



ISSN: 2447-3359

REVISTA DE GEOCIÊNCIAS DO NORDESTE

Northeast Geosciences Journal

v. 10, nº 2 (2024)

<https://doi.org/10.21680/2447-3359.2024v10n2ID34269>



Índices de conforto térmico aplicado à cidade de São João de Pirabas, Nordeste Paraense

Thermal comfort index applied to the city São João de Pirabas, Northeastern Pará

Augusto Gabriel da Costa Pereira¹; Raimundo Vítor Santos Pereira²; Reinaldo Matheus Reis Ribeiro³; Sindy Samantha de Sousa Almeida⁴; Willie Nelson Farias do Nascimento⁵; José Danilo da Costa Souza Filho⁶; Hernani José Brazão Rodrigues⁷; João Batista Miranda Ribeiro⁸; Dênis José Cardoso Gomes⁹; Bergson Cavalcanti de Moraes¹⁰; João de Athaydes Silva Junior¹¹;

- ¹ Universidade Federal do Pará, Faculdade de Meteorologia, Belém/PA, Brasil. Email: costapereira620@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3188-9741>
- ² Universidade Federal do Pará, Faculdade de Meteorologia, Belém/PA, Brasil. Email: vitorspereira2010@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3745-1617>
- ³ Universidade Federal do Pará, Faculdade de Meteorologia, Belém/PA, Brasil. Email: mribeiroreis2001@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5778-4350>
- ⁴ Universidade Federal do Pará, Faculdade de Meteorologia, Belém/PA, Brasil. Email: sindyalmeida8@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2116-9756>
- ⁵ Universidade Federal do Pará, Faculdade de Meteorologia, Belém/PA, Brasil. Email: willienelsonfarias@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1053-018X>
- ⁶ Universidade Federal do Pará, Faculdade de Meteorologia, Belém/PA, Brasil. Email: danilofilho@ufpa.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0384-9750>
- ⁷ Universidade Federal do Pará, Faculdade de Meteorologia, Belém/PA, Brasil. Email: hernani@ufpa.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5509-6287>
- ⁸ Universidade Federal do Pará, Faculdade de Meteorologia, Belém/PA, Brasil. Email: jbmnr@ufpa.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6484-1402>
- ⁹ Universidade do Estado do Pará, Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém/PA, Brasil. Email: deniss.feg@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6441-6783>
- ¹⁰ Universidade Federal do Pará, Faculdade de Meteorologia, Belém/PA, Brasil. Email: bergson@ufpa.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6441-6783>
- ¹¹ Universidade Federal do Pará, Faculdade de Meteorologia, Belém/PA, Brasil. Email: athaydes@ufpa.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7012-4381>

Resumo: A grande concentração de pessoas em zonas urbanas em uma região tropical (quente e úmida) é uma das problemáticas recorrentes quando se trata de conforto térmico. O objetivo deste estudo foi analisar o conforto térmico do município de São João de Pirabas-PA. Os dados meteorológicos (temperatura do ar e umidade relativa do ar) foram coletados usando 3 microloggers modelo HOBO U10, programados para realizar os registros a cada 30 minutos, no período das 08 às 18 horas. Foram instalados no interior de abrigos adequados, a fim de protegê-los de interferências externas. A coleta dos dados ocorreu nos dias 20 a 22 de junho de 2023, de forma simultânea em locais pré-definidos, levando em consideração a cobertura da superfície. Nesta pesquisa foram utilizados os: Índice de Calor (IC), Índice de Temperatura Efetiva (ITE) e o Índice de Desconforto Térmico (IDT). Nas médias diárias da temperatura do ar, dos três locais expostos anteriormente, ficaram em torno 30,4 °C; 28,1 °C; 30,2 °C, enquanto a umidade relativa variou entre 69%; 83%; 70%. O IC apontou pouca variação temporal, o ITE e IDT mostraram diferenças entre o ponto 1 (desconforto) comparado aos demais. A cidade precisa de medidas para melhorar o conforto térmico.

Palavras-chave: Variáveis meteorológicas; Calor; Litoral Paraense.

Abstract: The large concentration of people in urban areas in a tropical region (hot and humid) is one of the recurring problems when it comes to thermal comfort. The objective of this study was to analyze the thermal comfort of the municipality of São João de Pirabas-PA. Meteorological data (air temperature and relative humidity) were collected using 3 HOBO U10 model microloggers, programmed to record every 30 minutes, from 8 am to 6 pm. They were installed inside suitable shelters in order to protect them from external interference. Data collection took place from June 20 to 22, 2023, simultaneously in predefined locations, taking into account surface coverage. In this research, the following were used: Heat Index (HI), Effective Temperature Index (ETI) and Thermal Discomfort Index (TDI). The daily air temperature averages, from the three previously exposed locations, were around 30.4 °C; 28.1 °C; 30.2 °C, while the relative humidity varied between 69%; 83%; 70%. The HI showed little temporal variation, the ETI and TDI showed differences between point 1 (discomfort) compared to the others. The city needs measures to improve thermal comfort.

Keywords: Meteorological variables; Heat; Paraense coast.

Recebido: 11/10/2023; Aceito: 20/03/2024; Publicado: 24/09/2024.

1. Introdução

Atualmente, cerca de 55 % da população mundial reside em áreas urbanas, sendo previsto que essa proporção aumente para 68 % até o ano de 2050 (ONU, 2018). Diante desse cenário, compreender e aprimorar o conforto térmico nas áreas urbanas se torna um objetivo essencial em diversos campos científicos, especialmente na meteorologia, na qual desempenha um papel fundamental nesse domínio de estudo. Conforme indicado no estudo de Shu et al. (2022), há uma clara evidência de que o corpo humano é significativamente afetado pela temperatura e umidade, pois esses elementos estão intrinsecamente ligados à troca de calor e umidade entre o corpo e o ambiente externo. Nesse contexto, o uso e a cobertura do solo desempenham um papel crucial no conforto térmico, influenciando diretamente e indiretamente as condições de tempo e clima (Fernandes; Masiero, 2020; Shu et al., 2022). Esses fatores também têm impacto em outros aspectos, como a agricultura e a urbanização (Rahimi; Nobar, 2023). No Brasil, observaram-se um aumento nos casos de ondas de calor nas últimas cinco décadas, especialmente nas regiões nordeste e sudeste, bem como nos biomas Amazônia e pantanal (Libonati et al., 2022). Estudos conduzidos por Bitencourt et al. (2016; 2020) têm evidenciado essa tendência, enquanto evidências mostram que as ondas de calor estão cada vez mais associadas a períodos de seca nessas regiões. Deste modo, é necessário buscar medidas para se compreender tal problemática e tomar medidas assertivas visando mitigar os impactos do desconforto térmico.

A avaliação *in loco* é de suma importância devido à sua capacidade de fornecer observações reais das condições ambientais. Além disso, a avaliação por meio de índices desempenha um papel crucial ao fornecer a caracterização e os parâmetros relacionados às condições ambientais (Santos Júnior et al., 2016). Estudos de campo, como o de Krüger et al. (2018), que avaliaram as condições ambientais de conforto e desconforto utilizando o índice de Temperatura Fisiologicamente Equivalente (*Physiological Equivalent Temperature* - PET) e aplicaram questionários, são de grande relevância para essa temática. A utilização do Índice de Desconforto Térmico (IDT) criado por Thom (1959) envolve a análise do impacto das variáveis meteorológicas, tais como temperatura do ar e umidade relativa, no conforto térmico humano. Esse índice classifica diferentes categorias de desconforto, permitindo determinar o nível de desconforto das pessoas. Além disso, a teoria do conforto adaptativo, mencionada por Din et al. (2014), pode ser aplicada para avaliar o conforto térmico em diferentes ambientes. O IDT é amplamente avaliado em diversos estudos como em Dasari et al. (2021) e Santos et al. (2023). Em diversos estudos, são empregados múltiplos índices com o propósito de comparar e obter uma visão abrangente das condições ambientais. A avaliação conjunta do Índice de Temperatura Efetiva (ITE) e do Índice de Calor (IC), conforme realizado por Moreira et al. (2023) ao aplicar esses dois índices na Amazônia Oriental, pode ser considerada como uma abordagem promissora. Esses índices, conforme relatado por Silva Júnior et al. (2012a) e Costa et al. (2013), podem ser considerados indicadores robustos para avaliar as trocas térmicas na região amazônica.

Estudos sobre conforto térmico na Amazônia e especialmente no estado do Pará (Barbosa et al. 2015) têm sido realizados para avaliar o conforto térmico, utilizando métricas como IC. Entre esses estudos, destaca-se a pesquisa realizada por Silva Junior et al. (2012b), que investigou *in loco* as condições de conforto térmico na cidade de Belém, a capital paraense, utilizando o IC como parâmetro de avaliação. Além disso, Silva Junior et al. (2012a) também conduziram um estudo *in loco* avaliando as condições ambientais por meio do ITE e IC. No entanto, são escassos os estudos associados ao IDT no estado do Pará, especialmente em abordagens *in loco*. Vale ressaltar o estudo de Mandú et al. (2021), que avaliou de forma interanual o IDT em uma localidade a oeste do Pará. Nessa perspectiva, é crucial realizar estudos sobre as condições ambientais de conforto térmico em diversas localidades do Pará, incluindo áreas específicas do nordeste do estado. Portanto, o objetivo deste estudo de caso foi investigar a aplicação prática de equações e índices de conforto térmico, ressaltando a importância dos estudos *in loco* para compreender as condições ambientais de forma mais precisa. Ao fornecer uma análise aprofundada das condições de conforto térmico em um município sobre o nordeste paraense, São João de Pirabas, este estudo busca contribuir para o desenvolvimento de estratégias e intervenções que promovam ambientes mais saudáveis e adaptáveis às necessidades da população.

2. Metodologia

O município de São João de Pirabas está localizado em uma região tropical na porção Nordeste do Pará (Figura 1) e exerce um papel importante no extrativismo de pescados, tendo uma extensão territorial de 668,4 km² com cerca de 20.647 pessoas (Brito et al., 2015; IBGE, 2019).

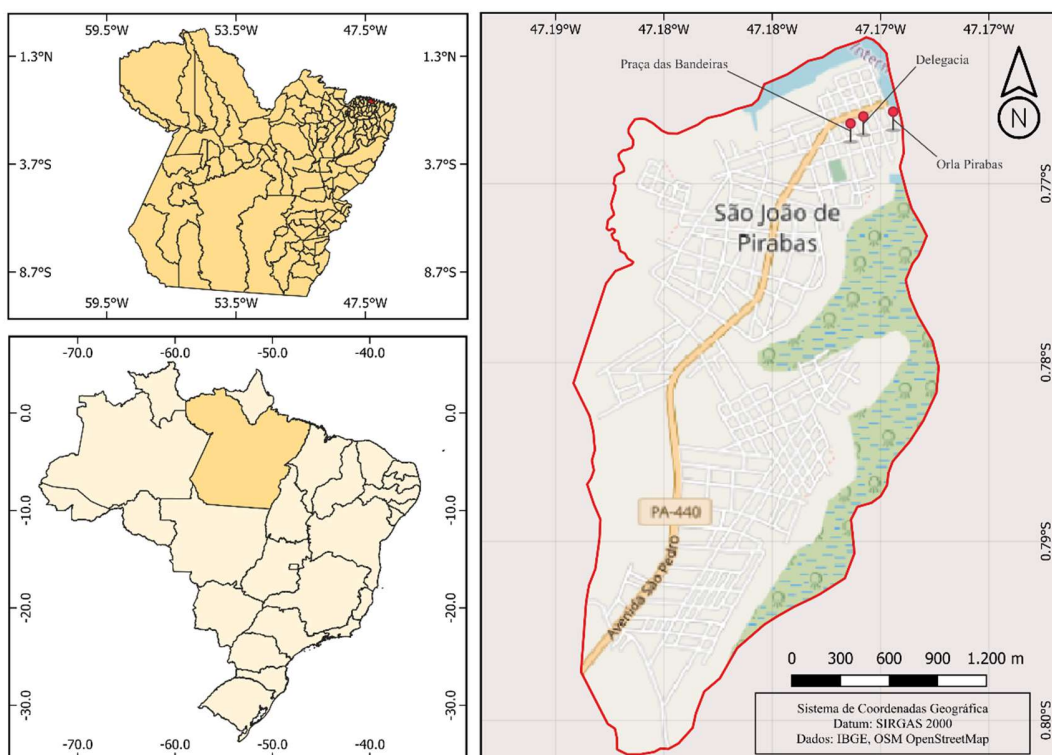


Figura 1 – Localização da área de estudo e dos pontos de coleta de dados: São João de Pirabas.
Fonte: Autores (2023).

2.1 Climatologia

O clima da cidade de São João de Pirabas é caracterizado como quente e úmido, onde o regime de precipitação é bem definido, com altos volumes de precipitação marcando o período chuvoso entre dezembro a maio (solstício de verão e o equinócio de outono), assim como o período menos chuvoso no qual há uma redução na precipitação entre junho a novembro (Figura 2). Vale destacar a atuação de fenômenos meteorológicos causadores de precipitação, que atuam sobre o setor, com: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) e o Distúrbio Ondulatório de Leste (DOL); estes sistemas são caracterizados como sinóticos que regem a precipitação e a temperatura local (Reboita et al., 2010; Reboita et al., 2017; Neves; Alcântara; Souza, 2016; Teodoro; Reboita; Escobar, 2019; Lyra; Arraut, 2020; Liu et al., 2022).

Além disso, pelo local de estudo situar-se em uma região litorânea, há sistemas associados a efeitos locais que contribuem para o regime de chuva, como as Linhas de Instabilidade (LI) e o Sistema Convectivo de Mesoescala Circular (SCMC) classificados como fenômenos de mesoescala (Sodré et al., 2015; Sátyro, 2021).

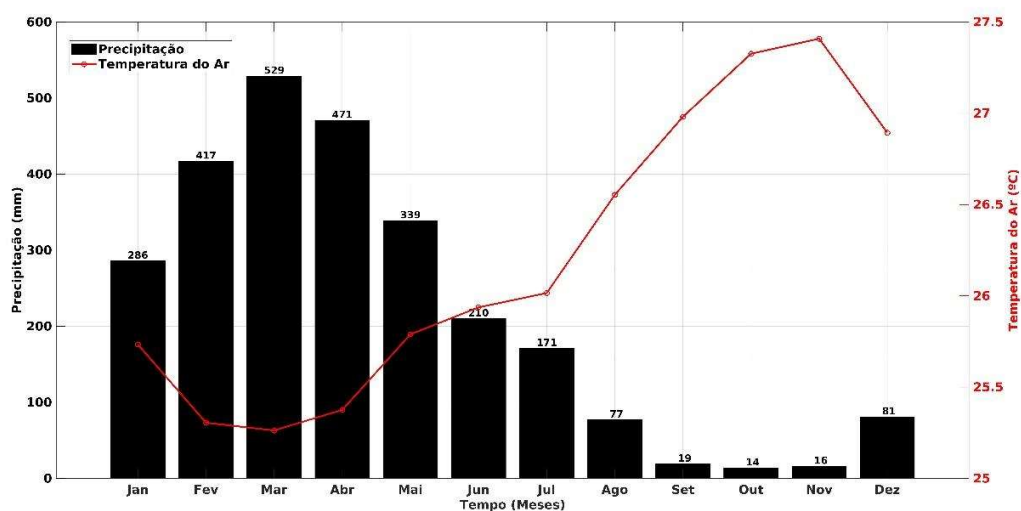


Figura 2 – Variabilidade mensal pluviométrica (1981-2020) e da temperatura do ar (1991-2020): município de São João de Pirabas (PA).

Fonte: Adaptado do CHIRPS (2023).

2.2 Dados

Os dados meteorológicos foram coletados usando 03 microloggers modelo HOBO U10, da Onset, em que são aparelhos cuja finalidade é mensurar e registrar a temperatura e umidade relativa do ar, bem como foram programados para realizar os registros a cada 30 minutos, no período das 08 às 18 horas. Instalados no interior de abrigos adequados, a fim de protegê-los da incidência direta de radiação solar e possibilitando a ventilação apropriada.

As localizações dos pontos de coleta de dados são mostradas na Figura 3. A coleta dos dados ocorreu nos dias 20 a 22 de junho de 2023, de forma simultânea em locais pré-definidos no centro da cidade e adjacências, das 08 às 18h, levando em consideração as características de uso e cobertura da superfície (Santos Júnior et al., 2016).

Os pontos de coletas possuem características distintas espacialmente, principalmente na componente geográfica (Figura 3). O primeiro local, a orla, concentra-se mais a leste da cidade e apresenta uma área mais aberta, com entrada de ventos oriundo do oceano, presença de áreas verdes e de superfície asfaltada a cimentada. Em seguida, o segundo local de coleta foi a Delegacia de São João de Pirabas, localizada na área mais urbanizada e com presença de barreiras físicas que interferem na circulação do ar de forma mais direta, além de possuir uma grande concentração de área asfaltada; e por fim, o terceiro ponto foi na região mais central da cidade, a Praça das Bandeiras onde a taxa de áreas verde é superior aos demais locais, porém tem circulação moderada de veículos e pessoas durante o dia.

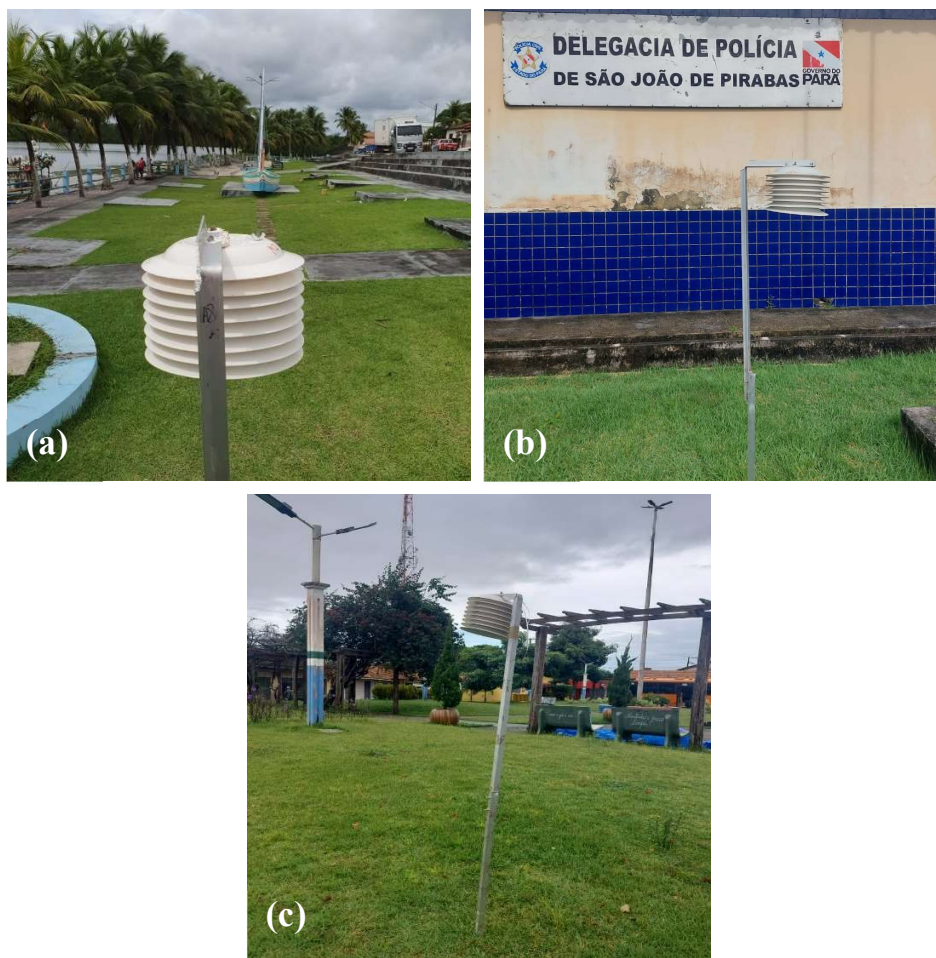


Figura 3 – Pontos de coletas de dados em São João de Pirabas, destacando-se as disposições geográficas dos locais: a Ponto 1 - Orla (a), Ponto 2 - Delegacia de Polícia (b) e a Ponto 3 - Praça das Bandeiras (c).
Fonte: Autores (2023).

2.3 Índices de Conforto Térmico

Os índices de conforto térmico surgiram no século XX, durante a Revolução Industrial, onde houve a necessidade de melhorias no rendimento e eficiência do trabalho. Assim, desenvolveram alguns índices a fim de determinar a atuação de variáveis meteorológicas como a temperatura e umidade do ar sobre o rendimento físico dos trabalhadores (Silva Júnior et al., 2013).

De acordo com Batiz et al. (2009), o conforto térmico está relacionado à busca intuitiva do sentir-se bem natural do homem. Além de estar diretamente ligado ao processo cognitivo atrelado a processos físicos, fisiológicos, psicológicos etc. Nesta pesquisa foram utilizados três índices para avaliação e comparação da sua aplicabilidade à região, sendo eles: Índice de Calor (IC), Índice de Temperatura Efetiva (ITE) e o Índice de Desconforto Térmico (IDT). O IC é uma vertente do índice *humidex* desenvolvido em 1978 por George Winterling e adaptado por Steadman, em 1979. O IC associa valores de temperatura e umidade relativa do ar para determinar a temperatura aparente, de modo a representar a sensação térmica do organismo (NOAA, 2023).

Para realizar o cálculo, aplicou-se a metodologia de Steadman (1979), cujo índice é função da temperatura máxima e umidade relativa do ar, de acordo com a Equação 1:

$$IC = -42,379 + 2,04901523 * T + 10,14333127 * UR - 0,22475541 * T * UR - 0,00683783 * T^2 - 0,05481717 * UR^2 + 0,00122874 * T^2 * UR + 0,0085282 * T * UR^2 - 0,00000199 * T^2 * UR^2 \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

IC – Índice de Calor (°C)

T – Temperatura Máxima do ar (°C)

UR – Umidade Relativa do ar (%)

Desta forma, os resultados gerados através do cálculo estão dispostos na Tabela 1, juntamente com os limiares e as consequências associadas aos valores obtidos.

Tabela 1 – Limiares de alerta baseado no Índice de Calor (IC) e suas consequências para o organismo humano.

Classificação	Índice de Calor	Efeitos no Corpo
Ausência de alerta	IC < 27°C	---
Cuidado	27,1 °C – 32 °C	Fadiga possível com exposição prolongada e/ou atividade física
Cuidado Extremo	32,1 °C – 41 °C	Insolação, câibras de calor ou exaustão por calor são possíveis com exposição prolongada e/ou atividade física
Perigo	41,1 °C – 54 °C	Câibras de calor ou exaustão por calor são prováveis, e insolação é possível com exposição prolongada e/ou atividade física
Perigo Extremo	> 54 °C	Insolação altamente provável.

Fonte: Autores (2023).

Para o ITE utilizou-se a metodologia de Thom (1959), conforma a Equação 2:

$$ITE = 0,4 * (T_{ar} + T_w) + 4,8 \quad \text{Eq. 2}$$

Onde:

ITE – Índice de Temperatura Efetiva (°C)

T_{ar} – Temperatura do ar (°C)

T_w – Temperatura do Bulbo Úmido (°C)

O ITE (Tabela 2) é um índice muito utilizado para fins de caracterização dos efeitos da temperatura e umidade no conforto térmico (Silva Júnior et al., 2012a). Além disso, possui ótima aplicabilidade em locais cujos dados climatológicos são escassos (Buriol et al., 2014).

Tabela 2 – Limiares conforto baseado no Índice de Temperatura Efetiva (ITE).

Índice de Temperatura Efetiva	Limiares de conforto
35,0 °C – 40,0 °C	Muito desconfortável
28,0 °C – 34,9 °C	Desconfortável
26,0 °C – 27,9 °C	Ligeiramente desconfortável
23,0 °C – 25,9 °C	Confortável
20,0 °C – 22,9 °C	Ligeiramente confortável

Fonte: Adaptado de Silva Júnior (2012).

Em relação ao IDT, este também utiliza a relação entre temperatura e umidade relativa do ar aplicadas na Equação 3:

$$IDT = T - (0,55 - 0,0055 * UR) * (T - 14,5) \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

IDT – Índice de Desconforto Térmico

T – Temperatura do ar (°C)

UR – Umidade Relativa do Ar (%)

O IDT foi, inicialmente, desenvolvido por Thorn (1959) cujos limiares foram adequados para a região tropical, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Classificações baseadas no Índice de Desconforto Térmico (IDT).

Índice de Desconforto Térmico	Nível de Desconforto Térmico
IDT < 24 °C	Confortável
24 °C – 26 °C	Parcialmente Confortável
26 °C – 28 °C	Desconfortável
IDT > 28 °C	Muito desconfortável

Fonte: Adaptado de Santos (2018).

3. Resultados e discussão

A Figura 4 apresenta a variabilidade da temperatura (4a) e umidade relativa do ar (4b) nos dias 20 a 22 de junho de 2023, coletados: Ponto 1 (Delegacia), Ponto 2 (Orla) e Ponto 3 (Praça). As coletas que ocorreram durante 10 horas, das 08h00 às 18h00 e foi possível observar o desempenho das variáveis de acordo com as condições atmosféricas ocorridas no período.

Nas médias diárias da temperatura do ar, dos três locais expostos anteriormente, ficaram em torno 30,4 °C; 28,1 °C; 30,2 °C, enquanto a umidade relativa variou entre 69%; 83%; 70%. Os mínimos registrados em ambas as variáveis ocorreram no início do dia, quando começaram as leituras, e as máximas por volta das 12 horas e 14 horas. Vale ressaltar, que as variabilidades observadas entre esses três locais ocorreram de forma bem distintas, devido às configurações geográficas, como as disposições espaciais e as configurações do uso e cobertura do solo.

As condições meteorológicas dominantes neste período corroboraram para os padrões observados ao longo da série, principalmente durante os dois últimos dias de observações. É possível notar que durante o início e o final da tarde do dia 21/07, houve uma redução drástica nos valores observados de temperatura e um aumento acentuado da umidade relativa, em decorrência da aproximação de sistema meteorológico precipitante na área do estudo, associados ao aquecimento diferencial da superfície e fenômenos de mesoescala, como LI, acarretando a precipitação intensa de curta duração, com um acumulado pluviométrico de 48 mm.

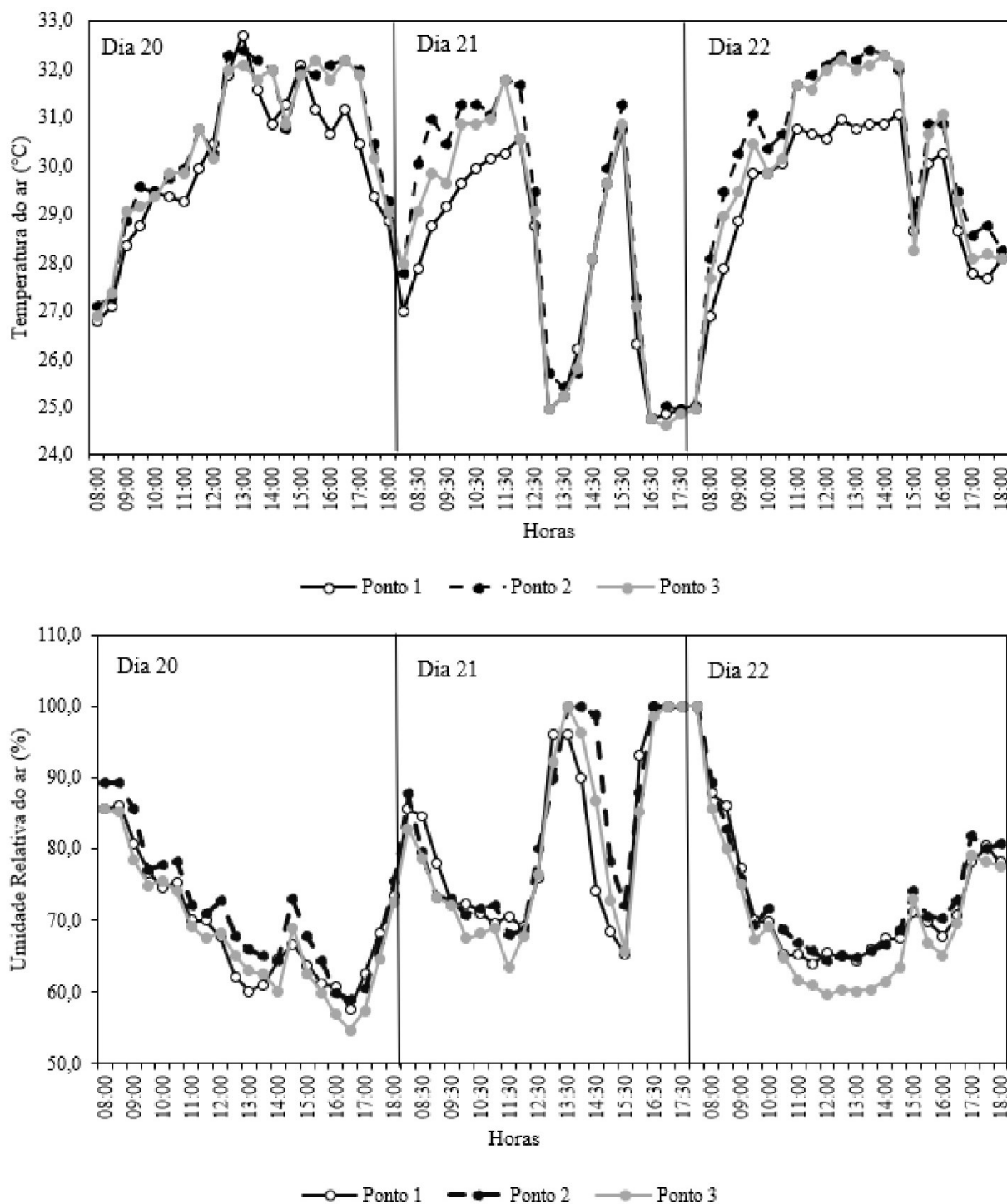


Figura 4 – Variabilidade da temperatura (a) e umidade relativa do ar (b), durante os dias 20, 21 e 22 de junho de 2023, em três locais distintos na cidade de São João de Pirabas. * Ponto 1 (Delegacia), Ponto 2 (Orla) e Ponto 3 (Praça).
Fonte: Autores (2023)

3.1 Índices de conforto térmico

Na Figura 5, observa-se a variação do IC durante os dias 20 a 22 de junho de 2023, para os três pontos de medições propostos para a pesquisa. Identificou-se um comportamento semelhante nos pontos de medições, obtendo pouca variação durante o período diurno de um local para o outro. Analisou-se que os valores do IC começam a elevar a partir das 12h, conforme a radiação solar se intensifica, influenciando no conforto térmico da cidade. Para os dias das medições nota-se que grande parte do resultado se encontra na faixa de “muito cuidado”, com o IC variando entre 32°C a 41°C. Os dias 20 e 22 obtiveram os picos máximos chegando na faixa de “perigo”. Para o dia 21, foram registrados picos mínimos de IC entre o período analisado, obtendo faixas de IC, como: Atenção e ausência de alerta.

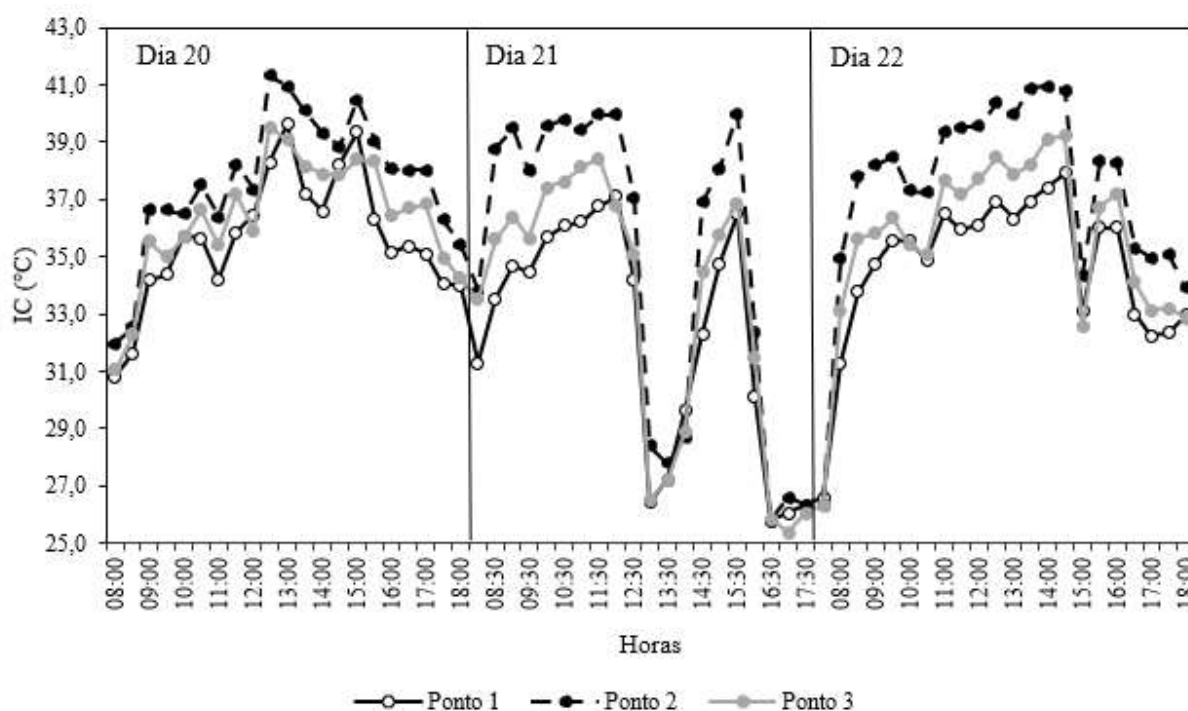


Figura 5 – Variabilidade do índice de calor (IC), durante os dias 20, 21 e 22 de junho de 2023, em três locais distintos na cidade de São João de Pirabas. As cores no gráfico representam: azul (ausência de atenção), amarelo (cuidado), laranja (cuidado extremo), e vermelho (perigo). * Ponto 1 (Delegacia), Ponto 2 (Orla) e Ponto 3 (Praça).

Fonte: Autores (2023).

A Figura 6 apresenta-se o ITE, o índice analisado mostrou que o início da manhã e fim de tarde no ponto 2 e ponto 3, apresentaram um limiar confortável, principalmente o dia 22 em que a maior parte do período da tarde o ITE decaiu gradativamente em torno de 3°C. No ponto 3, a maior parte do período diurno, o ITE resultou na faixa “ligeiramente desconfortável” (exceto às 14:00h do dia 22 em que o limiar foi confortável). O índice mostrou que no ponto 1 em sua grande parte apresenta faixas, como: ligeiramente desconfortável, e obtendo faixas de “desconfortável”, indicando uma intensificação do ITE justamente no ponto 1, nesse ponto de medição os valores de ITE variam entre aproximadamente 24,4°C e 28°C.

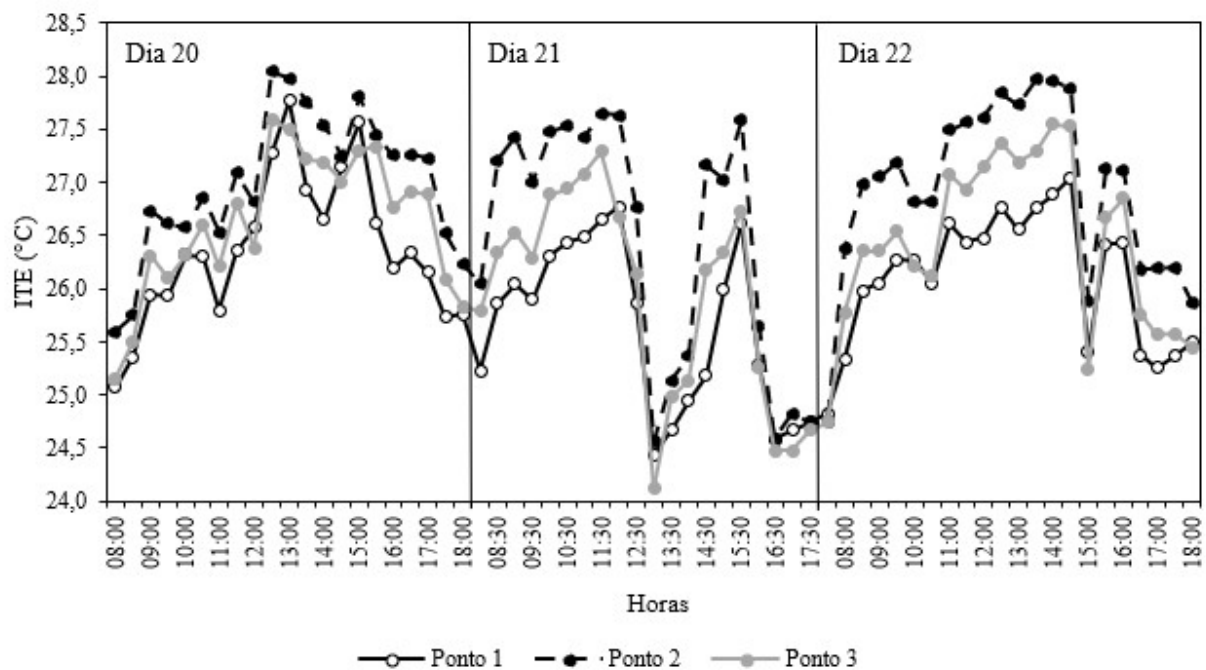


Figura 6 – Variabilidade do índice de temperatura efetiva (ITE), durante os dias 20, 21 e 22 de junho de 2023, em três locais distintos na cidade de São João de Pirabas. As cores no gráfico representam: azul (confortável), amarelo (ligeiramente desconfortável), e laranja (desconfortável). * Ponto 1 (Delegacia), Ponto 2 (Orla) e Ponto 3 (Praça).
Fonte: Autores (2023).

Na Figura 7 nota-se o IDT, no ponto 1 revela valores mais altos do índice em comparação aos demais locais, indicando um maior desconforto térmico, os valores de IDT variam entre aproximadamente 24,7°C e 29,1°C ao longo do período de medição, indicando faixas de desconfortável e muito desconfortável, observado em todos os dias de medição deste estudo. No ponto 3, as condições indicam a faixa desconfortável ou superior em alguns intervalos. Os valores de IDT variam entre aproximadamente 24,4°C e 28,6°C ao longo do período de medição. No ponto 2, os valores do IDT são mais baixos, sinalizando um maior conforto térmico, apesar de que grande parte desse resultado se encontra na faixa de desconforto.

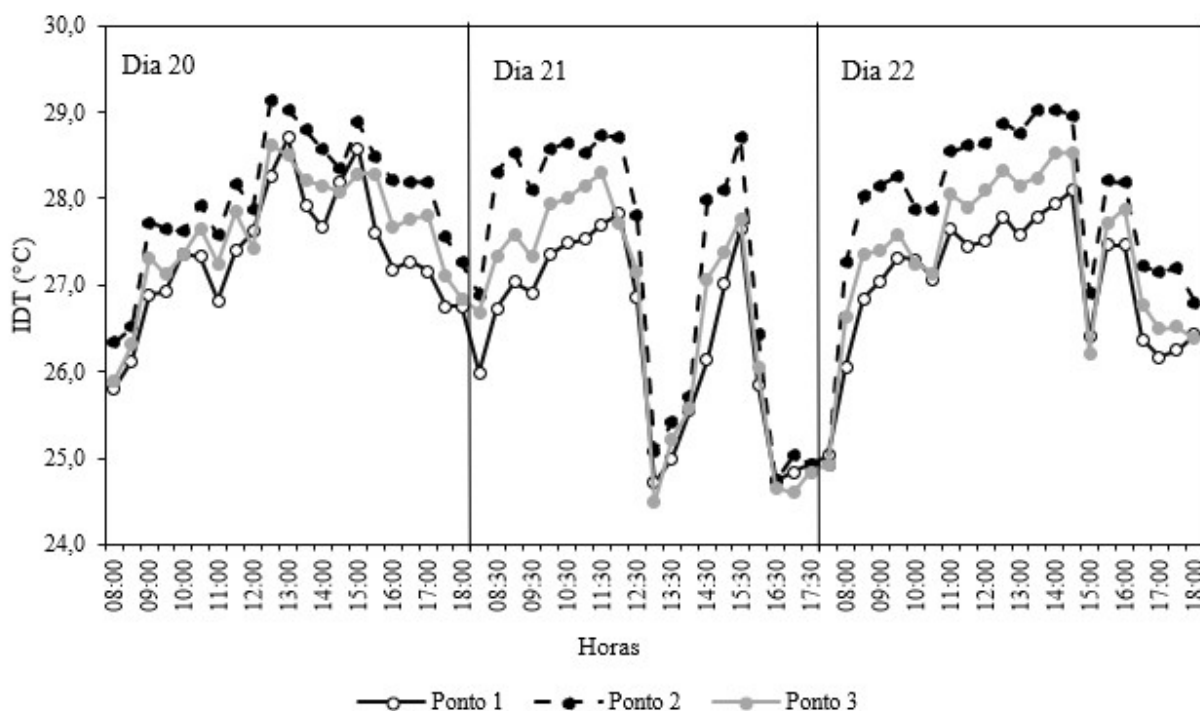


Figura 7 – Variabilidade do índice de desconforto térmico (IDT), durante os dias 20, 21 e 22 de junho de 2023, em três locais distintos na cidade de São João de Pirabas. As cores no gráfico representam: Amarelo (parcialmente confortável), laranja (desconfortável), e vermelho (muito desconfortável). * Ponto 1 (Delegacia), Ponto 2 (Orla) e Ponto 3 (Praça).

Fonte: Autores (2023).

Conforme os resultados, é notável que os índices de conforto térmico (IC, ITE, IDT), possuem uma variação similar de acordo com os dias analisados, inclusive se obtém uma oscilação semelhante. Entre os pontos estudados, o nível crítico de acordo com os índices são o ponto 1, ponto 2 e ponto 3, respectivamente. Ao redor do ponto 1 as características locais influenciam diretamente nos resultados obtidos, sendo eles: presença de muros e asfaltos, baixa circulação de pessoas e área gramada com baixa arborização. Dessa forma, essas características locais resultam em menor dispersão de calor e sombreamento e menos resfriamento proporcionado pela evapotranspiração das plantas, além das construções locais armazenar e reter calor. Isso contribui para o aumento da temperatura e, conseqüentemente, influencia negativamente no resultado do cálculo dos índices de conforto térmico. Além disso, é o local em que a presença de muros e asfaltos é mais nítida, o que significa baixo albedo, ou seja, refletem pouco a radiação solar, aumentando ainda mais a sensação de desconforto térmico, mesmo em momentos em que foi registrado precipitação.

O ponto 3 é o local em que há mais arborização dentre os outros dois locais e com mais circulação de pessoas, de forma que a circulação de pessoas e veículos resultem em maior dispersão de calor gerado pelas atividades humanas e pela mobilidade urbana. De modo que, o calor não fique acumulado na área, diminuindo a temperatura do local e influenciando positivamente os resultados no cálculo dos índices de conforto térmico, favorecendo um microclima mais agradável em relação a delegacia.

No ponto 2, a presença de grama e árvores favorece o resfriamento por meio da sombra e evapotranspiração presente, contribuindo para uma sensação térmica mais agradável. Mas o fator principal que fez com que o ponto 2 fosse o local com um dos menores limiares de conforto térmico foi sua proximidade ao rio, pois o albedo da água é relativamente mais alto, o que significa maior refletividade de radiação solar, reduzindo o aquecimento do ambiente. Além disso, a presença de água favorece a evaporação e a formação de brisas marítimas, quando o ar mais fresco e denso sobre o oceano se desloca à costa, contribuindo para o resfriamento e melhor sensação térmica (Germano et al., 2016). A refrigeração natural (através da evaporação) e o fluxo de ar mais laminar em relação aos outros dois pontos de medição ventilação

(ventos predominantes locais são de nordeste) através da brisa resultante da circulação do ar da diferença de temperatura entre a água e o ambiente ao redor, contribuindo para o resfriamento e melhor sensação térmica.

3.2 Correlação entre variáveis

A temperatura e umidade relativa do ar são variáveis meteorológicas inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a temperatura do ar menor será a umidade relativa do ar, uma vez que o ar se torna mais seco e isto diminui a quantidade de água na atmosfera. Assim, a correlação entre essas variáveis meteorológicas é negativa e significativa como é mostrado na Figura 8 para os pontos 1, 2 e 3. A relação dessas variáveis com os índices de conforto térmico segue basicamente o mesmo padrão, em que, para a temperatura do ar, há uma correlação forte e positiva, de forma que quando há o aumento de temperatura do ar, os valores dos índices retornam proporcionalmente em limiares desconfortáveis ou muito desconfortáveis. Para o ponto 1 e o ponto 2, o ITE mostra uma correlação negativa para a umidade do ar mais fraca, em relação ao ponto 3 que é mais próxima de -1.

A correlação entre os índices mostra-se de forma significativa e positiva, e seus valores tendem a variar em conjunto, sugerindo que os três índices estão sendo capturados de forma consistente e concordante a percepção do conforto térmico em relação às condições ambientais.

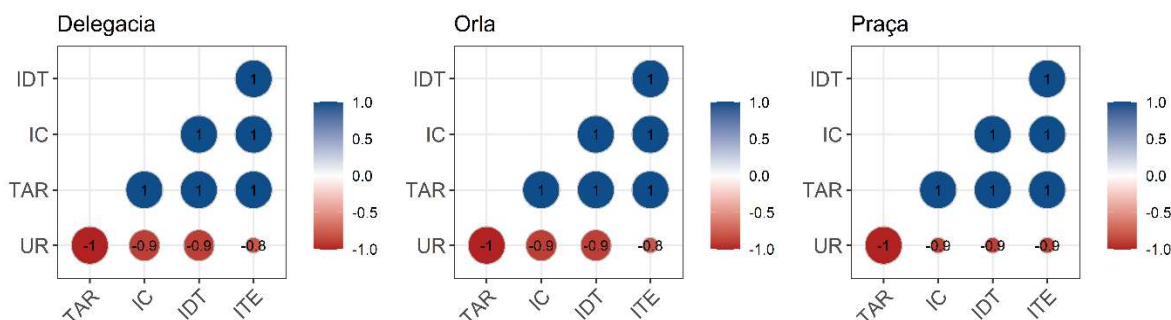


Figura 8 – Matriz de correlação entre as variáveis meteorológica (TAR, UR) e índices de conforto térmico (IC, ITE, IDT), durante os dias 20, 21 e 22 de junho de 2023, em três locais distintos na cidade de São João de Pirabas. * Ponto 1 (Delegacia), Ponto 2 (Orla) e Ponto 3 (Praça).

Fonte: Autores (2023).

4. Considerações finais

Com base nos índices de conforto térmico, pode-se averiguar que a cidade de São João de Pirabas apresentou em sua grande parte condições desfavoráveis ao conforto térmico, sendo as faixas de desconforto térmico muito mais presente durante o período diurno na cidade, exceto com período de chuvas, devido maiores intensidades de ventos e umidade relativa do ar. O índice de calor mostrou valores bem elevados, o que é bem prejudicial à saúde humana, conforme os limiares apresentados na tabela por esse índice. Além disso, é importante notar que o estudo foi feito em região tropical, durante o período menos chuvoso, o que indica maior desconforto térmico.

Diante desses índices de conforto térmico, é importante que a população de São João de Pirabas esteja ciente dos desafios impostos pelo clima local e adote medidas como maior arborização em áreas de escassez de cobertura vegetal, para garantir seu bem-estar durante períodos de calor intenso. Também há estratégias como o uso de roupas leves e respiráveis, a procura por ambientes climatizados ou com boa ventilação e a ingestão adequada de líquidos são essenciais para minimizar os efeitos do desconforto térmico e manter uma sensação de conforto mais satisfatória.

Referências

American Society of Heating and Air Conditioning Engineers – ASHRAE. Physiological principles for comfort and health. In: Handbook Fundamentals. Atlanta, 2001. p. 8.1-8.2.

- Barbosa, P. H. D.; Costa, A. C. L.; Cunha, A. C.; Silva Junior, J. A. Variabilidade de elementos meteorológicos e de conforto térmico em diferentes ambientes na Amazônia Brasileira. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.17, 98-118, 2015.
- Batiz, E. C.; Goedert, J.; Morsch, J. J.; Kasmirski, Junior, P.; Venske, R. Avaliação do conforto térmico no aprendizado: estudo de caso sobre influência na atenção e memória. *Production*, v. 19, 477-488, 2009.
- Bitencourt, D. P.; Fuentes, M.V.; Maia, P. A.; Amorim, F. T. Frequência, Duração, Abrangência Espacial e Intensidade das Ondas de Calor no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 4, 506-517, 2016.
- Bitencourt, D. P.; Fuentes, M. V.; Franke, A. E.; Silveira, R. B.; Alves, M. P. The climatology of cold and heat waves in Brazil from 1961 to 2016. *International Journal of Climatology*, v. 40, n. 4. 2464-2478, 2020.
- Brito, T. P.; Oliveira, A. N. D.; Silva, D. A. C.; Rocha, J. A. S. Caracterização socioeconômica e tecnológica da atividade de pesca desenvolvida em São João de Pirabas-Pará-Brasil. *Ambiência*, v. 11, n. 3, 699-720, 2015.
- Buriol, G. A.; Estefanel, V.; Righi, E. Z.; Bressan, V. C. Conforto térmico para os seres humanos nas condições de ambiente natural em Santa Maria, RS, Brasil. *Ciência Rural*, v. 45, 223-230, 2015.
- Costa, A. C. L.; Silva Junior, J. A.; Cunha, A. C.; Feitosa, J. R. P.; Portela, B. T. T.; Silva, G. G. C.; Costa, R. F. Índices de conforto térmico e suas variações sazonais em cidades de diferentes dimensões na região Amazônica, *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 6. n. 3, 478-487, 2013.
- Dasari, H. P.; Desamsetti, S.; Langodan, S.; Viswanadhapalli, Y.; Hoteit, I. Analysis of Outdoor Thermal Discomfort Over the Kingdom of Saudi Arabia. *GeoHealth*, v. 5, n. 6, 2021.
- Fernandes, M. E.; Masiero, E. Relação entre conforto térmico urbano e Zonas Climáticas Locais. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, v. 12, 2020.
- Germano, M. F.; Vitorino, M. I.; Costa, G. B.; Souza, A. M. L.; Souto, J. I. O. Variabilidade atmosférica da precipitação associada com as circulações de brisas marítimas e terrestres no Nordeste do Estado do Pará, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais*, v. 11, n. 3, 303-312, 2016.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2019). «Divisão Territorial Brasileira 2019». Consultado em 28 de junho de 2023.
- Krüger, E. L.; Rossi, F. A.; Cristeli, P. S. Souza, H. A. Calibração do índice de conforto para espaços externos Physiological Equivalent Temperature (PET) para Curitiba. *Ambiente Construído*, v. 18, n. 3, 135-148, 2018.
- Libonati, R.; Geirinhas, J. L.; Silva, P. S.; Rodrigues, J. A.; Russo, A.; Peres, L. F.; Narcizo, L. R.; Gomes, M. E.; Rodrigues, A. P.; DaCamara, C. C. C.; Pereira, J. M.; Trigo, R. M. Drought–heatwave nexus in Brazil and related impacts on health and fires: A comprehensive review. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1517, n. 1, 44-62, 2022.
- Liu, Y.; Cai, W.; Lin, X.; Li, Z. Increased extreme swings of Atlantic intertropical convergence zone in a warming climate. *Nature Climate Change*, v. 12, n. 9, p. 828-833, 2022.
- Lyra, M. J. A.; Arraut, J. M. Análise termodinâmica de um vórtice ciclônico de altos níveis sobre o Nordeste do Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 43, n. 4, p. 302-309, 2020.
- Mandú, T. B.; Nascimento, A. L. S.; Jacondino, W. D.; Gomes, A. C. D. S. Impacto das ondas de calor no conforto térmico humano na região da Floresta Nacional do Tapajós, Oeste do Pará. *Biodiversidade Brasileira - BioBrasil*, v. 11, n. 4, 98-108, 2021.
- Din, M. F. M.; Lee, Yee, Y. Y.; Ponraj, M.; Ossen, D. R.; Iwao, K.; Chelliapan, S. Thermal comfort of various building layouts with a proposed discomfort index range for tropical climate. *Journal of Thermal Biology*, v. 41, 6-15, 2014.

- Moreira, P. H. O.; Costa, A. C. L.; Silva Júnior, J. A.; Cunha, A. C. Variações sazonais do Índice de Temperatura Efetiva (ITE) e Índice de Calor (IC) com o uso do solo em zona urbana na Amazônia Oriental. *Caminhos de geografia*, v. 24, n. 93, 1–17, 2023.
- Neves, D. J. D.; Alcântara, C. R.; Souza, E. P. Estudo de caso de um distúrbio ondulatório de leste sobre o Estado do Rio Grande do Norte-Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, 490-505, 2016.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Disponível em: <http://www.nws.noaa.gov/os/heat/index.shtml> Acesso: 10/06/2023.
- Organização das Nações Unidas – ONU. Perspectivas de urbanização mundial: a revisão de 2018. 2018. Disponível online: <https://www.un.org/en/node/89767>.
- Rahimi, A.; Nobar, Z. The impact of planting scenarios on agricultural productivity and thermal comfort in urban agriculture land (case study: Tabriz, Iran). *Frontiers in Ecology and Evolution*, v. 11, 1-11, 2023.
- 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, 185-204, 2010.
- Reboita, M. S.; Campos, B.; Santos, T.; Gan, M. A.; Carvalho, V. S. B. Análise sinótica e numérica de um VCAN no Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 10, n. 1, 41-59, 2017.
- Teodoro, T. A.; Reboita, M. S.; Escobar, G. C. J. Caracterização da banda dupla da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) no oceano Atlântico. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 42, n. 2, 282-298, 2019.
- Sátyro, Z. C.; Farias, C.; Candido, L. A.; Veiga, J. A. The relative and joint effect of rivers and urban area on a squall line in the Central Amazonia. *Science of the Total Environment*, v. 755, p. 142178, 2021.
- Santos, A. F.; Moura, F. R. T.; Seruffo, M. C. R.; Santos, W. P.; Costa, G. B; Costa, F. A. R. The impact of meteorological changes on the quality of life regarding thermal comfort in the Amazon region. *Frontiers in Climate*. v. 5, 1-19, 2023.
- Santos, Júnior, J. B.; Castro, L. M. S. P.; Alves, E. R.; Sales, M. C. L. Microclimas do município de Viçosa do Ceará: uso da temperatura efetiva na análise do conforto térmico. *Revista de Geociências do Nordeste*, v. 2, n. esp., 385-394, 2016.
- Silva Junior, J. A.; Costa, A. C. L.; Pezzuti, J. C. B.; Costa, R. F.; Souza, E. B. Relações entre as percepções térmicas e índices de conforto térmico dos habitantes de uma cidade tropical na Amazônia Oriental. *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities Research Medium*, v. 3, n. 2, 395-407, 2012a.
- Silva Júnior, J. A.; Costa, A. C. L.; Pezzuti, J. C. B.; Costa, R. F. Variabilidade espacial do conforto térmico e a segregação social do espaço urbano na cidade de Belém, PA. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 28, 419-428, 2013.
- Silva-Junior, J. A.; Costa, A. C. L.; Pezzuti, J. C. B.; Costa, R. F.; Galbraith, D. Análise da distribuição espacial do conforto térmico na cidade de Belém, PA no período menos chuvoso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 2, 218–232, 2012b.
- Sodré, G. R.; Vitorino, M. I.; Cohen, J. C. P.; Moraes, B. C. Study of mesoscale convection in different areas in Pará state. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 8, 2015.
- Shu, Y.; Zou, K.; Li, G.; Yan, Q.; Zhang, S.; Zhang, W.; Liang, Y.; Xu, W. Evaluation of Urban Thermal Comfort and Its Relationship with Land Use/Land Cover Change: A Case Study of Three Urban Agglomerations, China. *Land*, v. 11, 2022.
- Steadman, R. G. The Assessment of Sultriness. Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. *Journal of Applied Meteorology*, v. 18, 861-873, 1979.
- Thom, E. C. (1959) The discomfort index. *Weatherwise*, Boston, v.12, n.1, p.57-60, 1959.