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

ÍNDICE DE CONFORTO TÉRMICO EM REGIÕES BRASILEIRAS: DIAGNÓSTICO PRELIMINAR EM ANOS PASSADOS E EM TEMPO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

José M. Brabo Alves[1]; Emerson M. da Silva[2]; Nathiel S. Silva[3]; Francisco E. da Silva Rodrigues[4]

[1]Doutor, Mestrado Profissional em Climatologia/UECE, jose.brabo@uece.br
[2]Doutor, Mestrado Profissional em Climatologia/UECE, emerson.mariano@uece.br
[3]Doutor, Mestrado Profissional em Climatologia/UECE, nathiel.silva@uece,br
[4]Discente Curso de Física Presencial/UECE, kaous.rodrigues@uece.br

RESUMO
A intensificação de extremos climáticos e as alterações no uso do solo, como a urbanização desordenada e o desmatamento, agravam significativamente o estresse térmico humano. Este estudo objetivou calcular e analisar a variabilidade de um Índice de Conforto Térmico (ICT) mensal para quantificar esses impactos no Brasil. Utilizaram-se dados da reanálise ERA5 do *European Centre for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF) referentes ao período de 1950 a 2020, compreendendo temperatura do ar, umidade relativa e componentes zonal e meridional do vento a 2 metros da superfície. A análise abrangeu quatro áreas estratégicas e contrastantes: Amazônia preservada (Oeste), Amazônia sob impacto de desmatamento (Sudeste), Semiárido nordestino em processo de desertificação e um aglomerado urbano no Sul/Sudeste brasileiro. Os resultados evidenciaram que, tanto no verão quanto na escala anual, a variabilidade interanual do ICT apontou maior severidade térmica na Amazônia desmatada e, destacadamente, no Semiárido quente e seco. Conclui-se que, nessas regiões de maior vulnerabilidade, as magnitudes do ICT refletem de forma expressiva o uso indiscriminado da terra, a variabilidade climática natural e os efeitos contínuos do aquecimento global.

Palavras-chave: Aquecimento global, variabilidade de temperatura do ar, índice de conforto térmico.

1. INTRODUÇÃO

O Índice de Conforto Térmico (ICT) é um indicador calculado a partir de variáveis meteorológicas. Em geral, utilizam-se dados de ventos, umidade e a temperatura do ar próximos à superfície, servindo para medir a resposta do corpo humano ao ambiente térmico e transformar em uma escala que mostra se o organismo está confortável, em perigo ou se precisa de ajustes (BAO *et al.* 2025). O corpo humano busca manter sua temperatura interna estável, próxima ao ideal de 37,5°C. Para isso, deve haver um equilíbrio térmico onde o calor produzido pelo metabolismo seja anulado pelas trocas com o ambiente, sendo um processo individual e que é influenciado por múltiplos fatores (BURIOL *et al.* 2015).

Com o agravamento da crise climática e a recorrência de Ondas de Calor (OC), o estudo de índices térmicos, abrangendo monitoramento, previsão e projeção de cenários, consolidou-se com tema central nas agendas científicas globais (GUERRERO-SERRANO e SALVO-TIERRA, 2025; LI *et al*. 2024; LUCENA *et al.* 2016).

Estudo realizado na América do Sul (AS) tratou do levantamento detalhado das últimas quatro décadas sobre o estresse térmico no continente ao analisar as 31 cidades mais populosas, utilizando o Índice Universal de Clima Térmico (UTCI) a partir de dado de reanálises (ERA5-HEAT) conforme a classificação climática de Köppen-Geiger, o que revelou que o desconforto pelo calor é muito mais severo no interior do que no litoral e torna-se cada vez mais crítico conforme avançamos em direção ao norte, com 26% a 35% das horas, entre 1979 e 2020, sob forte estresse térmico (MIRANDA *et al*. 2024).

2. OBJETIVO

Este estudo objetivou analisar preliminarmente a variabilidade de um ICT no Brasil entre 1950 e 2020, com ênfase nos efeitos do aquecimento global e ação antripogênica nas últimas décadas, considerando o contraste térmico em quatro áreas específicas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Áreas do Estudo

O estudo analisou a variabilidade do ICT em quatro áreas estratégicas (figura 1): (A) floresta preservada na amazônia oeste (0°–10°s; 55°w–70°w); (B) região com impacto de desmatamento no sudeste amazônico (5°s–10°s; 45°w-50°w); (C) região em desertificação no semiárido nordestino (3,5°s–12°s; 37°w–43°w); (D) aglomerado urbano no Sul-Sudeste brasileiro (20°s–25°s; 48°w–55°w).

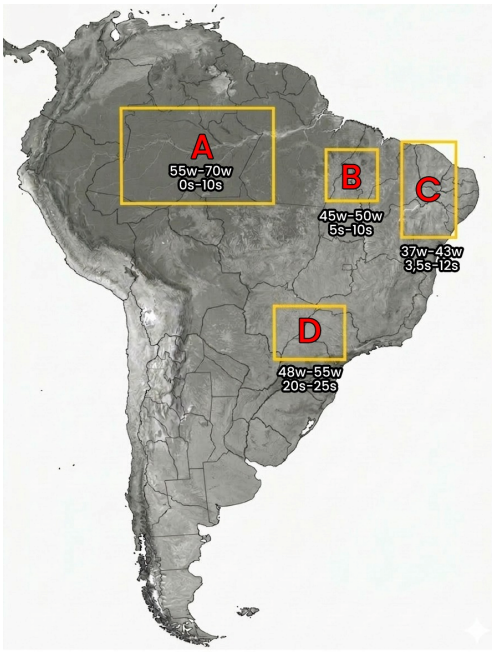


Figura 1 - Áreas selecionadas para o cálculo do ICT.

3.2 Dados e Coleta

Nesse estudo foram usados dados mensais (1950-2020) de temperatura do ar (Tar) em ^{o}C a 2m de altura, umidade relativa do ar (UR) em percentual e componentes zonal e meridional do vento em m/s a 2m altura, oriundos do banco de dados de reanálises do ERA5 (HERSBACH *et al*. 2020) do European Centre for Medium-Range Weather Forecast (ECMWF). Estes dados estão em pontos de grade de latitude e longitude de 0.25^{o}, cobrindo o globo terrestre.

3.3 Análise dos dados

O processo seguiu as seguintes etapas:

1 - Foi calculado, em cada ponto de grade do banco de dados, o valor da velocidade do vento (V) dada pela raiz quadrada da soma das suas componentes, zonal e meridional, elevada ao quadrado;

2 - Foi calculada uma média mensal (de janeiro a dezembro entre 1950-2020) para as variáveis temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento (m/s);

3 - Foram calculados os ICT para cada mês e estação do ano austral (verão - novembro a janeiro; outono - fevereiro a abril; inverno - maio a julho e primavera - agosto a outubro) para cada área de estudo, conforme a Fórmula 1 a seguir:

$$ICT = 37 - \frac{A}{B+C} - 0{,}29T_{ar}(1-D)$$

onde A=37-Tar; B=0,68-0,0014UR; C=1/1,76+F; D=0,29Tar(1-E); E=UR/100; F=1,4V^{0,475}.

Fonte: (SUPING *et al.* 1992 apud PALLOTA *et al*. 2015).

4 - Foram calculados os ICTs médios, por década, para os períodos de 1951-1960, 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010 e 2011-2020.

Os cálculos dos itens 2 a 4 foram feitos para cada área do estudo. Os valores do ICT têm a seguinte relação com a resposta fisiológica humana quanto à sensação térmica e ao grau de estresse fisiológico (Tabela 1).

Tabela 1 - Grau de estresse fisiológico conforme ICT baseado nas variáveis meteorológicas usadas no estudo.

ICT	Sensação Térmica	Grau de Estresse Fisiológico
≤13	Muito frio	Extremo estresse ao frio
>13 e ≤16	Frio	Forte estresse ao frio - tiritar
>16 e ≤19	Frio moderado	Estresse moderado ao frio - ligeiro resfriamento do corpo
>19 e ≤ 22	Ligeiramente frio	Ligeiro estresse ao frio
>22 e ≤ 25	Confortável	Nenhum estresse térmico - equilíbrio térmico
>25 e ≤ 28	Pouco estresse térmico	Ligeiro estresse ao calor
>28 e ≤ 31	Quente moderado	Forte estresse ao calor - suor em profusão falha na termorregulação
>31 e ≤ 34	Quente	Forte Estresse ao calor
> 34	Muito quente	Extremo estresse ao calor

Fonte: Adaptado de Suping et al. (1992) apud Pallota *et al* (2015).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados aqui apresentados estão focados na variabilidade interanual da estação de verão e anualmente. A Figura 2 mostra a variabilidade do ICT nas regiões estudadas para a estação de verão.

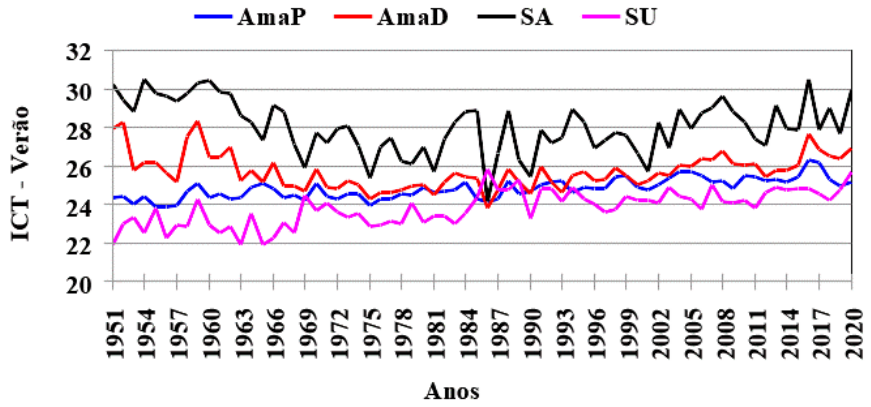


Figura 2 - Índice de conforto térmico (ICT) para a estação de verão nas regiões estudadas. Amazônia preservada (Amap), Amazônia desmatada (AmaD), Semiárido Nordestino (SA) e Sul/Sudeste do Brasil (SU).

Nota-se que as regiões com maiores ICT foi a Região da Amazônia desmatada (AmaD) e a Região Semiárida (SA) do Nordeste do Brasil com valores de ICT, em geral, acima de 25, o que indica estresse térmico, no qual se evidencia uma tendência desse aumento a partir dos 1980. Ainda no semiárido nordestino o ICT teve valores acima de 28 nos anos 50 e 60 e após os anos 2000, indicando condições de estresse moderado ao calor. Nas regiões da Amazônia preservada (AmaP) e do Sul/Sudeste do Brasil (SU), o ICT apresentou valores que indicaram quase nenhum estresse por calor, com valores entre 22 e 25 na maioria dos anos, embora que tenha sido observado um aumento do ICT a partir dos anos 1980.

A Figura 3 corrobora as análises da Figura 2. A variabilidade interanual do ICT médio mostrou que as regiões mais impactadas com efeitos antropogênicos e o aquecimento global devido aos gases de efeito estufa foram a AmaD e o SA do Brasil, com valores mais expressivos observados principalmente a partir dos anos 80. As regiões da AmaP e o SU mostraram-se menos impactadas com o aquecimento global desses últimos anos com índices de ICT mais baixos.

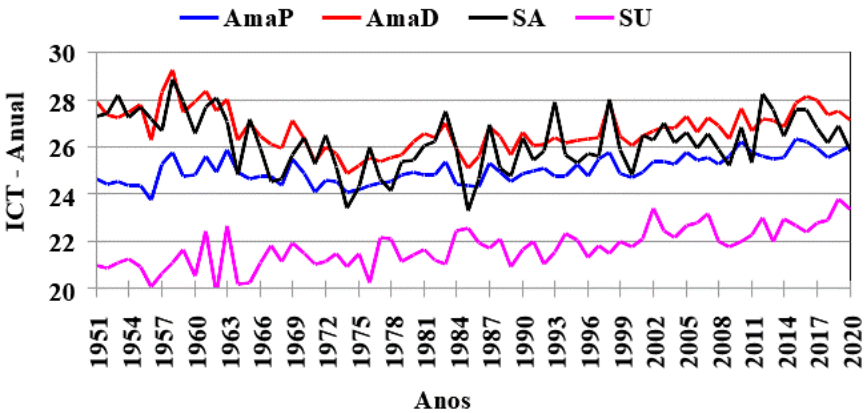


Figura 3 - Índice de conforto térmico (ICT), média anual, nas regiões estudadas. Amazônia preservada (AmaD), Amazônia desmatada (AmaD), Semiárido nordestino (SA) e Sul/Sudeste do Brasil (SU).

Vale mencionar que nesses últimos anos as temperaturas diárias em várias regiões do Brasil, inclusive a Sudeste, têm experimentado temperaturas acima de 35ºC e 40ºC e com mais com ondas de calor (SILVA *et al.* 2022). Caso a formulação dos índices adotasse a temperatura máxima do mês, os resultados para o Sudeste brasileiro seriam significativamente superiores a 25, evidenciando um grau ainda maior de estresse térmico fisiológico.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os impactos antrópicos mais severos foram registrados no Semiárido nordestino, o que pode ter sido agravado pela variabilidade climática interanual e avanço da desertificação, bem como na Amazônia impactada pela substituição da floresta nativa pela pecuária e o agronegócio. O Semiárido apresentou a condição térmica mais crítica impulsionado pelas altas temperaturas e a variabilidade climática de um clima mais seco. Na Amazônia desmatada, os índices também indicaram aquecimento. Destaca-se que, após um leve decréscimo entre 1951 e meados de 1970, ambas as regiões assumiram uma forte e contínua tendência de aumento no estresse térmico, consolidada a partir das décadas de 1980 e 2000.

A área de floresta amazônica mais preservada e a área analisada no Sudeste/Sul urbano demonstraram um aparente menor impacto pelo ICT de um aquecimento global e efeito antropogênico. Nessas regiões, as respostas fisiológicas a esses fatores não atingiram os mesmos níveis críticos de desconforto. Contudo, destaca-se o registro de um incremento positivo no ICT durante as últimas três décadas, evidenciando que mesmo as áreas mais resilientes já refletem o aquecimento sistêmico.

Para estudos futuros sugere-se calcular outros ICTs e usar a temperatura máxima média mensal para possibilitar inferir os efeitos do aquecimento global mais explicitamente observados nesses últimos anos, com vários eventos de ondas de calor no território brasileiro (BALARINN *et al.* 2024).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAO, H *et al.* Comparative Performance of a Field-Based Assessment of Human Thermal Comfort Indices in Urban Green Space. *Sustainability*, *17*, 4671, 2025.

BALARINN, A. S.; OLIVEIRA, P. T. S.; UCHOA, J. G. S. M. 2024. *et al*. Escalating threat of human-perceived heatwaves in Brazil. **Environ. Res. Commun**. 6 111004.

BURIOL. G.A.; *et al.* Conforto térmico para os seres humanos nas condições de ambiente natural em Santa Maria, RS, Brasil. **Cienc Rural** [Internet]. 45(2):223–30. 2015.

GUERRERO-SERRANO, P. M.; SALVO-TIERRA, A. E. Evidence on the improvement of the thermal comfort index and habitability in bioclimatic spaces of the Mediterranean region. **Journal of Mediterranean Cities**, 5(1), 1–16. 2025.

HERSBACH, H.; BELL, B.; BERRISFORD, P.; *et al*. The ERA5 global reanalysis. **QJR Meteorol Soc.** 2020;146:1999–2049. https://doi.org/10.1002/qj.380.

LUCENA, R. L.; *et al.* Heat and human comfort in a town in Brazil's semi-arid region. ***Int. J. Clim. Chang. Impacts Responses***. *8*, 15, 58, 2016.

LI, J.; *et. al.* Spatial and temporal variation characteristics of comfort index of human body in Xizang Plateau. ***Arid Land Geogr***, *47*, 980–992, 2024.

MIRANDA, V. F. V.; *et. al.* Heat stress in South America over the last four decades: a bioclimatic analysis. **Theoretical and Applied Climatology**, 155:911–928, 2024.

SUPING, Z.; *et al.* Study of the relationships between weather conditions and the marathon race, and of meteorotropic effects on distance runners. **International Journal of Biometeorology**, 36, 2, 63–68, 1992.

PALLOTTA, M.; *et. al*. Estudo das condições de tempo e conforto térmico no desempenho esportivo aplicado à maratona da cidade do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**. 30, 2, 2015.

SILVA, N. S.; ALVES, J. M. B.; SILVA, E. M.; SOUSA, G. M. Ocorrência de Ondas de Calor com Dados de Reanálises em áreas do Nordeste, Amazônia e Centro-Sudeste do Brasil. **Rev Bras Meteorol** [Internet]. 37(4):441–51. 2022.