III SIMPOSIO BRASILEIRO DE BIOMETEOROLOGIA HUMANA
26 a 28 de agosto de 2026

CONFORTO TÉRMICO HUMANO ENTRE OS ARRANHA-CÉUS DE BALNEÁRIO CAMBORIÚ/SC

Cassio Arthur Wollmann (1); Iago Turba Costa (2); Salman Shoostarian (3)
(1) Doutor, UFSCar, cassio.wollmann@ufscar.br
(2) Doutor, UFSM, iagoturba06@gmail.com
(3) Doutor, RMIT, salmanshooshtarian@rmit.edu.au

RESUMO
O presente estudo teve como objetivo investigar e avaliar o conforto térmico humano por meio da metodologia das Zonas Climáticas Locais (Local Climate Zones – LCZ), associada aos índices de conforto térmico PET (Physiological Equivalent Temperature) e UTCI (Universal Thermal Climate Index) na cidade de Balneário Camboriú/SC, que se destaca pelo intenso processo de verticalização urbana. Os dados foram coletados em diferentes estações do ano e analisados com auxílio do software RayMan Pro apenas na LCZ1, que se destaca pela presença de grandes prédios, acima de 10 pavimentos. Os resultados indicaram predominância de desconforto térmico por calor durante o verão e a primavera, enquanto no inverno verificou-se maior ocorrência de desconforto por frio, influenciado principalmente pela atuação da brisa marítima. Observou-se ainda que a morfologia urbana exerce influência significativa sobre as condições térmicas ao nível do pedestre, evidenciando a relação entre verticalização, sombreamento e ventilação urbana. Conclui-se que a metodologia LCZ, associada aos índices PET e UTCI, mostrou-se eficiente na análise preliminar do conforto térmico urbano, contribuindo para a compreensão das dinâmicas climáticas em cidades costeiras densamente urbanizadas.

Palavras-chave: Conforto Térmico Humano; LCZ 1; PET; UTCI; Balneário Camboriú.

1. INTRODUÇÃO
Na região Sul do Brasil localiza-se a cidade litorânea de Balneário Camboriú, que se destaca por apresentar o mais intenso processo de verticalização da América do Sul e do Hemisfério Sul, especialmente entre as cidades litorâneas brasileiras. Esse processo está associado ao crescimento significativo da altura das edificações. Segundo Beuting e Martins (2016), a altura dos edifícios evoluiu de cerca de 18 pavimentos, com média aproximada de 54 metros na década de 1970, para aproximadamente 48 pavimentos e média de 163,95 metros em 2013.

Com a proposta de unificar diferentes formas de classificação urbana, foi criado o sistema de classificação das Local Climate Zones – Zonas Climáticas Locais (LCZ), desenvolvido por Stewart e Oke (2012), abrangendo tipologias de cobertura e uso do solo urbano (PIGLIAUTILE, PISELLO; BOU-ZEID, 2020). Embora as LCZs tenham sido inicialmente utilizadas em pesquisas sobre ilhas de calor urbanas, tornando-se um padrão mundial para essa finalidade, estudos mais recentes passaram a empregar a metodologia em outras abordagens, como o conforto térmico.

Na última década, para Huang, Jiange e Zhan et al. (2023), as LCZs ganharam notoriedade nas classificações urbanas por padronizarem dez tipos construídos (LCZ 1–10) e sete tipos de cobertura do solo (LCZ A–G). Como as LCZs representam os ambientes térmicos das cidades, apresentam grande potencial para a avaliação do conforto térmico humano, principalmente em ambientes externos (LAU; CHUNG; REN, 2019)

2. OBJETIVO
O objetivo central deste trabalho foi investigar e avaliar o conforto térmico humano na cidade de Balneário Camboriú por meio da classificação das Zonas Climáticas Locais (LCZ), compreendendo a influência das diferentes configurações urbanas sobre as condições de conforto térmico em ambientes externos, sobretudo na LCZ 1.

3. MÉTODO

Na elaboração das LCZs de Balneário Camboriú, foi utilizada a proposta inicial de Stewart e Oke (2012), que descreve e define os atributos gerais das classificações e seus arranjos. No mapeamento das LCZs, foi aplicado o método WUDAPT, plataforma web que permite o download das LCZs em formato KML para exportação ao Google Earth. Posteriormente, seleciona-se uma imagem Landsat 8 para a demarcação de polígonos referentes a cada LCZ da área de estudo (DEMUZERE, KITTNER, BECHTEL, 2021). O sistema WUDAPT permite a importação da imagem mapeada, realiza seu processamento e devolve o mapa final das LCZs classificadas.

Essa metodologia foi aplicada em Balneário Camboriú por Hoppe, Wollmann, Buss et al. (2022) e Silva, Wollmann, Iensse et al. (2024). O primeiro estudo propôs a classificação das LCZs pelo método WUDAPT e relacionou os resultados à magnitude das ilhas de calor urbanas na primavera, enquanto o segundo investigou o período de inverno. A LCZ 1 representa a área verticalizada de Balneário Camboriú e, por isso, foi mensurada em dois pontos: ponto 1, próximo à orla, e ponto 2, em um desfiladeiro urbano. Para calibração, utilizou-se o valor médio dos dados coletados.

Em cada ambiente térmico foram monitoradas quatro variáveis meteorológicas: temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica e temperatura radiante média. Os dados foram obtidos por meio de estações meteorológicas modelo iMetos 3.3 e de um termômetro de globo cinza, instalados em locais de circulação de pessoas. Os registros foram realizados em dois dias representativos de cada estação do ano, no período diurno entre 9h e 20h, com medições a cada 30 minutos, ao longo das diferentes estações do ano.

Na análise do conforto térmico, foram selecionados os índices Temperatura Fisiologicamente Equivalente (PET) e Universal Thermal Climate Index. Segundo Potchter (2018), entre mais de 165 índices existentes, esses são os mais utilizados na avaliação do conforto térmico humano em espaços abertos. Além disso, Costa (2024), em revisão sistemática sobre conforto térmico em áreas urbanas abertas, também aponta PET e UTCI como os índices mais empregados em estudos voltados à avaliação do conforto térmico de pedestres. Ambos foram calculados com auxílio do software RayMan Pro (MATZARAKIS et al., 2007; MATZARAKIS; HWANG, 2010; MATZARAKIS, 2018).

O software RayMan Pro também permitiu determinar o Sky View Factor (SVF) em cada ambiente térmico analisado. Para isso, foram capturadas imagens hemisféricas com lente olho de peixe, com abertura de 238°, nos locais de medição. Além disso, realizaram-se simulações da trajetória solar nos quatro ambientes térmicos investigados, com o objetivo de identificar os períodos de incidência direta de radiação solar ao nível do pedestre, considerando as diferentes estações do ano. Ambos os índices apresentam sete faixas interpretativas: muito frio, frio, ligeiramente frio, nem frio nem quente, ligeiramente quente, quente e muito quente.

4. RESULTADOS

O processo de resfriamento provocado pela brisa marítima pode estar relacionado às LCZ 1 e LCZ 9, mais próximas ao oceano em Balneário Camboriú, pois, durante o inverno, tanto para o PET quanto para o UTCI, o resfriamento atingiu limiares classificados como frio. Destaca-se ainda que, na LCZ 9, as faixas de maior estresse por frio, classificadas como “muito frio”, ocorreram durante quase todo o período diurno.

Para a análise do desconforto térmico nas LCZs, as classes interpretativas dos índices foram agrupadas em categorias representativas de desconforto por frio (“muito frio”, “frio” e “um pouco de frio”), desconforto por calor (“um pouco de calor”, “calor” e “muito calor”) e neutralidade térmica.

Na análise global do desconforto térmico, observou-se maior desconforto por calor em praticamente todos os ambientes térmicos, superando 50% dos horários avaliados tanto para o índice PET quanto para o UTCI. A exceção ocorreu no período de inverno, quando predominou o desconforto em uma das faixas de frio, superior a 85% em ambos os índices. A neutralidade térmica pode ser considerada relativa, pois, em todas as estações do ano, a LCZ 1 de Balneário Camboriú apresentou maior percentual de desconforto, tanto por frio quanto por calor.

A Figura 01 apresenta a avaliação sazonal dos índices PET (Physiological Equivalent Temperature) e UTCI (Universal Thermal Climate Index) calibrados para a Zona Climática Local (LCZ) 1 do município de Balneário Camboriú, evidenciando as dinâmicas de conforto térmico urbano ao longo das diferentes estações do ano. Já a Tabela 01 apresenta as porcentagens correspondentes às diferentes classes de percepção térmica observadas na Zona Climática Local (LCZ), considerando os limiares de desconforto por frio, neutralidade térmica e desconforto por calor em uma análise global que integra todas as estações do ano.

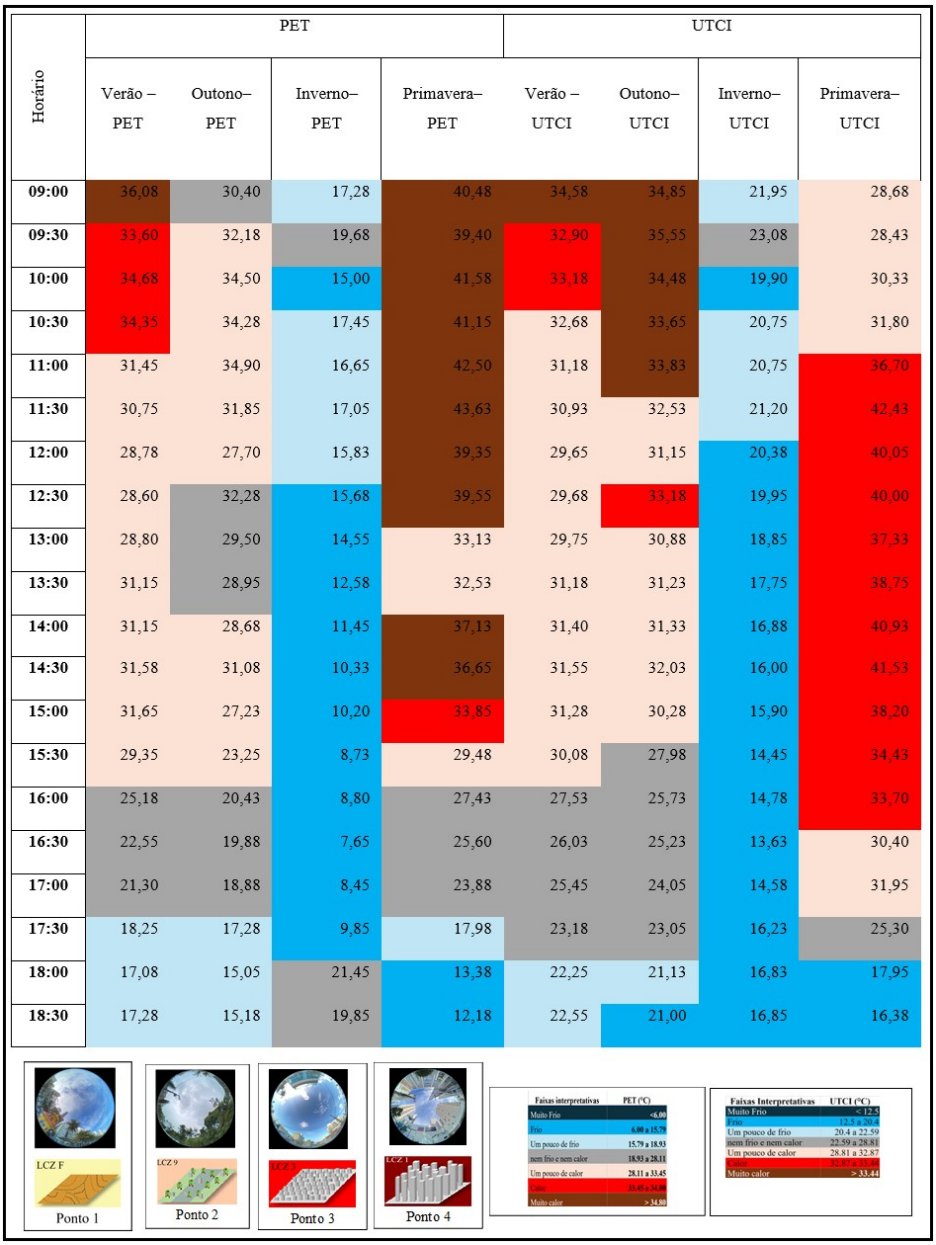


Figura 01 - Indice PET e UTCI calibrado para Zonas Climáticas Local (LCZ) 1 de Balneário Camboriú – Avaliação sazonal. (Org.: Os autores, 2026).

Faixas de Calibração	**Índices PET E UTCI**							
	Verão		**Outono**		**Inverno**		**Primavera**	
	PET	**UTCI**	**PET**	**UTCI**	**PET**	**UTCI**	**PET**	**UTCI**
DESCONFORTO POR FRIO (Muito Frio; Frio; Um pouco de Frio)	15,00%	10,00%	15,00%	10,00%	85,00%	95,00%	15,00%	10,00%
NEUTRALIDADE TÉRMICA (Nem Frio e nem Calor)	15,00%	20,00%	35,00%	25,00%	15,00%	5,00%	15,00%	5,00%
DESCONFORTO POR CALOR (Um pouco de Calor; Calor; Muito Calor)	70,00%	70,00%	50,00%	65,00%	0,00%	0,00%	70,00%	65,00%
Total	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %

Tabela 01 - Porcentagens correspondentes na LCZ, considerando os limiares de desconforto por frio, neutralidade térmica e desconforto por calor em uma análise global - todas as estações do ano. (Org.: Os autores, 2026).

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstraram que a configuração urbana de Balneário Camboriú influencia diretamente as condições de conforto térmico humano, especialmente na LCZ 1, caracterizada pela intensa verticalização. Observou-se predominância de desconforto térmico por calor durante o verão e a primavera, enquanto no inverno prevaleceram condições de desconforto por frio, associadas principalmente à atuação da brisa marítima e às características morfológicas urbanas.

A aplicação da metodologia das Zonas Climáticas Locais (LCZ), associada aos índices PET e UTCI, mostrou-se eficiente para a análise preliminar do clima urbano e do conforto térmico em ambientes externos. Dessa forma, o estudo contribui para a compreensão das relações entre urbanização e dinâmica climática, destacando a importância de incorporar aspectos climáticos no planejamento urbano de cidades costeiras verticalizadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANJOS, M., LOPES, A., LUCENA, A. J. D., MENDONÇA, F. Sea breeze front and outdoor thermal comfort during summer in Northeastern Brazil. **Atmosphere**, 11(9), 1013. 2020. https://doi.org/10.3390/atmos11091013

BEUTING, A.; MARTINS, B. C. V. **Evolução histórica da verticalização de Balneário Camboriú**: Orla da Praia e área central da cidade. In VIII Seminario Internacional de Investigación en Urbanismo, Barcelona-Balneário Camboriú, junho. 2016.

COSTA, I. T., WOLLMANN, C. A., WRITZL, L., IENSSE, A. C., DA SILVA, A. N., BAUMHARDT, O. F., MATZARAKIS, A. A systematic review on human thermal comfort and methodologies for evaluating urban morphology in outdoor spaces. **Climate**, 12(3), 30. 2024. https://doi.org/10.3390/cli12030030

DEMUZERE, M., KITTNER, J., BECHTEL, B. LCZ Generator: a web application to create Local Climate Zone maps. **Frontiers in Environmental Science**. 2021. https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.637455

HOPPE, I. L., WOLLMANN, C. A., BUSS, A. S., GOBO, J. P. A., SHOOSHTARIAN, S. Local climate zones, sky view factor and magnitude of daytime/nighttime urban heat islands in Balneário Camboriú, SC, Brazil. Climate, 10(12), 197. 2022. https://doi.org/10.3390/cli10120197

HUANG, J.; et al. Assessment of urban physical features on summer thermal perceptions using the local climate zone classification. **Building and Environment**, v. 236, 2023. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110265

LAU, K. K. L., CHUNG, S. C., REN, C. Outdoor thermal comfort in different urban settings of sub-tropical high-density cities: An approach of adopting local climate zone (LCZ) classification. **Building and Environment**, 154, 227-238. 2019. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.005

MATZARAKIS, A. **RayMan Pro**: A tool for applied climatology. 2018.

MATZARAKIS, A., RUTZ, F., MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—Application of the RayMan model. **International Journal of Biometeorology**, 51(4), 323–334. 2007.

MATZARAKIS, A., RUTZ, F., MAYER, H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: Basics of the RayMan model. International Journal of Biometeorology, 54(2), 131–139. 2010. https://doi.org/10.1007/s00484-009-0261-0

PEREIRA, C. T., MASIERO, E., BOURSCHEIDT, V. Socio-spatial inequality and its relationship to thermal (dis) comfort in two major Local Climate Zones in a tropical coastal city. **International Journal of Biometeorology**, 65(7), 1177-1187. 2021. https://doi.org/10.1007/s00484-021-02099-9

PIGLIAUTILE, I., PISELLO, A. L., BOU-ZEID, E. Humans in the city: Representing outdoor thermal comfort in urban canopy models. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 133, 110103. 2020. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110103

POTCHTER, O., COHEN, P., LIN, T. P., MATZARAKIS, A. Outdoor human thermal perception in various climates: A comprehensive review of approaches, methods and quantification. **Science of the Total Environment**, 631, 390-406. 2018. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.276

SILVA, A. N. et al. Assessing the Relationship between Urban Heat Islands and Local Climate Zones during a Winter Period in the Coastal City of Balneário Camboriú/SC, Brazil. **Atmosphere**, v. 15, n. 10, p. 1171, 2024. https://doi.org/10.3390/atmos15101171

STEWART, I. D.; OKE, T. R. Local climate zones for urban temperature studies. **Bulletin of the American Meteorological Society**, 93(12), 1879-1900. 2012.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Produtividade em Pesquisa (Processo nº 309222/2023-0).