

**COMPARAÇÃO DA TEMPERATURA DO AR NOTURNA ENTRE CENTRO  
E PERIFERIA: UMA CONTRIBUIÇÃO AOS ESTUDOS SOBRE CLIMA  
URBANO EM JUIZ DE FORA-MG**

COMPARISON OF NIGHTTIME AIR TEMPERATURE BETWEEN DOWNTOWN AND OUTSKIRTS: A  
CONTRIBUTION TO STUDIES ON URBAN CLIMATE IN JUIZ DE FORA-MG

**Pamela Martins Carvalho**

Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF  
Rua José Lourenço Kelmer, s/n Campus Universitário  
São Pedro – CEP: 36.036-900 - Juiz de Fora, MG - Brasil  
pamela.martins@ich.ufjf.br

**Fabio Sanches**

Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF  
Rua José Lourenço Kelmer, s/n Campus Universitário  
São Pedro – CEP: 36.036-900 - Juiz de Fora, MG - Brasil  
fabio.sanches@ufjf.br

**Yan Carlos Gomes Vianna**

Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF  
Rua José Lourenço Kelmer, s/n Campus Universitário  
São Pedro – CEP: 36.036-900 - Juiz de Fora, MG - Brasil  
yan.metal@gmail.com

**Thiago Alves Oliveira**

Universidade de São Paulo - USP  
Avenida Professor Lineu Prestes, 338  
Cidade Universitária - CEP 05508-000 - São Paulo, SP - Brasil  
thiago.a.oliveira@usp.br

**Cássia de Castro Martins Ferreira**

Universidade Federal de Juiz de Fora - UFJF  
Rua José Lourenço Kelmer, s/n Campus Universitário  
São Pedro – CEP: 36.036-900 - Juiz de Fora, MG - Brasil  
cassia.castro@ufjf.br

---

## RESUMO

Pesquisas demonstram que as transformações espaciais no ambiente urbano modificam as condições climáticas locais, aumentando a temperatura do ar devido ao acúmulo de energia pelos materiais construtivos. O objetivo do estudo consiste em comparar as condições da temperatura do ar no período noturno em dois recortes espaciais da cidade de Juiz de Fora (MG). Os termômetros automáticos (Hobo – modelo UA-001-64) foram instalados em dois pontos da cidade: (a) no entorno do Colégio Stella Matutina (*área central da cidade*); (b) no bairro Previdenciários (*área periférica da cidade*). Foram analisados dados de temperatura do ar das 18h, 21h, 0h e 3h durante os meses de dezembro de 2018 a novembro de 2019, sendo os mesmos submetidos a teste de homogeneidade (Teste *t* de *Student*). O Modelo de Potencial Térmico também foi aplicado no entorno dos pontos de coleta de dados para avaliar se os padrões de uso e ocupação do espaço influenciariam no comportamento dos dados. Os resultados da estatística de *Student* mostraram que em todos os meses analisados, as temperaturas da *área central da cidade* foram significativamente superiores as da *área periférica da cidade*. Tal condição foi reforçada pelos resultados do Modelo de Potencial Térmico, o qual classificou a *área central da cidade* com um potencial de aquecimento 64% superior a *área periférica da cidade*. Os resultados observados corroboram com os estudos sobre o campo térmico para a cidade de Juiz de Fora, reforçando a diferenças na temperatura do ar noturna entre as áreas central e periférica da cidade. A pesquisa também reforça a ideia de que o ambiente construído (constituído por casas, prédios, ruas asfaltadas) e as reduzidas áreas com cobertura vegetal (praças, canteiros, árvores, jardins etc.), impactam diretamente na temperatura do ar no ambiente urbano promovendo diferenças.

**Palavras-chave:** Ilha de calor; campo térmico; testes estatísticos; modelagem; Zona da Mata Mineira.

## ABSTRACT

Research shows that the spatial transformations in the urban environment modify the local climatic conditions, increasing the air temperature due to the accumulation of energy by the building materials. The objective of this study is to compare the air temperature conditions of two spatial clippings of the city of *Juiz de Fora (MG)* at night. The automatic thermometers (Hobo - model UA-001-64) were installed in two places in the city: (a) around *Colégio Stella Matutina* (central area of the city); (b) in the *Previdenciários* neighborhood (outskirts area of the city). Air temperature data from 6pm, 9pm, 0pm and 3am during the months of December 2018 to November 2019 were analyzed and subjected to homogeneity test (Student's t-test). The Thermal Potential Model was also applied to the surroundings of the data collection sites to assess whether land use and occupancy patterns would influence the behavior of the data. The results of Student's statistics suggested that in all months analyzed, temperatures in the central area of the city were significantly higher than in the peripheral area of the city. This condition was reinforced by the results of the Thermal Potential Model, which classified the central area of the city with a 64% higher heating potential than the peripheral area of the city. The observed results corroborate studies on the thermal field for the city of Juiz de Fora, reinforcing the differences in nighttime air temperature between the central and outskirts areas of the city. The research also reinforces the idea that the built environment (formed by houses, buildings, paved streets) and the reduced areas with vegetation cover (squares, flowerbeds, trees, gardens, etc.) directly impact the air temperature in the urban environment, promoting such differences.

**Keywords:** Heat island; thermal field; statistical tests; modeling; *Zona da Mata Mineira*.

## 1. Introdução

A partir da década de 1960, o Brasil vivenciou uma acelerada urbanização intensamente acompanhada de um processo de industrialização. Essa busca por oportunidades e melhores condições de vida nas cidades resultou, por exemplo, na formação de grandes regiões metropolitanas (MONTEIRO; MENDONÇA, 2011). Segundo os dados do IBGE (<https://www.ibge.gov.br/>), considerando apenas os Censos realizados nos anos de 2000 e 2010, a taxa de urbanização no território brasileiro subiu de 81,2% para 84,4% no período.

Nesse sentido, a urbanização brasileira, fruto de um processo de expansão tardio e desigual, carrega consigo aspectos contraditórios no qual temos, de um lado um maior acesso a inúmeros tipos de serviços e infraestruturas viabilizadas pela dinâmica espacial urbana, e do outro, uma série de aspectos negativos produzindo resíduos insalubres decorrentes dessas atividades e da sua própria morfologia estrutural antrópica (FERREIRA et al., 2015).

Ferreira (2014) destaca que as condições de tempo – atmosférico - têm grandes implicações sobre o sítio urbano, pois essas engendram ocorrências como, enchentes urbanas, movimento de massa, calor extremo, seca, entre outras que repercutem na vida da população.

Apesar de ser crescente nos noticiários os relatos das mazelas provocadas pelas condições de tempo nas cidades, a produção dos espaços urbanos continua a mercê de um crescimento, ora ausente de planejamentos, ora planejados e executados de maneira deficitária. Ferreira (2014, p. 50) ainda pontua que “cada vez mais são produzidos espaços urbanos altamente insustentáveis, consagrando uma veemente ruptura socioambiental” (FERREIRA, 2014, p. 50).

Monteiro (1976) já alertava que tais transformações no espaço urbano poderiam levar a formação de um clima urbano, sendo resultado da interferência dos fatores que atuam sobre a camada limite urbana, modificando o clima local e originando, assim, uma atmosfera local com características climáticas diferentes das áreas circunvizinhas. Seus efeitos poderiam ser observados de forma mais direta por meio de manifestações ligadas ao conforto térmico decorrente da configuração das chamadas “ilhas de calor”, dos impactos pluviais na ocorrência de enchentes nas áreas urbanas e no comprometimento da qualidade do ar devido à poluição atmosférica.

Por sua vez, Gartland (2010) aponta oito principais características que contribuem para a formação de ilhas de calor: (1) falta de vegetação; (2) utilização difundida de superfícies impermeáveis; (3) maior difusividade térmica dos materiais urbanos; (4) baixa refletância solar dos materiais urbanos; (5) geometrias urbanas que aprisionam o calor; (6) geometrias urbanas que

diminuem as velocidades dos ventos; (7) aumento dos níveis de poluição; e (8) aumento da utilização de energia.

Nessa perspectiva, Neto e Rampazzo (2016) afirmam que um dos problemas que mais afetam o cotidiano da vida urbana, em países tropicais como o Brasil, refere-se ao conforto térmico e ambiental. Para Oke (1987), as propriedades de armazenamento e dispersão de calor dos materiais de construção contribuem para o acúmulo de calor durante o dia pela cidade e para sua devolução para a atmosfera durante a noite.

Os trabalhos de Ferreira (2014), Assis e Ferreira (2018), Ferreira *et al* (2019), Oliveira *et al* (2019a), Pimentel e Ferreira (2019) discutem e propõem ferramentas e formas de análise para o clima urbano e formação de ilhas de calor tendo como objeto de estudo a cidade de Juiz de Fora.

Ferreira (2014) e Ferreira *et al* (2019) propuseram e aplicaram uma metodologia de estudo baseada em mapeamentos básicos e temáticos, em que as múltiplas informações sobre o número de variáveis trabalhadas (vegetação, impermeabilização, massa construída, albedo e emissividade) pelo modelo proposto, resultam num Mapa síntese de Potencial Térmico.

Os autores constataram por meio desse modelo que a geometria da área urbana estudada em Juiz de Fora tem implicações na alteração das características climáticas locais, demonstrando que as áreas com baixa presença de cobertura vegetal tendem a ter uma resposta térmica mais elevada, levando a formação de ilhas de calor na cidade.

Já Fialho (2012), salienta que a ilha de calor é mais evidente no período noturno, existindo na literatura uma série de estudos que reforçam que o fenômeno tende a ocorrer algumas horas após o pôr-do-sol.

A partir de outras metodologias e técnicas, Andrade *et al.* (2013), Alves (2017) e Sanches *et al* (2018) contribuíram para os estudos sobre o fenômeno das ilhas de calor a partir da aplicação de teste estatísticos de homogeneidade. Os autores trabalharam com mais de três pontos de coleta de dados de temperatura do ar, sendo estes submetidos a técnicas como Análise de Variância (ANOVA) - de Fator Único e de Multifatores - e Regressão Linear Múltipla obtendo resultados substanciais e seus trabalhos.

Nesse sentido, o presente trabalho pretende contribuir com os estudos sobre ilhas de calor em Juiz de Fora, durante o período noturno (das 18h às 3h), a partir da aplicação de testes estatísticos e do uso do Modelo de Potencial Térmico.

## 2. Área de Estudo

Localizado na Mesoregião da Zona da Mata mineira, o município, com 1.435,749 km<sup>2</sup> (IBGE, 2022) está inserido no Domínio dos Mares de Morros, devido a suas características de morrarias arredondadas cobertas por vegetação de Mata Atlântica Ab'Sáber (2003).

Segundo informações do site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/juiz-de-fora/panorama>), estimava-se que o município de Juiz de Fora possuísse 577.532 habitantes em 2021. Desse contingente, quase sua totalidade (mais de 98%) reside em áreas urbanas, dos quais 55,5% das vias públicas apresentam-se arborizadas.

Segundo a classificação de Köppen para o estado de Minas Gerais, o município de Juiz de Fora se enquadra no tipo climático Cwa - clima temperado, com verão quente e úmido, com temperaturas médias do mês mais quente superiores a 22°C e temperaturas médias do mês mais frio inferiores a 20°C (ALVARES *et al.*, 2013; MARTINS *et al.*, 2018).

As condições gerais de tempo (atmosférico) e clima para Juiz de Fora são definidas à partir da ação das massas de ar Tropical Atlântica (mTa), Polar Atlântica (mPa), sistemas frontais, da participação da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Zona de Convergência de Umidade (ZCOU), conforme sugerem Oliveira *et al* (2020).

Na região de Juiz de Fora (MG), a ação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) condiciona a formação da Massa Tropical Atlântica, a qual possui características atmosféricas quente e seca, atuando com mais intensidade sobre o Brasil durante o inverno (BORSATO, 2016) e diminuindo sua atuação no verão, afastando-se do continente.

Da mesma forma, durante o período do inverno o ASAS é responsável pela manutenção da estabilidade atmosférica na região de estudo, dificultando os movimentos ascendentes do ar, sendo responsável pelos baixos volumes pluviométricos.

Por sua vez, a Massa Polar Atlântica (mPa) forma-se a partir da ação Anticiclone Migratório Polar (AMP). Sendo, também, um sistema de alta pressão – alta polar – é responsável pela estabilidade atmosférica - porém com características mais frias - com exceção à área de contato com outros sistemas atmosféricos (zona frontal) no seu avanço sobre o território brasileiro (BORSATO, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

Já nos meses de primavera e verão, parte da umidade produzida na Amazônia é transportada para as regiões Sul e Sudeste por meio dos Jatos de Baixos Níveis (JBN) a leste dos Andes. Estas condições, associadas a Sistemas Frontais localizados no Atlântico, favorecem a formação das Zonas de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), as quais figuram como uma das

principais fontes de umidade e precipitação que atinge a região Sudeste (REBOITA et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2020).

### 3. Materiais e Metodologia

#### 3.1 Caracterização dos pontos de coleta e dados coletados.

O entorno do Colégio Stella Matutina (*área central da cidade* – Ponto A) caracteriza-se por apresentar maior densidade de edificações, edificações com muitos pavimentos (prédios) intenso fluxos de veículos e baixa presença de vegetação. Já o bairro Previdenciários (*área periférica da cidade* – Ponto B) apresenta um menor número de edificações, edificações com um ou dois pavimentos (casas e sobrados), menor fluxo de veículos, maior número de superfícies permeáveis e área vegetada (Figura 1).

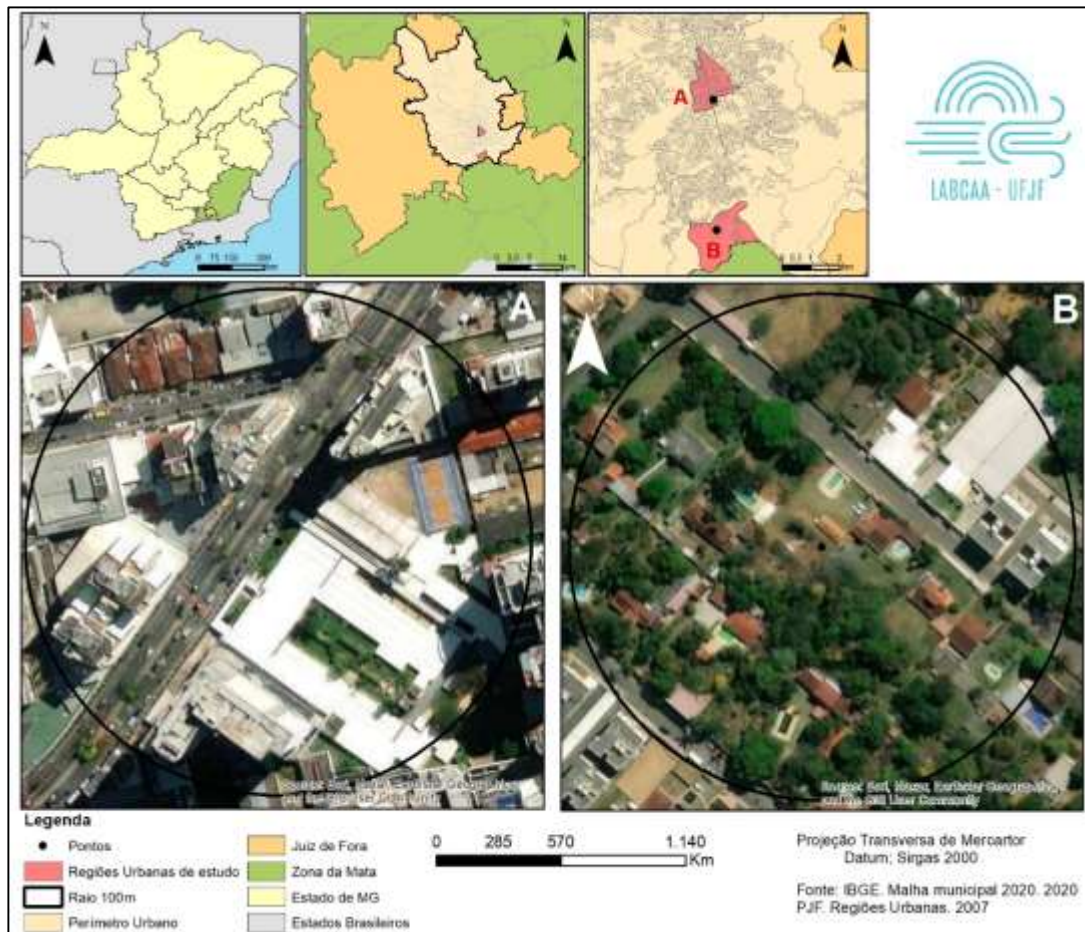


Figura 1. Localização dos pontos de coleta de dados.

Para a coleta dos dados de temperatura do ar foram utilizados termômetros automáticos com *datalogger* da marca Hobo, modelo UA-001-64, devidamente instalados em abrigos meteorológicos conforme recomendações de Vianna (2020), construído com duas camadas de isopor e um copo de isopor furado internamente, uma tampa de um porta garrafa de isopor de 1 litro, mais uma cobertura feita por um prato de isopor (Figura 2).



**Figura 2.** Locais de instalação dos miniabrigos meteorológicos. Pátio do colégio Stella Matutina, região central (a) e no bairro Previdenciários zona sul (b).

Os dados de temperatura do ar foram coletados no período de dezembro de 2018 a novembro de 2019 sendo utilizados dado do período noturno com intervalos de três em três horas (18h, 21h, 00h, 03h - hora local), entre os dias 15 e 24 de cada mês (10 dias), conforme recomendam Sanches *et al.* (2018).

Os dados ainda foram agrupados segundo as estações do ano: dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) – *verão*; março, abril e maio (MAM) – *outono*; junho, julho e agosto (JJA) – *inverno* e, setembro, outubro e novembro (SON) – *primavera*.

### 3.2 Técnicas de análise

A comparação das diferenças térmicas observadas entre a *área central da cidade* de Juiz de Fora e a *área periférica da cidade*, foi feita por meio do teste *t* de *Student*.

Para Sanches *et al* (2017) por tratar-se de um teste de hipótese, inicialmente assume-se a hipótese de que ambos os conjuntos de dados são, estatisticamente, homogêneos ( $H_0$ ), contra uma hipótese alternativa ( $H_1$ ), na qual os conjuntos de dados mostram-se heterogêneos.

Sendo assim, tem-se que:

$$t = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\sigma \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}} \quad (1)$$

onde

$$\sigma = \sqrt{\frac{N_1 s_1^2 + N_2 s_2^2}{N_1 + N_2 - 2}} \quad (2)$$

e

$$s^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n X_i - \mu)^2}{N - 1} \quad (3)$$

Dessa forma, considera-se que  $\mu_1$  e  $\mu_2$  correspondem às médias das séries utilizadas, que  $N_1$  e  $N_2$  são as amostras analisadas,  $\sigma$  é o desvio padrão entre as séries e  $s_1^2$  e  $s_2^2$  as respectivas variâncias de cada série.

Para o grau de liberdade da distribuição  $t$ , adotou-se que:

$$V = N_1 + N_2 - 2 \quad (4)$$

A partir do resultado da estatística “ $t$ ”, em um nível de confiança de 95% ( $p$ -value: 0,05), deve-se aceitar ou refutar a hipótese  $H_0$  caso seu escore ( $z$ ) estiver entre -2,26 e 2,26 ( $-2,26 \leq z \leq 2,26$ ).

Para esse trabalho, os procedimentos para aplicação estatística do Teste  $t$  de *Student* foram desenvolvidos utilizando-se o *software* Excel (*Microsoft Co.*) e para a elaboração dos gráficos *Box Plot* representativos das séries analisadas utilizou-se o *software* PAST (*HAMMER et al.*, 2001).

Para complementar os estudos do comportamento térmico no ambiente urbano, foi adotado o Modelo de Potencial Térmico (MPT) proposto por Ferreira (2014) para o entorno de ambos os pontos de coleta de dados (*área central da cidade e área periférica da cidade*).



O MPT consiste em um modelo geoespacial desenvolvido em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). O intuito é identificar como as diversas variáveis do ambiente urbano, hierarquizadas, influenciam na temperatura do ar urbano de forma a identificar áreas mais prováveis a formação de ilhas de calor.

Para isso, o modelo incorpora características físicas (clima, topografia, hidrografia, relevo etc.), bióticas (vegetação) e socioeconômicas, as quais apresentam-se como derivados da ação humana na paisagem (edifícios, formas de uso solo, vias de circulação, praças etc.). As pesquisas de Pimentel e Ferreira (2019), Vianna *et al* (2020), Assis *et al* (2021) validaram as respostas dadas pelo MPT em relação a coletas de dados de temperatura do ar urbano.

Para este trabalho foram incorporadas cinco variáveis que geraram cinco mapas básicos: *albedo, emissividade, massa construída, impermeabilidade e vegetação*. A descrição das características das variáveis, de seus valores e pesos adotados seguiram os aplicados no artigo de Vianna *et al* (2020).

O levantamento dos dados foi realizado em escala de mapeamento ao nível do lote dentro da área de origem térmica de 100m em torno dos pontos de coleta.

Os mapas básicos têm seus elementos reclassificados sendo atribuído um determinado peso conforme cada elemento contribui para o aquecimento do ar.

Dessa forma, a classificação varia com pesos entre 1 (um) a 5 (cinco) sendo: (1) *Muito baixo*, (2) *baixo*, (3) *médio*, (4) *alto* e (5) *muito alto* potencial térmico.

Valores mais altos indicam que a variável possui uma grande colaboração no aquecimento do ar ao seu entorno. Valores negativos indicam que esse elemento possui capacidade mitigadora este atribuído as áreas com vegetação.

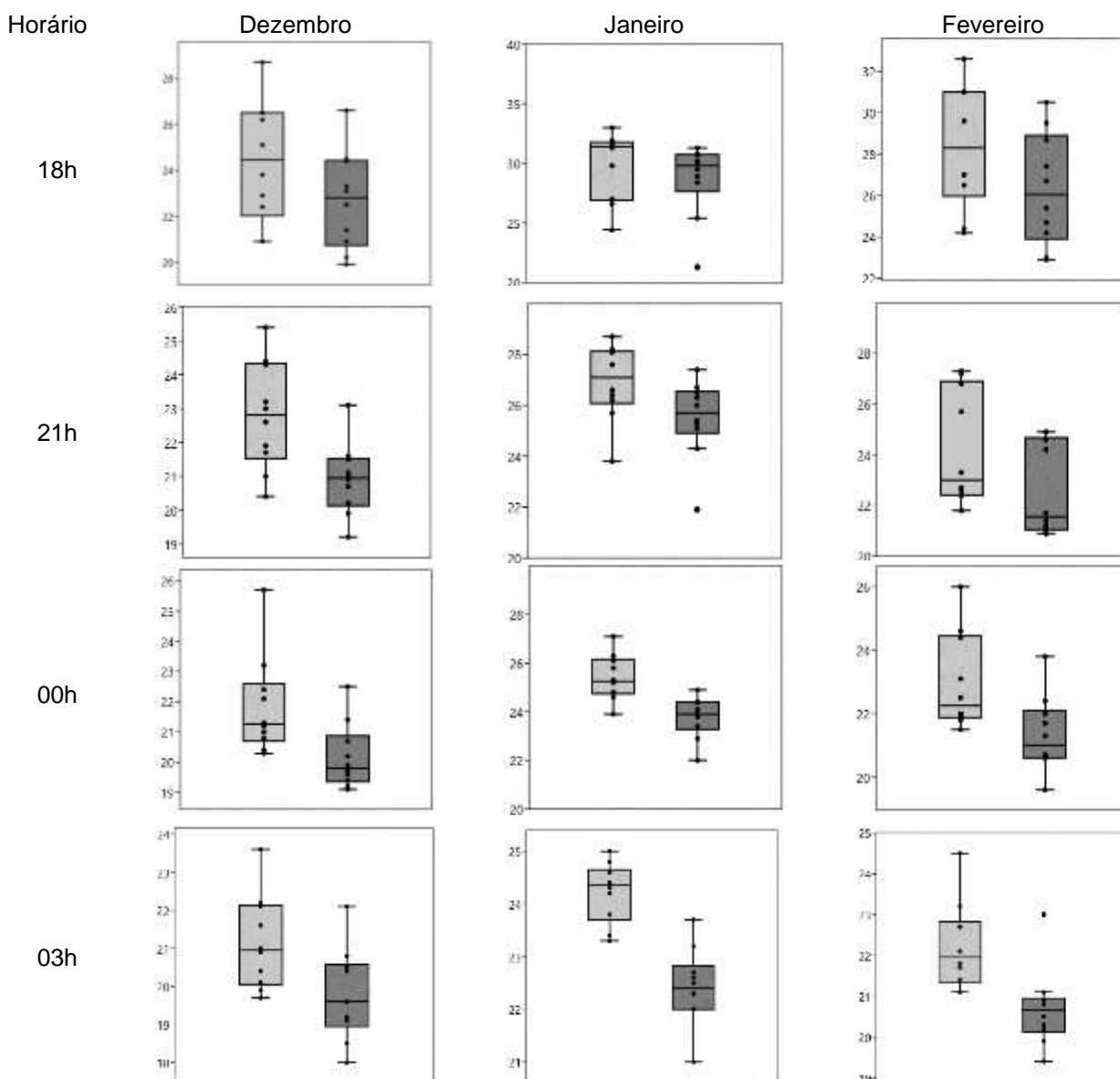
Esses valores são dados de forma hierárquica comparativamente com base na bibliografia da área e suas respostas empíricas coletadas sobre aquela variável e, sua resposta térmica.

O mapa síntese resultante consiste no somatório do conjunto de mapas temáticos reclassificados e de que maneira suas variáveis contribuem para o comportamento da temperatura do ar no ponto analisado.

#### 4. Resultados e Discussão

A organização dos dados de acordo com as estações do ano – verão (DJF), outono (MAM), inverno (JJA) e primavera (SON) – permitiu analisar seu comportamento em função da atuação do fotoperíodo e dos sistemas atmosféricos atuantes.

Na Figura 3 mostra a comparação dos dados de temperatura do ar noturna para os meses do verão. É possível observar que em todos os meses da estação e em todos os horários de coleta, os dados referentes a *área periférica da cidade* (cinza escuro) apresentaram valores inferiores aos observados na *área central da cidade*.



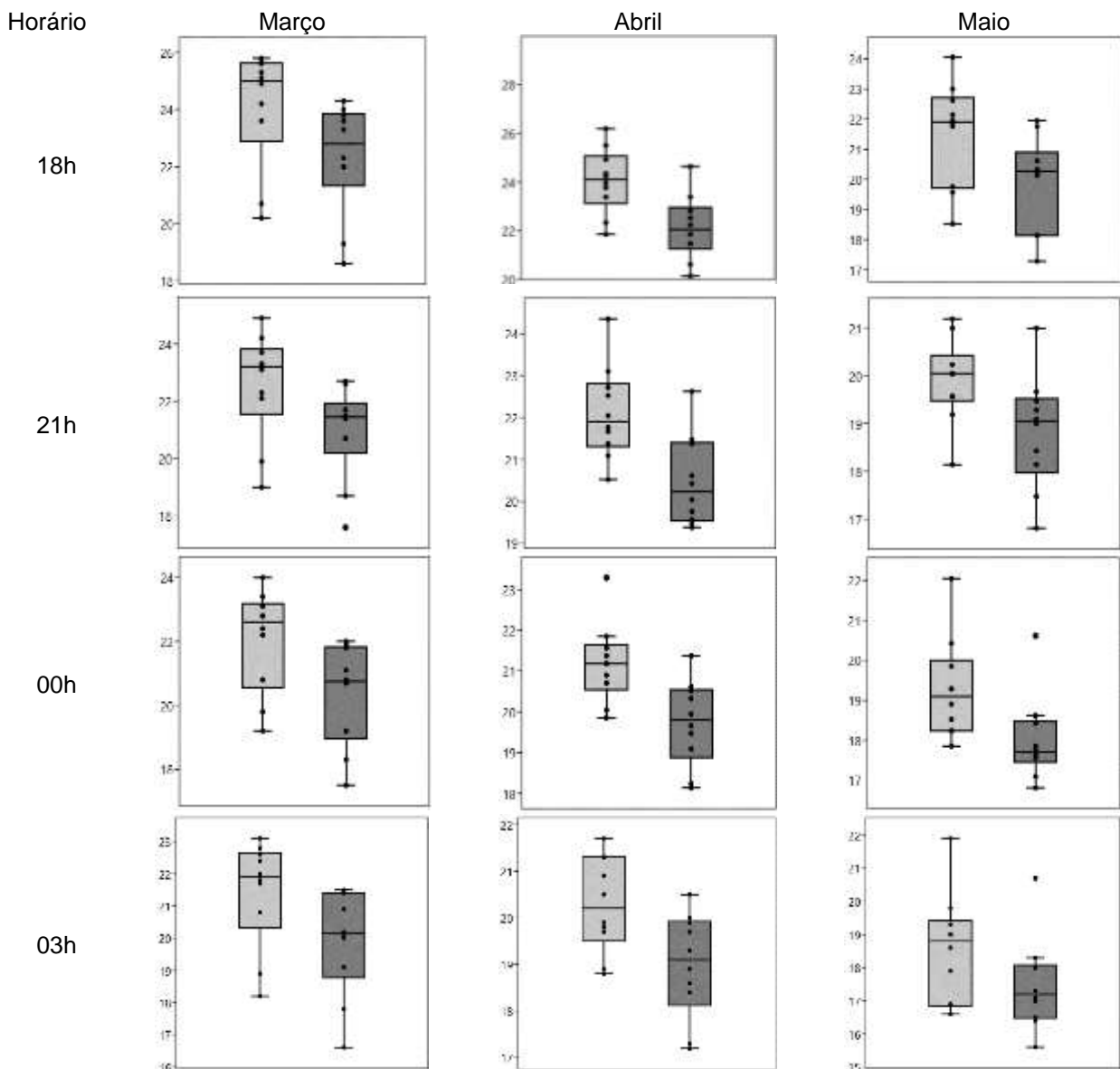
**Figura 3.** Comparação da temperatura do ar nos horários noturnos, nos meses de verão: *área central da cidade* (cinza claro) e *área periférica da cidade* (cinza escuro).

Nessa estação (DJF) foram registrados elevados valores de temperatura do ar. Como nos meses de verão o fotoperíodo é mais longo, o tempo de exposição da superfície e dos materiais construtivos a radiação solar é maior. No entanto, devido à climatologia das chuvas (*clima tropical*), episódios diários de forte convecção, bem como a atuação de ZCAS arrefecem as superfícies urbanas e, conseqüentemente, diminuem as temperaturas (CARVALHO e JONES, 2009; REBOITA *et al.*, 2010).

No entanto, mesmo com a participação dos sistemas atmosféricos responsáveis pelas chuvas, os gráficos da Figura 3 demonstram que a *área central da cidade* apresentou um conjunto de temperaturas do ar superiores aos da *área periférica da cidade* em todos os horários de coleta de dados.

No mês de dezembro, as maiores diferenças (1,8°C) foram observadas às 21h; em janeiro (2,0°C), na madrugada (03h) e em fevereiro, as maiores diferenças foram observadas (2,2°C) as 18h.

Já as temperaturas dos meses do outono (MAM) podem ser observadas na Figura 4.



**Figura 4.** Comparação da temperatura do ar nos horários noturnos, nos meses de outono: *área central da cidade* (cinza claro) e *área periférica da cidade* (cinza escuro).

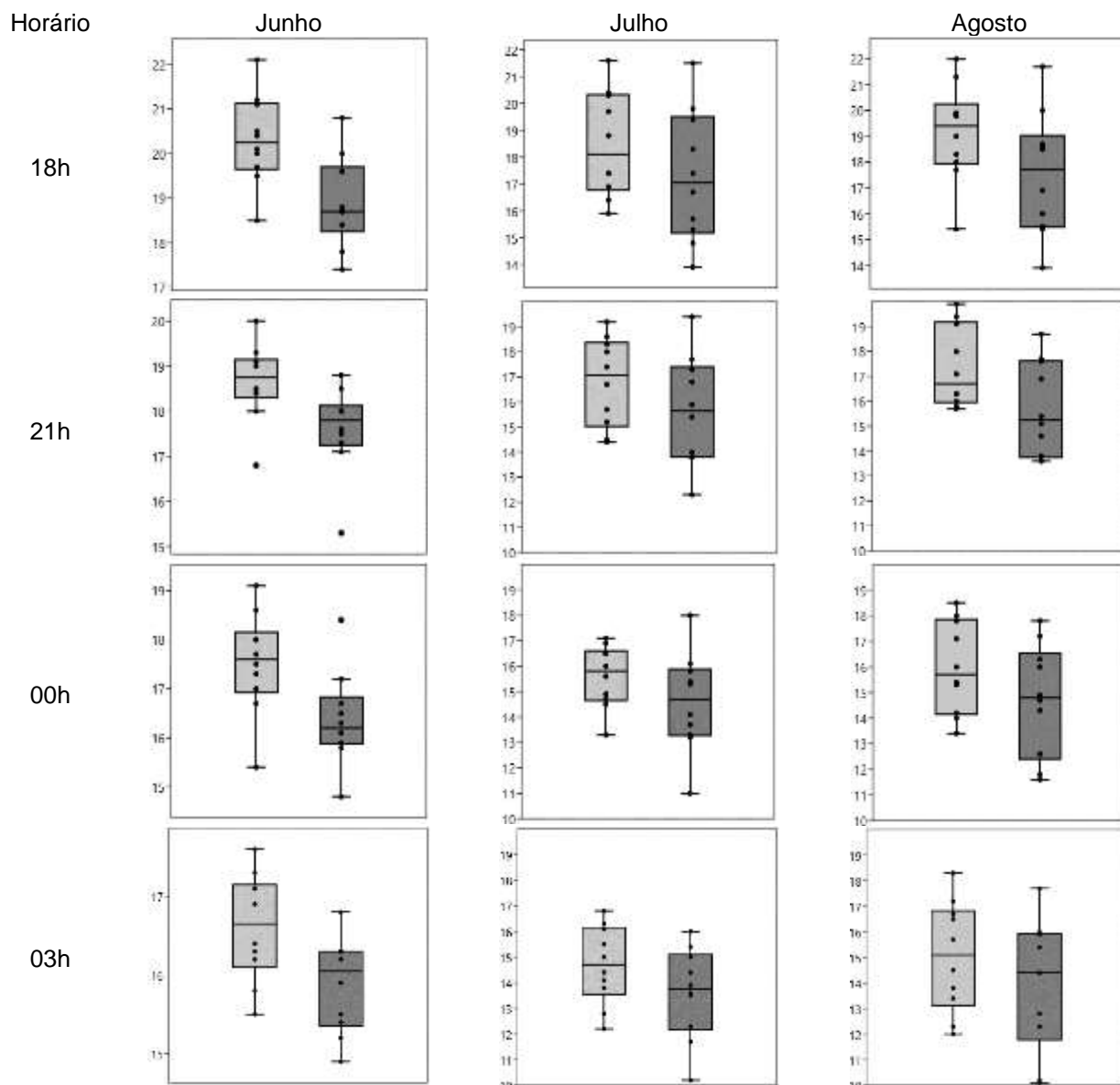
No outono – *estação sazonal transitória do verão para o inverno* -, as condições climáticas regionais se destacam pela redução da ação de sistemas atmosféricos quentes e úmidos, estes responsáveis pelas chuvas intensas e volumosas e, por um maior período de incursões de sistemas polares.

Após a passagem das Frentes Frias, a instalação do Anticiclone Migratório Polar promove condições de tempo atmosférico com manhãs frias e tardes quentes, graças as propriedades físicas do ar (seco) e do aquecimento do ar pela superfície – aquecimento basal. Essas condições sinóticas

associadas às características da superfície, promovem na maior parte dos dias da estação do outono intensa amplitude térmica.

Novamente, a análise dos gráficos da Figura 5 reforçam que a *área central da cidade* apresenta temperaturas 1,6°C mais elevadas do que as da *área periférica da cidade*. Tais diferenças entre as áreas central e periférica da cidade podem ser explicadas pelas características da superfície e das edificações no entorno dos pontos de coleta de dados.

A Figura 5 apresenta gráficos das temperaturas do ar para os meses de inverno (JJA).

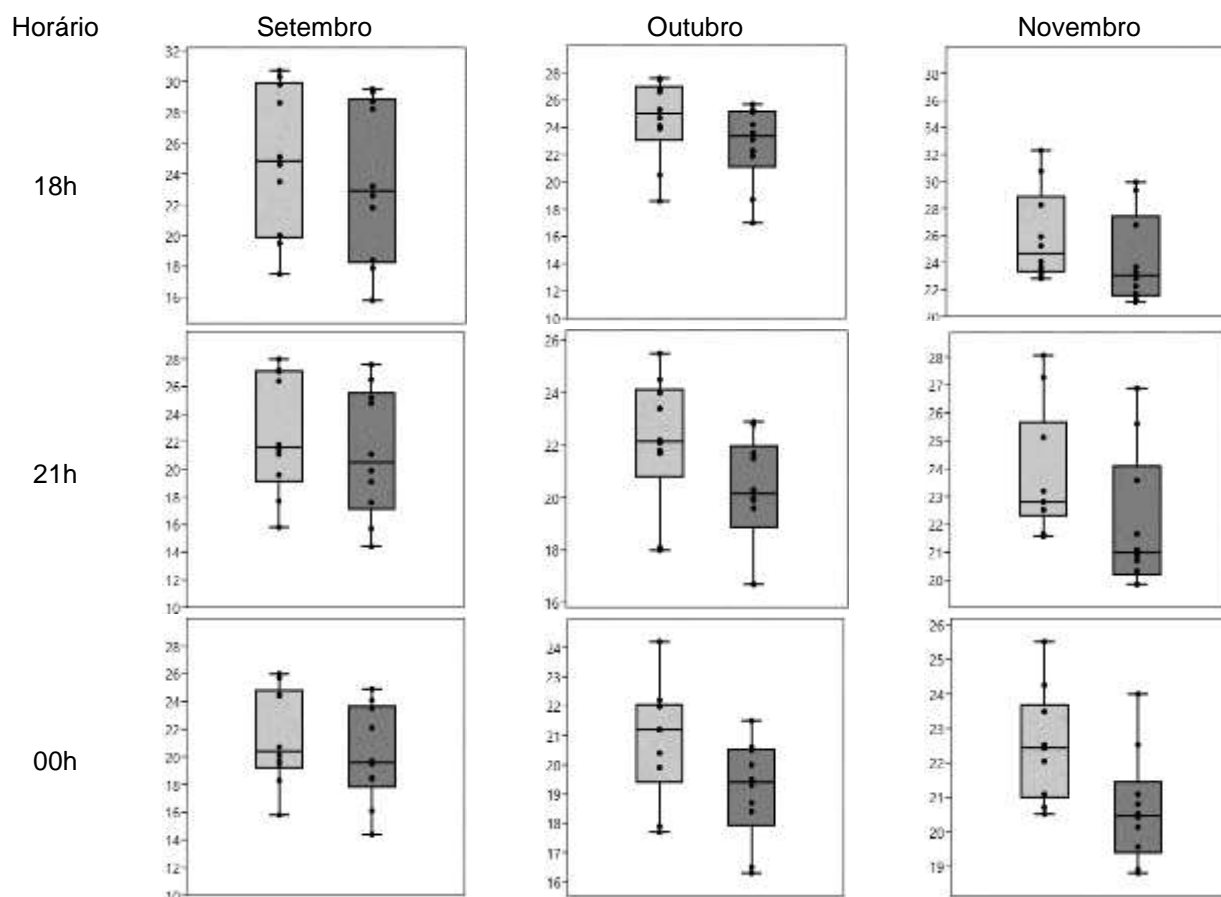


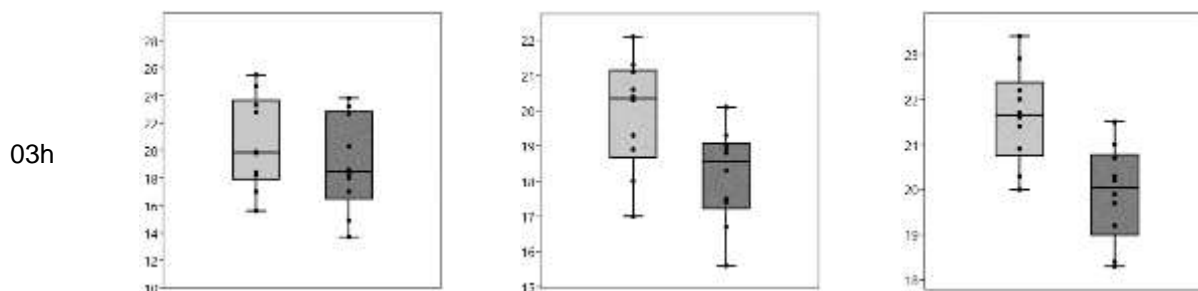
**Figura 5.** Comparação da temperatura do ar nos horários noturnos, nos meses de inverno: *área central da cidade* (cinza claro) e *área periférica da cidade* (cinza escuro).

Com um fotoperíodo menor, e conseqüentemente menor tempo de exposição à radiação solar, o inverno registra as menores temperaturas do ar. Tal condição decorre da atuação do Anticiclone Polar após a passagem das Frentes Frias (BORSATO, 2016; OLIVEIRA *et al.*, 2020), bem como na dinâmica do ASAS também provocando estabilidade atmosférica, porém com um aquecimento diurno mais representativo, o que normalmente desencadeia maiores episódios de ilha de calor.

Assim como observado nas estações anteriores, a *área central da cidade* registrou as maiores temperaturas do ar em comparação a *área periférica da cidade* em todos os horários analisados (Figura 5). Dessa forma, sob condições de estabilidade atmosférica, as diferenças térmicas observadas podem estar associadas às características da superfície e das edificações no entorno dos pontos de coleta.

Por fim, a Figura 6 mostra a distribuição das temperaturas do ar nos meses da primavera – setembro, outubro e novembro (SON).





**Figura 6.** Comparação da temperatura do ar nos horários noturnos, nos meses de primavera: *área central da cidade* (cinza claro) e *área periférica da cidade* (cinza escuro).

Durante a primavera (SON) os sistemas atmosféricos quentes e úmidos, que outrora estiveram preferencialmente posicionados em latitudes mais baixas, retornam para latitudes tropicais e subtropicais (REBOITA *et al.*, 2012). Tais condições são responsáveis pelas principais características da tropicalidade regional: o aumento das temperaturas e o retorno da estação chuvosa (REBOITA *et al.*, 2012).

Esse aumento nas temperaturas do ar pode ser observado nos gráficos da Figura 6. Nos meses de SON foram registrados os valores mais elevados da série com temperaturas do ar (noturno) em torno dos 30°C no mês de setembro.

Assim como ocorre nos meses de outono (MAM), a temperatura do ar oscila entre 16°C e 30°C, além da elevada amplitude térmica diária como característica da estação.

Como observado nas estações anteriores, o comportamento das temperaturas do ar na *área central da cidade* mostrou-se superior aos da temperatura da *área periférica da cidade*, outra possível evidência da ação das características da superfície e dos materiais construtivos na temperatura do ar.

Os resultados da comparação entre os dados de temperatura do ar da *área central* e da *área periférica* da cidade por meio do Teste *t* de *Student* estão descritos na Tabela 1.

Como o Teste *t* de *Student* considera, inicialmente, que ambos os conjuntos de dados seja homogêneos (hipótese  $H_0$ ), caso o resultado da estatística (*score z*) esteja fora do intervalo de aceitação (valor crítico:  $-2,26 \leq z \leq 2,26$ ), a hipótese  $H_0$  deverá ser rejeitada em favor de uma hipótese alternativa ( $H_1$ ), ou seja, de que ambos os conjuntos de dados sejam heterogêneos.

**Tabela 1.** Escores (z) da estatística de *Student* para comparação dos horários e meses analisados.

	18h	21h	00h	03h
<b>Dez</b>	7,79	9,27	8,49	18,74
<b>Jan</b>	2,91	5,38	7,58	10,27
<b>Fev</b>	11,79	10,14	10,50	13,13

<b>Mar</b>	10,90	15,62	17,87	19,04
<b>Abr</b>	11,40	12,17	14,09	8,43
<b>Mai</b>	11,93	5,85	7,43	5,47
<b>Jun</b>	8,82	4,62	5,18	4,20
<b>Jul</b>	6,08	5,45	3,50	4,45
<b>Ago</b>	5,64	9,19	6,38	3,97
<b>Set</b>	8,75	6,69	6,62	6,83
<b>Out</b>	15,78	15,41	13,72	17,36
<b>Nov</b>	13,52	9,23	21,57	10,72

Nível de Confiança de 95%. Valor crítico:  $-2,26 \leq z \leq 2,26$ .

Os resultados dos scores z (Tabela 1) para todos os meses em todos os horários confirmam as informações observadas nos gráficos comparativos das temperaturas do ar entre *área central da cidade* e *área periférica da cidade*. Todos os resultados confirmam a significância estatística para as diferenças entre ambos os conjuntos de dados.

Na parte superior da Figura 7 observam-se os mapas de cada variável individualizada reclassificada segundo potencial térmico para ambos os pontos analisados. Nela estão representadas as cinco variáveis utilizadas na composição do MPT: *albedo*, *emissividade*, *massa construída*, *vegetação* e *impermeabilidade*, as quais buscam representar as superfícies urbanas em três dimensões.



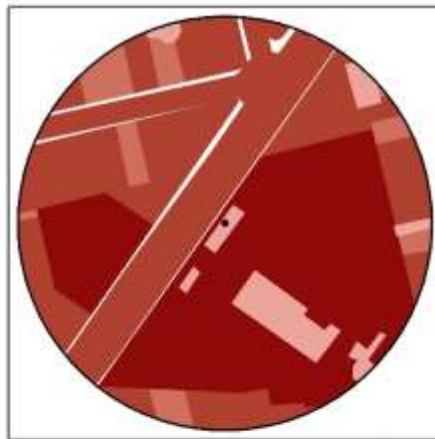
### ÁREA CENTRAL



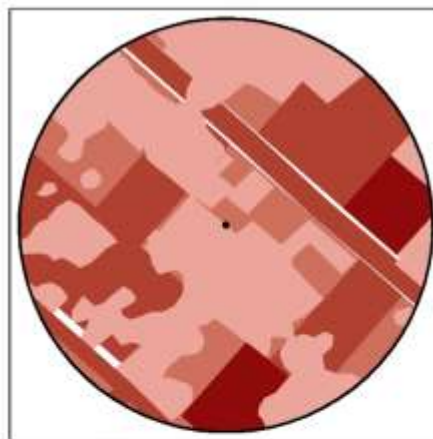
### ÁREA PERIFÉRICA



### ÁREA CENTRAL



### ÁREA PERIFÉRICA



#### Legenda

- Pontos
- Raio 100m

#### Potencial de Aquecimento Térmico

- Muito Baixo
- Baixo
- Médio
- Alto
- Muito Alto

#### Potencial de Resfriamento

- Alto
- Médio
- Nulo



Projeção Universal Transversa de Mercator  
Datum: Sirgas 2000 23S

Fonte: P.J.F. Loteamento de Juiz de Fora, 2007.

Figura 7. Mapa síntese do Modelo de Potencial Térmico e variáveis utilizadas.

Os dois primeiros mapas (parte superior da Figura 7) são do *albedo* e *emissividade* de todas as superfícies urbanas, incluindo os telhados das edificações, as vias de circulação e vegetação urbana.

Como propõe a metodologia adotada, superfícies com menor albedo são mais quentes e, portanto, com maior potencial de aquecimento. Por isso, as vias asfaltadas se destacam no mapa (cor vinho) indicando potencial *muito alto* de aquecimento.

O mapa de *massa construída* representa somente as edificações no entorno. Edificações maiores possuem mais massa construída e devido as propriedades físicas da alvenaria utilizada, armazenam maior quantidade de calor em sua constituição. Por isso, edifícios com grande número de pavimentos figuram com cores mais fortes/escuras.

Já o mapa de *vegetação e de impermeabilização* também são reclassificados com base no potencial de aquecimento. Contudo para melhor entendimento e ilustração dos elementos de *vegetação, massa construída, impermeabilização, albedo e emissividade* inserimos, nesse caso, os mapas básicos de origem, os quais mostram apenas os elementos urbanos antes da reclassificação quanto ao seu potencial de aquecimento<sup>1</sup>.

Na parte inferior da Figura 7 temos então os mapas síntese das áreas de estudo.

Na *área central da cidade*, devido ao maior número de edificações, edificações com grande número de pavimentos e escassa cobertura vegetal, observa-se o predomínio de classes de *alto* e *muito alto* potencial de aquecimento.

Já na *área periférica da cidade*, graças a uma ocupação do solo com lotes maiores, predomínio de casas com apenas um pavimento e muitas áreas vegetadas no entorno, predominam as classes *baixo* e *muito baixo* potencial de aquecimento, refletindo a maior permeabilidade do solo, maior número de áreas vegetadas e edificações.

É possível, assim, quantificar o Potencial de Aquecimento Total (PAT) da área fazendo o somatório do número do total de *pixels* multiplicado pelo valor de potencial de aquecimento. A partir desse processo, constata-se que o entorno do **ponto A** (*área central da cidade*) tem um potencial de aquecimento até 64% maior do que o entorno do **ponto B** (*área periférica da cidade*), portanto muito suscetível a desenvolver uma anomalia térmica positiva forte.

---

<sup>1</sup> Na geração do mapa final o mesmo também é reclassificado e fica com cores em escalas da cor rosa ao vinho. E o mapa de vegetação recebe os valores negativos conforme definido em Vianna et al (2020)

## 5. Considerações Finais

Apesar de não haver um consenso na literatura sobre qual diferença de temperatura pode-se atestar a existência da ilha de calor urbana (FIALHO, 2012), as séries trabalhadas permitiram constatar um padrão sólido de comportamento termal. Nesse padrão, o recorte da *área central da cidade* de Juiz de Fora apresentou na totalidade dos meses analisados, temperaturas do ar noturnas superiores ao das temperaturas observadas na *área periférica da cidade*.

Tal constatação foi possível a partir dos resultados estatísticos significativos obtidos a partir do teste *t* de *Student*, o qual considerou que em todos os períodos analisados as séries demonstraram-se heterogêneas. Os dados revelaram que a *área central da cidade* se apresentou em média entre 1,1°C e 1,8°C superiores aos dados da *área periférica da cidade* nos meses de primavera e verão, respectivamente.

Cabe destacar que houve uma diferença de temperatura do ar entre o centro e a periferia em todo o período do ano, o que nos remete a necessidade de rever o padrão de urbanização da cidade, principalmente com relação ao centro, que possui uma alta densidade demográfica, e portanto, quanto mais quente, conseqüentemente maior desconforto térmico, maiores gastos energéticos com a ambiência interna das áreas construídas, maior stress térmico aos sujeitos que habitam, circulam e trabalham na região.

Já os resultados da aplicação do Modelo de Potencial Térmico indicaram que a *área central da cidade* apresentou um potencial de aquecimento 64% superior a *área periférica da cidade*. Tal condição pode ser associada ao conjunto de fatores que caracterizam o uso e a ocupação da superfície no entorno (materiais construtivos, ocupação espacial, baixa cobertura vegetal e demais características do ambiente construído).

Sob a perspectiva da problemática em que o clima urbano está inserido e seus efeitos para a sociedade, investigar o comportamento das variáveis climáticas no ambiente urbano possibilita obter informações de modo a pensar e sugerir ações normativas e política públicas para a mitigação e adaptação dos efeitos decorrentes das transformações urbanas.

Nesse sentido, as diferenças térmicas observadas no presente trabalho apresentam-se como um alerta para um possível agravamento dessas condições frente aos efeitos das mudanças climáticas - aumento médio das temperaturas globais, ocorrências de eventos pluviométricos extremos, ondas de calor, ampliação do período seco etc. – sobre um ambiente construído em constante transformação.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à direção do Colégio Stella Matutina, de Juiz de Fora, por ceder o espaço para a instalação dos equipamentos utilizados nesta pesquisa.

## Referências

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROKEV, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, 711–728, 2013. Disponível em: < [https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen\\_s\\_climate\\_classification\\_map\\_for\\_Brazil](https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil) > Acesso em: 10 fev. 2021.
- ALVES, E.D.L. Ilha de calor urbana em cidade de pequeno porte e a influência de variáveis geourbanas. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 13, v.20, 2017. Disponível em: < <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/13956> > Acesso em: 01 mar. 2021.
- ANDRADE, A.R.; POTTKER, G.S.; OLIVEIRA FILHO, P.C.; MACHADO, A.L.F. Influence of land use on urban climate of a small town. **Acta Scientiarum Technology**. v.35. n.2. 2013. p.349-361. Disponível em: < [https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/13703/pdf\\_1](https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/13703/pdf_1) > Acesso em 22 de mai. 2022.
- ASSIS, D.C.; FERREIRA, C.C.M. Zoneamento térmico e suas correlações associadas aos padrões de uso e ocupação da terra da região urbana, centro em Juiz de Fora - MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.22, p. 554-573, 2018. Disponível em: < <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14054> > Acesso em 10 out. 2022.
- ASSIS, D.C.; FERREIRA, C.C.M. Conforto térmico associado às variáveis de regiões urbanas na porção sudoeste, nordeste e centro de Juiz de Fora-MG. In: FERREIRA, C.C.M.; FIALHO, E.S.; OLIVEIRA, T.A (orgs). **Experimentos em Climatologia Geográfica**. Juiz de Fora: Editora UFJF, 2021. Disponível em: <[https://www2.ufjf.br/editora/wp-content/uploads/sites/113/2021/12/FERREIRA\\_9786589512325-1.pdf](https://www2.ufjf.br/editora/wp-content/uploads/sites/113/2021/12/FERREIRA_9786589512325-1.pdf)> Acesso em 02 de mai. 2022.
- BORSATO, V. **A dinâmica climática do Brasil e massas de ares**. Curitiba-PR:CRV, 2016.
- CARVALHO, L.M.V.; JONES, C. Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; DA SILVA, M.G.A.J.; SILVA DIAS, M.A.F. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.
- FERREIRA, C.C.M. Modelo para análise das variáveis de cobertura da terra e a identificação de microclimas, em centros urbanos. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 10, v.14, 2014. Disponível em: < <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/13765> > Acesso em: 20 ago.2022.
- FERREIRA, C.C.M.; BATISTA, G.M.F; VIANNA, Y.C.G. Variações ou tendências climáticas: um estudo com as séries de temperatura do ar para a cidade de Juiz de Fora-MG. **Revista de Ciências Humanas, Viçosa**, v. 15, n. 2, p. 414-433, jul./dez. 2015. Disponível em: < <https://periodicos.ufv.br/RCH/article/view/3096> > Acesso em: 11 jun. 2021.
- FERREIRA, C.C.M.; PIMENTEL, F.O.; VIANNA, Y.C.G. Proposta Metodológica Aplicada ao Estudo de Clima Urbano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.l.], v. 12, n. 6, p. 2023-2040, dez. 2019. ISSN 1984-2295. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge/article/view/240228>>. Acesso em: 12 ago. 2022.
- FIALHO, E. S. Ilhas de calor: reflexões acerca de um conceito. **ACTA Geográfica**, Boa Vista, Ed. Esp. Climatologia Geográfica, p.61-76, 2012. Disponível em: < <https://revista.ufr.br/index.php/actageo/article/view/1094> > Acesso em: 23 mai. 2021.
- GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

HAMMER, Ø. HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica** 4(1): 2001. 9pp.

MARTINS, F.B.; GONZAGA, G.; SANTOS, D.F.dos; REBOITA, M.S. Classificação Climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: Cenário atual e projeções Futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, p. 129-156, 2018. Disponível em: < <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14064>> Acesso em: 24 abr. 2022.

MONTEIRO, C.A.F. **Teoria e Clima Urbano**. Tese (Livre Docência em Geografia) — Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 1976. 181p.

MONTEIRO, C.A.F.; MENDONÇA, F.A. **Clima Urbano**. 2ed. São Paulo: Contexto, 2011.

NETO, J. L. S.; RAMPAZZO, C. R. Geoindicadores urbanos para o estudo dos processos termodinâmicos do clima das cidades de pequeno e médio porte. In: NETO, J.L.S.; AMORIM, M.C.de C.T.; SILVA, C.A. (Org). **Clima e gestão do território**. Jundiaí, Paco Editorial, cap. 1, p. 07-32, 2016.

OLIVEIRA, D.E; ASSIS, D.C.; ALVES, R.A.; PIMENTEL, F.O; FERREIRA, C.C.M. Presence of Buildings and their Influence on Patterns of Urban Microclimates, a Case Study in the City of Juiz de Fora, Southeast Brazil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, p. 470-488, 2019a. Disponível em:< <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/issue/view/2748>> Acesso em 13 de mar. 2022.

OLIVEIRA, T.A.; TAVARES, C.M.G.; SANCHES, F.; FERREIRA, C.C.M. Variabilidade pluviométrica no município de Juiz de Fora-MG no período de 1910-2018: investigação a partir da técnica do box plot. **Revista Brasileira de Climatologia**, vol. 26, 2020. Disponível em: < <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14221>> Acesso em: 30 mar. 2022.

OKE, T.R. **Boundary Layer Climates**. Second Edition Routledge, London: Mathuem & CO, 1987.

PIMENTEL, F.O.; FERREIRA, C.C.M. Clima Urbano: O uso de modelos geoespaciais na investigação do comportamento térmico em Juiz de Fora-MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 24, p. 49-66, 2019. Disponível em:< <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14116>> Acesso em: 27 mai. 2022.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/yhrG5QPXhBCKZxcGKgyzWvf/?lang=pt&format=pdf>> Acesso em: 15 dez. 2021.

REBOITA, M.S.; KRUSCHE, N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R.P. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **TERRÆ DIDÁTICA** 8(1):34-50, 2012. Disponível em: < <https://www.ige.unicamp.br/terraendidatica/v8-1/pdf81/s3.pdf>> Acesso em 10 de jan. 2022.

REBOITA, M. S.; RODRIGUES, M.; SILVA, L. F.; ALVES, M. A. Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, V. 17, Ano 11, p. 206-226, 2015. Disponível em: < <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/13853>> Acesso em: 10 jan. 2022.

SANCHES, F.O.; FERRAZZO, S.; SILVA, R.V.; CHECHI, L.; FERREIRA, R.V. Influence of the hydroelectric power plant of Passo Fundo lake (RS, Brazil) on local rainfall pattern. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 20, p. 299-312, 2017. Disponível em: < <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/13981>> Acesso em 02 fev. 2022.

SANCHES, F.; SANTOS, E.F.; FERREIRA, R.V; FIRMINO, G.V.; ALVES, M.O. Contribuição ao estudo do clima urbano em Uberaba (MG). **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 14, Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais, 2018. Disponível em: < <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14062>> Acesso em 02 fev. 2022.

VIANNA, Y.C.G.; PIMENTEL, F.O.; FERREIRA, C.C.M. Modelagem e identificação de campos térmicos em Ubá-MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 26, p. 1-28, 2020. Disponível em:< <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/rbclima/article/view/14197>> Acesso em 13 de mar. 2022.