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

ÍNDICES BIOCLIMÁTICOS PARA CIDADES NA FAIXA DE TRANSIÇÃO CLIMÁTICA TROPICAL/SUBTROPICAL DO TERRITÓRIO BRASILEIRO

Aparecido Ribeiro de Andrade[1]; Emerson Galvani[2]; João Paulo Assis Gobo[3]

RESUMO

O ser humano, desde sua existência no planeta Terra, sempre buscou melhores condições de conforto, principalmente com relação ao frio e ao calor excessivo. Dessa forma, estudos que busquem encontrar maneiras rápidas de identificar limites de conforto(desconforto) associados aos elementos meteorológicos, com destaque para a temperatura do ar, são ferramentas úteis ao desenvolvimento científico e na identificação de períodos e locais mais ou menos confortáveis. A presente pesquisa buscou comparar metodologias diferentes para o uso de índice de conforto térmico humano em regiões de transição climática. Para tanto, analisou dados meteorológicos do ano de 2024/25 para as cidades de São Paulo(SP) e Guarapuava(PR), aplicando o ISB (Índice Subtropical Brasileiro) e o TEv (Temperatura Efetiva em função do vento). O teste desses dois índices teve como objetivo encontrar semelhanças e diferenças entre os resultados para cada um deles, avaliando uma possível metodologia que melhor represente a realidade da região subtropical, considerando inclusive a transição para o Clima Tropical. Os resultados indicam que os índices escolhidos definem padrões de conforto e/ou desconforto distintos, principalmente porque o ISB tende a homogeneizar os extremos, enquanto o TEv, ao contrário, superestima, tanto o frio, quanto o calor.

Palavras-chave: conforto térmico, clima tropical, clima subtropical, bioclimatologia.

1. INTRODUÇÃO

A busca pelo conforto ambiental do ser humano, nos mais diversos aspectos, é tão antiga quanto sua existência no planeta Terra. Desde os primeiros relatos que se tem na história, o desenvolvimento físico e cognitivo da espécie humana esteve ligado a busca por melhores condições de conforto, principalmente a proteção contra o frio e o calor excessivo.

Nesse sentido, os estudos desse tema são desenvolvidos principalmente pelos pesquisadores da área de Bioclimatologia, buscando um suporte teórico e metodológico consistente para validar seus resultados. Nessa busca, surge uma primeira questão: Qual a área de estudo teórico/metodológica da Bioclimatologia?

Andrade (2000), analisando a obra do prof. Andris Auliciems, afirma que a bioclimatologia humana é apresentada como uma ciência da adaptação (fisiológica e cultural) dos seres humanos à variabilidade das condições atmosféricas, perspectiva que segue a tendência atual da climatologia, em que variação e variabilidade são, claramente, objeto central de uma área de estudo. Essa obra enfatiza também que os modelos de conforto térmico tradicionais, do tipo estático, dificilmente permitem lidar com a variabilidade intra ou interindividual e intergrupos.

Esse modelo adota a premissa de que os indivíduos e o ambiente térmico interagem permanentemente, combinando múltiplos processos de termorregulação, fisiológicos e comportamentais. O resultado é que para atingir o conforto térmico os dados são muito variáveis, não só de indivíduo para indivíduo, mas também, para uma mesma pessoa, em função de circunstâncias múltiplas.

Outra questão teórico/conceitual diz respeito a aplicabilidade dos estudos em bioclimatologia. Nesse sentido, a bioclimatologia humana emerge como área de interesse nas discussões inerentes a mudanças climáticas, principalmente ao se pensar a questão de riscos e vulnerabilidade socioambiental, tendo o desconforto térmico como resultado indesejado.

[1] Professor Doutor Associado do Departamento de Geografia da Universidade Estadual do Centro-Oeste – Unicentro, email: arandrade@unicentro.br

[2] Professor Doutor do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo – USP, email: egalvani@usp.br

[3] Professor Doutor Adjunto do Departamento de Geografia da Universidade Federal de Rondônia – UNIR, email: joao.gobo@unir.br

Aleixo et. al., (2013) fazem um interessante ensaio, ao comparar riscos, extremos climáticos e impactos na saúde no Brasil e em Portugal. Esse trabalho buscou comparar como as condições climáticas dos dois países podem influenciar nos riscos/vulnerabilidade e, por consequência na morbilidade humana. Normalmente, os estudos da Biometeorologia ou Bioclimatologia Humana focam sua atenção nas dinâmicas urbanas, o que foi adotado nessa obra, isso porque a cidade é a melhor repercussão das relações sociais humanas e suas modificações/adaptações às condições do tempo e do clima.

Nesse trabalho ficou provado que o desconforto por frio e alta amplitude térmica estão diretamente relacionados ao aumento de casos das doenças na cidade São Paulo. Já para Portugal, o principal risco de aumento na mortalidade e morbilidade humana está associado a ondas de calor, apesar de que a ocorrência de incêndios florestais também tende a ser um risco iminente. Entretanto, em alguns estudos, as ondas de frio e a alta amplitude térmica também influenciam no aumento dos riscos à saúde humana.

A abordagem da bioclimatologia focada no planejamento urbano é outra linha bastante difundida no Brasil e no mundo. Essa linha teórica/metodológica foca no trabalho de construção e organização das cidades, por isso, estudiosos do ambiente construído, principalmente os arquitetos, costumam ter bastante interesse nesses procedimentos e nos resultados alcançados.

Lima et al (2023) é um bom exemplo de trabalho usa esse procedimento. Os autores elaboraram um Mapa do Potencial Dinâmico da estrutura urbana da cidade de Arapiraca-AL, considerando a ocupação do solo e fatores de amenização térmica como massas d'água e declividade topográfica.

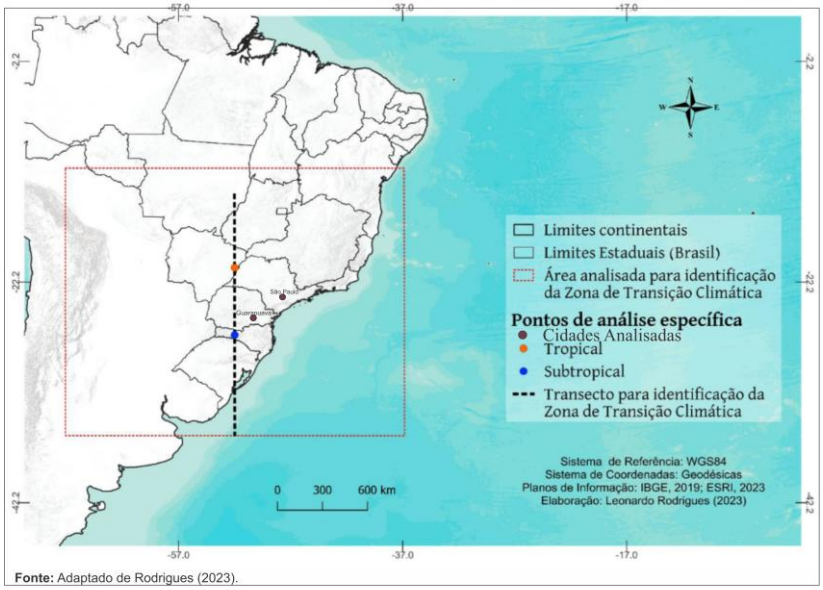
De forma geral, o trabalho evidenciou que, quanto mais próximo ao centro da cidade, mais difícil é a mitigação dos problemas de conforto, às vezes impossível.

Diante desse perfil teórico e metodológico, surge a pergunta central desse ensaio: Qual a melhor metodologia para se usar o índice de conforto térmico humano em regiões de transição climática?

Tentando uma resposta inicial para essa questão, propõe-se a aplicação de 2 procedimentos metodológicos (aplicação de diferentes índices de conforto) para a região sul/sudeste do Brasil com base na afirmação de que as pessoas têm sensações distintas e que um dos aspectos que vai influenciar essas sensações é a aclimatação (a depender do lugar) e a sazonalidade meteorológica.

O ambiente urbano reflete rapidamente nas condições de conforto, principalmente o térmico, variando de local para local dentro da cidade. Contudo, ao se comparar locais menos ou não urbanizados, essa complexidade aumenta e a capacidade do organismo em se adaptar tem que sair maior. Nesse sentido, as duas cidades escolhidas como estudo de caso foram Guarapuava, localizada na região Centro-sul do Paraná e São Paulo, capital do Estado de São Paulo.

Essa escolha se baseou na área de estudo adotada como transição climática proposta por Rodrigues (2023), conforme figura 1.



Fonte: Adaptado de Rodrigues (2023).

Figura 1 - Localização da área de transição climática (subtropical/tropical) e das cidades de Guarapuava e São Paulo

2. OBJETIVO

O objetivo central desse trabalho foi iniciar a busca por um índice de conforto/desconforto térmico que defina limites desejados para regiões de transição climática, mais especificamente para a transição do clima subtropical para o tropical.

3. MÉTODO

O procedimento metodológico adotado nesse trabalho se baseou na aplicação de dois índices de conforto para duas cidades em área de transição climática (subtropical para tropical).

O primeiro índice testado foi uma adaptação metodológica feita por Gobo (2018) para Santa Maria (RS) em que associou os resultados de diversos índices (UTCI, PET, SEV, PMV, TE e TEv) a percepção térmica de entrevistados e ainda complementou com a análise sinótica durante os dias de campo.

A partir dos testes realizados o autor elaborou uma equação para calcular o que ele denominou de Índice Subtropical para Santa Maria (ISISM), mas depois de todo um procedimento de compilação, calibração e validação dos dados, a conclusão foi de que o índice proposto respondeu para o caso de Santa Maria-RS, mas que se a localidade estudada fosse outra, mesmo que em região subtropical, o ideal seria usar uma adaptação desse índice, que foi chamado de Índice Subtropical Brasileiro (ISB), conforme equação 1.

$$ISB = 0{,}1523 \times Tar - 0{,}0010 \times UR - 0{,}4300 \times V - 2{,}6425 \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde Tar = Temperatura do ar (ºC); UR = Umidade Relativa do Ar (%); e V = Velocidade do vento (m/s)

O outro índice testado, utilizado em áreas climáticas do mundo com condições de ventos frequentes e sem período seco (úmido) é o de Temperatura Efetiva em função do vento (TEv). Esse índice utiliza as mesmas variáveis que o ISB, ou seja, Temperatura do Ar (Ta), Umidade Relativa (UR) e Velocidade do Vento (V) e, segundo Suping et al., (1992), a equação para se calcular o TEv é a seguinte:

$$TEv = 37-(37-Ta)-(0{,}68-(0{,}0014*UR)+(1/(1{,}76+1{,}4*V0{,}75))- 0{,}29*Ta*(1-(UR/100)) \quad \text{(Equação 2)}$$

Os dois índices foram calculados para o verão e o inverno de 2025 das cidades selecionadas e os resultados foram avaliados seguindo os procedimentos de Santos et. al., (2014) e Gobo, et. al., (2018).

4. RESULTADOS

Os resultados da aplicação dos índices para as duas cidades e para as diferentes estações (verão e inverno) no ano de 2025, são representados pelas figuras 2 (A, B, C e D) e 3 (A, B, C e D).

A análise dos índices seguiu as faixas interpretativas baseadas na classificação de dias com conforto ou desconforto térmico de cada índice conforme Tabelas 1 e 2.

Quadro1 - Classes Interpretativas para o ISB

≤ -3,0	Muito frio
-2,9 a -2,0	Frio
-1,9 a -1,0	Ligeiramente Frio
-0,9 a 0,9	Nem frio e nem quente
1,0 a 1,9	Ligeiramente Quente
2,0 a 2,0	Quente
≥ 3,0	Muito Quente
Fonte: Gobo et. al., (2018)	

Quadro 2 – Classes Interpretativas para o TEv

TEv < 13	Muito frio	Extremo estresse ao frio
13 ≤ TEv < 16	Frio	Tiritar
16 ≤ TEv < 19	Frio moderado	Ligeiro resfriamento do corpo
19 ≤ TEv < 22	Ligeiramente frio	Vasoconstrição
22 ≤ TEv < 25	Confortável	Neutralidade térmica
25 ≤ TEv < 28	Ligeiramente quente	Ligeiro suor; vasodilatação
28 ≤ TEv < 31	Quente moderado	Suando
31 ≤ TEv < 34	Quente	Suor em profusão
TEv > 34	Muito quente	Falha na termorregulação
Fonte: Suping et. al., (1992)		

Para o verão (Figuras 2 – A, B, C e D), nota-se que os resultados do ISB, tanto para Guarapuava, quanto para São Paulo são mais concentrados na categoria “nem frio e nem calor”, ou seja, para esse índice não existe desconforto nem por frio e nem por calor e quando isso ocorre é bem pouco, como é notado para algumas horas de desconforto pelo frio em Guarapuava. Isso indica que Guarapuava tem um clima mais frio e úmido do que São Paulo, mas que na grande maioria das horas do verão, não houve desconforto.

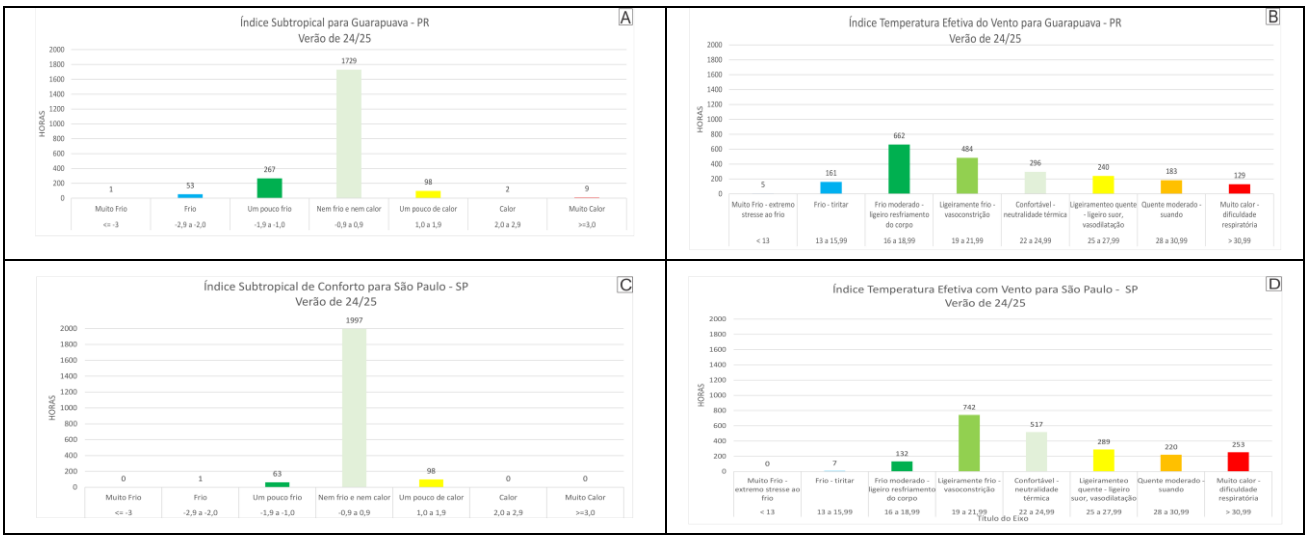


Figura 2 - Resultados para os índices de conforto ISB e TEv para o verão 2024/25.

Com relação ao TEv, os resultados são bem distintos, indicando uma maior variabilidade nos resultados, com várias horas de desconforto por calor, principalmente na cidade de São Paulo. Mesmo que ainda permaneça um padrão de concentração de muitas horas de conforto (neutralidade térmica), isso não é tão significativo quanto para o ISB e fica evidente que Guarapuava tem maior heterogeneidade nos resultados, tendo mais concentração de horas de desconforto térmico pelo frio do que São Paulo.

Para o inverno os resultados são representados pelas figuras 3 (A, B, C e D).

Os resultados obtidos para o inverno pela aplicação do ISB são semelhantes com aqueles que foram demonstrados para o verão, ou seja, novamente uma grande concentração de horas com pouco ou nenhum desconforto em relação às outras categorias. Tanto para Guarapuava, quanto para São Paulo, essa concentração diminui um pouco e aumenta horas de algum desconforto pelo frio.

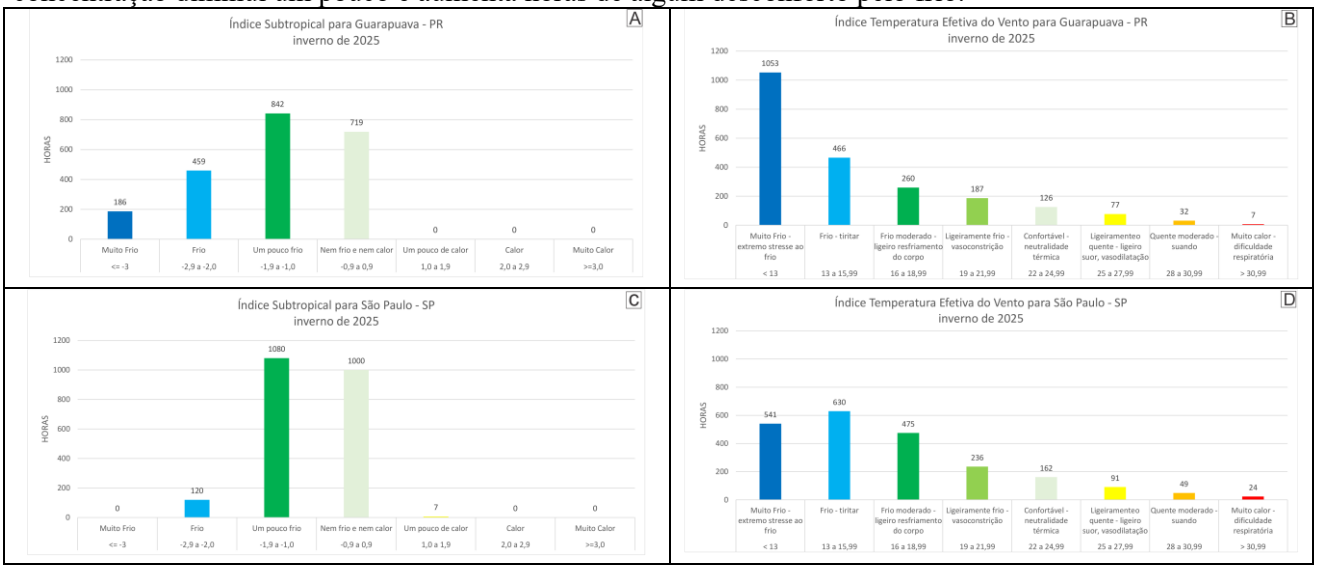


Figura 3 - Resultados para os índices de conforto ISB e TEv para o inverno de 2025

Com relação aos resultados do TEv, também se repete um padrão similar aos resultados do verão. Contudo, a variabilidade dos resultados é bem maior e nota-se, tanto para São Paulo, como para Guarapuava que existe uma maior concentração de horas com desconforto pelo frio do que as outras classes. Novamente essa condição é mais marcante para Guarapuava.

5. CONCLUSÕES

O referencial teórico adotado indica que o “estado da arte” em bioclimatologia é relativamente recente. Ressalta-se que na Geografia prepondera os estudos voltados para o conforto térmico, mas outras áreas priorizam estudos voltados a bioclimatologia animal e vegetal. Essa escolha temática normalmente está associada à própria natureza da área de conhecimento científico da Geografia.

Os estudos enfatizando áreas subtropicais e principalmente as chamadas “áreas de transição” ainda são incipientes e os resultados não são conclusivos. Essas regiões demonstram ter uma complexidade climática muito elevada e a busca pelo índice que efetivamente se adeque às diferentes sensações fisiológicas do ser humano parece uma meta a ser atingida ainda.

Em virtude da dificuldade em aplicar questionários e associá-los a resultados de modelagens (índices), a estimativa de um nível adequado de conforto ainda carece de muito trabalho e investimento. Nesse sentido, o presente trabalho indicou dois índices de conforto/desconforto térmico possíveis de serem utilizados em área de transição climática. O TEv indica uma maior sensibilidade a variabilidade horária dos elementos do clima e nesse primeiro teste demonstrou ser mais eficaz, principalmente para Guarapuava.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná (FA) pelo auxílio financeiro concedido para custear estadia e alimentação do primeiro autor durante a realização do evento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEIXO, Natacha Cíntia Regina; SANT'ANNA NETO, João Lima; SANT'ANNA NETO, J.L.; CUNHA, L. Análise comparativa sobre os estudos bioclimáticos no Brasil e em Portugal: articulações e desafios. Cadernos de Geografia (Coimbra), v. 32, p. 57, 2013

ANDRADE, Henrique. Bioclimatologia Humana: novas perspectivas. Finisterra, XXXV, 69, 2000, pp. 157-159.

GOBO, João P. A. Bioclimatologia Subtropical e Modelização do Conforto Humano: da Escala Local à Regional. Tese de Doutorado - USP, São Paulo, p. 395, 2018.

GOBO, João P. A.; FARIA, Marlon R.; GALVANI, Emerson; GONÇALVES, Fabio L. T.; e MONTEIRO, Leonardo M. Empirical Model of Human Thermal Comfort in Subtropical Climates: A First Approach to the Brazilian Subtropical Index (BSI). Atmosphere. 2018, 9, 391; doi:10.3390/atmos9100391.

RODRIGUES, Leonardo. A Zona de Transição Climática Tropical-Subtropical do Brasil. Trabalho de Conclusão de Curso. UEL, Londrina, 2023, 1422 fls.

SANTOS, J.B., AMORIM, R.F.C., CAVALCANTE, L.P.A. Análise do Conforto Térmico Humano no Município de Arapiraca – Alagoas, Utilizando Software Matlab. Revista Brasileira de Geografia Física, vol.07, n.05 (Número Especial-VIWMCRHPE), (2014) 939-948.

SUPING, Z.; GUANGLIN, M.; YANWEN, W.; JI, L. 1992. Study of the relationships between Weather conditions and the marathon race, and of meteorotropic effects on distance runners. Int. J. Biometeorol., v. 36, p. 63-8.