quando o índice de conforto PMV está próximo de zero, isso indica que a temperatura, umidade e velocidade do ar estão dentro da faixa de conforto térmico para a maioria das pessoas. Essa faixa de conforto térmico pode variar de acordo com as atividades realizadas no ambiente, as roupas que as pessoas estão usando e outros fatores. (ROSSI et al., 2009)

Antes da esplanada

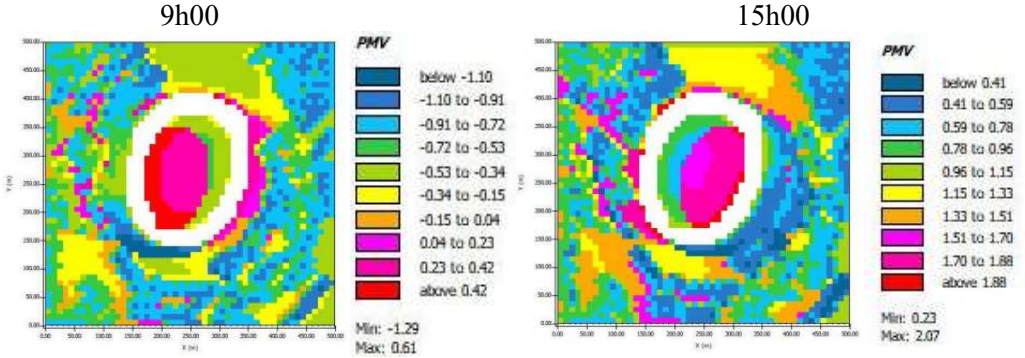


Figura 8 - Mapa de cálculo do índice de conforto PMV, obtido através do Envi-MET

Condições atuais

9h00 15h00

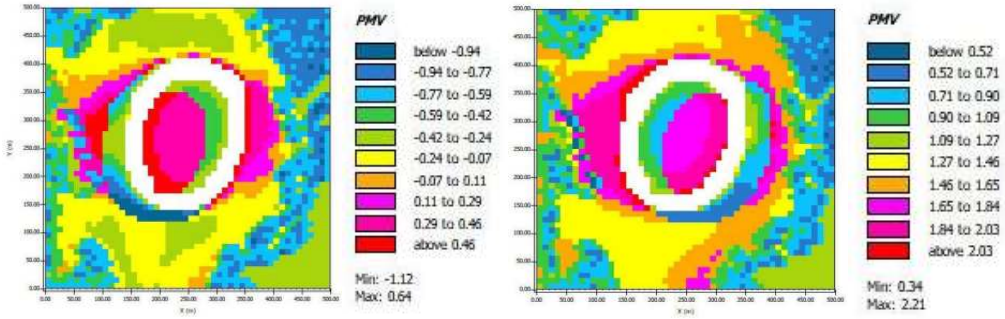


Figura 9 - Mapa de cálculo do índice de conforto PMV, obtido através do Envi-MET

Ao comparar as simulações, percebemos que o índice de conforto PMV, sofre drásticas alterações, principalmente na parte da esplanada onde houve a retirada de vegetação. Como também, percebemos como no horário da tarde, a esplanada está totalmente em desconforto por calor, principalmente sua parte Leste e Oeste que chegam a valores de + 2,03.

De maneira geral, o índice de conforto térmico - PMV em relação a área da esplanada apresenta desconforto por calor, principalmente na parte da tarde.

5. CONCLUSÕES

Com base nas medições in loco e simulações computacionais realizadas, pode-se concluir que as medidas de sombreamento são cruciais para garantir o bem-estar das pessoas em ambientes de eventos abertos. As medições in loco nos mostraram que medidas de sombreamento mudam drasticamente o valor de temperatura do piso de um local, fatores estes que influenciam diretamente no conforto das pessoas naquele local.

A partir da análise, vemos que os dados mais esclarecedores quanto a valores de pontos específicos foi a medição in loco, em que, no dia 1 a presença de cobertura, seja natural ou artificial, contribui para a diminuição da temperatura do piso. A temperatura do piso diminui em média 15,3ºC abaixo da cobertura tensionada, 19,8ºC em cobertura vegetal e piso de concreto e 20,2ºC em cobertura vegetal e piso de gramado. A temperatura do ar e umidade relativa não apresentaram muita variação.

Como também, no dia 2, a presença de cobertura, seja natural ou artificial, contribui para a diminuição da temperatura do piso e da luminância. A cobertura vegetal apresenta uma maior diminuição na temperatura do piso em relação à cobertura tensionada, com diferença de 15,6ºC a 17,7ºC. A temperatura do ar também apresenta variação significativa, com até 5,9ºC a menos nos locais cobertos. A velocidade do ar não apresenta muita variação, com exceção de um ponto mais elevado da esplanada. A umidade relativa sofre uma variação de 4%.

Desse modo, vimos como a comparação das simulações de temperatura média radiante antes e depois da reforma da esplanada, foi decisiva para a análise dos resultados. Foi observado um aumento de cerca de 2ºC na temperatura média durante a manhã e 4ºC durante a tarde, atingindo uma temperatura máxima de 60,41ºC. Áreas com vegetação e sombra apresentaram temperaturas entre 29ºC e 36ºC, enquanto a área de concreto construída após a reforma apresentou temperaturas acima de 40ºC durante a tarde. Desse modo, vemos que a substituição da área arborizada por concreto aumentou a temperatura no local.

Ademais, ao comparar simulações de temperatura potencial do ar antes e depois da construção de uma esplanada em um estádio, utilizando dados climáticos semelhantes, não houve aumento significativo na temperatura do ar durante o período da manhã, e aumento de 1ºC no período da tarde após a construção da esplanada. Foi observado um aumento do vento em uma temperatura mais alta na parte Leste da Esplanada. Verificou-se também um aumento geral da temperatura na porção Leste na parte da tarde após a construção do estádio.

Como também, podemos concluir que a retirada da vegetação da esplanada teve um impacto significativo no índice de conforto térmico - PMV. As simulações mostram que a área da esplanada apresenta alto desconforto por calor, principalmente durante o período da tarde ao lado Leste e Oeste, que chegam a valores de +2.03.

Em suma, a análise comparativa entre as medições e simulações permitiu verificar a eficácia dos modelos computacionais em prever as condições de conforto térmico em um ambiente, principalmente quando considerado a comparação de dois cenários diferentes - como o realizado antes e depois da construção da esplanada. Em suma, os resultados apresentados neste estudo reforçam a importância do conforto térmico

como um fator determinante para a qualidade de vida das pessoas em ambientes abertos, principalmente levando em consideração que as simulações foram realizadas em um dia de inverno.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, Eleonora; et al.. ANÁLISE DA PERCEPÇÃO DE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS URBANAS PELOS RESIDENTES DA CIDADE DE BELO HORIZONTE, BRASIL. 7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável: Contrastes, Contradições e Complexidades, [s. l.], Outubro 2016.

JARDIM, Carlos Henrique; SILVA, Marina Rozendo. EXTREMOS DE TEMPERATURA DO AR EM BELO HORIZONTE: VARIABILIDADE NATURAL E INFLUÊNCIA DO CLIMA URBANO. Revista do Departamento de Geografia, Volume Especial (2016). ISSN 2236-2878. p. 83-97, 2016.

KATZSCHNER, L.. Urban climate studies as tools for urban planning and architecture. In: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, IV, 1997, Salvador. Anais. Salvador. p. 49-58, 1997.

DUARTE, D. H. S.; SHINZATO, P.; GUSSON, C. dos S.; ALVES, C. A. (2015). The impact of vegetation on urban microclimate to counterbalance built density in a subtropical changing climate. Urban Climate, 14. p. 224–239, 2015.

MONTEIRO, Leonardo Marques. Conforto térmico em espaços urbanos abertos: verificações modulares como aportes à exploração de abordagens. Tese de Livre Docência - Departamentos de Tecnologia da Arquitetura - FAUUSP, São Paulo, 2018.

MONTEIRO, Leonardo Marques; DUARTE, Denise; GONÇALVES, Joana Soares; ALUCCI, Marcia Peinado. Conforto térmico como condicionante do projeto arquitetônico-paisagístico: o caso dos espaços abertos do novo centro de pesquisas da Petrobras no Rio de Janeiro, CENPES II. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 8, n. 4, p. 61-86, out. / dez. 2008.

NABONI, Emanuele; MELONi, Marco; MACKEY, Chris; KAEMPF, Jerome; The Simulation of Mean Radiant Temperature in Outdoor Conditions: A review of Software Tools Capabilities. Proceedings of the 16th IBPSA Conference Rome, Italy, Sept. 2-4, 2019.

NASCIMENTO, Luna; SILVA, Caio Frederico e. O Conforto térmico de áreas escolares: análise da vegetação por meio do ENVI-met. IBPSA, [S. l.], p. 66 - 79, 30 ago. 2019.

OLIVEIRA, Marceli Terra de; GANEM, Khalil Ali; BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello. Análise sazonal de relação entre sequestro de carbono e ilhas de calor urbanas nas metrópoles de São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte e Brasília. Revista Brasileira de Cartografia: Edição Desastres Naturais e Impactos Ambientais, Brasília, v. 4, n. 69, p. 807-825, 7 abr. 2017.

RIBEIRO, Karyn Ferreira Antunes; JUSTI, Ana Clara Alves; SANTOS, Flavia Maria de Moura; NOGUEIRA, Marta Cristina de Jesus Albuquerque; MUSIS, Carlo Ralph de. Análise dos índices de conforto Térmico PMV e PET em diferentes tipos de coberturas em ambientes abertos na cidade de Cuiabá - MT. Revista Brasileira de Climatologia, [s. l.], ano ISSN 2237-8642, v. 26, ed. 16, p. 561 - 578, JAN; JUN 2020. DOI http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v26i0.69343. Disponível em: https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/69343. Acesso em: 20 abr. 2021.

ROSSI, Francine A.; MINELLA, Flavia O. TAMURA, Cíntia A.; DUMKE, Eliane; KRÜGER, Eduardo L. Conforto térmico em espaços abertos: resultados de um estudo piloto em Curitiba. X Encontro Nacional E VII Encontro Latino Americano De Conforto No Ambiente Construído, Curitiba, v. ano 10, p. 1-11, 2009.

SHINZATO, Paula; DUARTE, Denise Helena Silva. O impacto da vegetação nos microclimas urbanos: estimativa do índice de área foliar em diferentes grupos arbóreos. ENCAC - Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, ELACAC - Encontro Latino-americano de Conforto no Ambiente Construído, Setembro 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/343820631. Acesso em: 1 mar. 2021.

SIQUEIRA, Marina. Mineirão / BCMF Arquitetos. 03 Jun 2013. ArchDaily Brasil. disponível em: https://www.archdaily.com.br/br/01-117752/mineirao-slash-bcmf-arquitetos ISSN 0719-8906. Acesso em 15 Mar 2021.

SILVEIRA, Simone Queiroz da; ASSIS, Eleonora Sad de; FERREIRA, Deniele Gomes. Calibração do índice de conforto térmico temperatura equivalente fisiológica (pet) para espaços abertos do município de Belo Horizonte - mg. Encontro nacional de conforto no ambiente construído, Búzios, v. ano 11, p. 1-9, 2011.

SOUZA, Camila Araújo de Siqueira; et al.. ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE VEGETAÇÃO NA DENSIDADE URBANA NO CENTRO DE BELO HORIZONTE, BRASIL, ATRAVÉS DE MODELAGEM MICROMETEOROLÓGICA. 7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável: Contrastes, Contradições e Complexidades, [s. l.], Outubro 2016.

AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem à PUC Minas pelo apoio e incentivo à pesquisa e à FAPEMIG pelo financiamento. Aos professores do grupo de pesquisa do CNPq "*Arquitetura Bioclimática e Sustentabilidade Ambiental Urbana*" pelos ensinamentos e orientações, em especial ao professor Rafael da Silva Brandão. À arquiteta e urbanista especialista em arquitetura bioclimática Nathali Padovani, pela colaboração à pesquisa.