

Avaliação do Conforto Térmico em Diamantina, MG: Análise Temporal de 50 Anos (1974-2024)

Julia Eduarda Araujo¹, Lucas da Costa Santos²

¹Mestranda, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM; ²Professor, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri - UFVJM; E-mail: julia.eduarda@ufvjm.edu.br

Resumo - Este estudo analisou a dinâmica do conforto térmico em Diamantina, MG, entre 1974 e 2024, utilizando quatro índices climáticos. Verificou-se predominância de condições amenas a ligeiramente frias e mínima ocorrência de desconforto por calor. O teste de Mann-Kendall revelou uma significativa redução dos dias de frio e desconforto por resfriamento, indicando uma transição para um clima mais confortável. Tais achados convergem com estudos prévios e projeções climáticas, sugerindo aumento das temperaturas mínimas na região e impactando positivamente o conforto térmico local.

Palavras-chave: Bioclimatologia, Mudanças Climáticas, Vale do Jequitinhonha.

Thermal Comfort Assessment in Diamantina, MG, Brazil: A 50-Year Temporal Analysis (1974-2024)

Abstract - This study analyzed the dynamics of thermal comfort in Diamantina, MG, between 1974 and 2024 using four climatic indices. Predominantly mild to slightly cool conditions were observed, with minimal occurrence of heat-related discomfort. The Mann-Kendall test revealed a significant reduction in cold days and cold-related discomfort, indicating a transition toward a more comfortable climate. These findings are consistent with previous studies and climate projections, suggesting an increase in minimum temperatures in the region and positively impacting local thermal comfort.

Key-words: Bioclimatology, Climate Change, Climate Change.

Introdução

O crescente processo de urbanização global, especialmente em países em desenvolvimento, tem gerado profundas transformações ambientais nas cidades. No Brasil, a rápida e desordenada urbanização pós-Segunda Guerra Mundial acentuou desafios como o aquecimento atmosférico urbano, que resulta em ilhas de calor, inversão térmica e poluição (RIBEIRO et al., 2018).

Em face das alterações climáticas, o conforto térmico tornou-se crucial, pois o aumento previsto das temperaturas (2°C a 6°C até 2100 no Brasil) eleva os riscos à saúde, especialmente em áreas urbanas onde a retenção de calor por superfícies e a poluição intensificam as condições térmicas e os problemas cardiorrespiratórios (RIBEIRO e SANTOS, 2017).

Esta investigação concentrou-se em Diamantina, MG, cidade com clima tropical de altitude (Cwa/Cwb) influenciado pela elevação geográfica, resultando em verões amenos e invernos frios (MOURA e BAGGIO, 2023). O objetivo foi avaliar a dinâmica do conforto térmico no município ao longo de 50 anos (1974-2024), utilizando índices bioclimáticos e analisando tendências temporais.

Material e métodos

Utilizamos dados diários de temperatura e umidade relativa do ar da estação meteorológica do INMET em Diamantina para analisar as mudanças no conforto térmico entre 1974 e 2024. Foram aplicados diversos índices bioclimáticos (Tabela 1), selecionados por sua facilidade de obtenção de dados, aplicabilidade em espaços abertos e adaptabilidade a climas tropicais (RIBEIRO et al., 2018).

Tabela 1. Descrição dos índices bioclimáticos utilizados, suas fórmulas e respectivas classificações de conforto e desconforto térmico, em que Ta: temperatura do ar (°C); Td: temperatura do ponto de orvalho (°C); e UR: umidade relativa do ar (%).

	Fórmula	Classificação - Santos e Melo (2010)	
		Intervalo do IDH	Efeito
Índice de Desconforto Humano (IDH) proposto por Ono e Kawamura (1991)	$IDH = 0,99 * Ta + 0,36 * Td + 41,5$	IDH > 80	Estresse devido ao calor
		75 > IDH > 80	Desconfortável devido ao calor
		60 > IDH > 75	Confortável
		55 > IDH > 60	Desconfortável devido ao frio
		IDH < 55	Estresse devido ao frio
	Fórmula	Classificação - Terjung (1966) e adaptado por Sá (2024)	
		Intervalo do ID (°C)	Níveis de Conforto Térmico
Índice de Desconforto Térmico (IDT) proposto por Thom (1959)	$IDT = T - (0,55 - 0,0055 * UR) * (Ta - 14,5)$	ID > 30°C	Stress térmico
		27°C < ID < 30°C	Desconforto por aquecimento
		24°C < ID < 27°C	Leve desconforto
		20°C < ID < 24°C	Zona de conforto ou neutralidade térmica
		18°C < ID < 20°C	Leve desconforto
		15°C < ID < 18°C	Desconforto por resfriamento
		12°C < ID < 15°C	Resfriamento elevado
Índice de Temperatura e Umidade (ITU) citado por Barbirato et al. (2007)	Fórmula	Classificação Nóbrega e Lemos (2011) apud Barboza et al (2019)	
		ITU	Nível de desconforto

$ITU = 0,8 \cdot Ta + (UR \cdot T)/500$	ITU <14.9°C	Desconfortável
	15 < ITU < 19.9°C	Confortável
	20 < ITU < 26.4°C	Conforto parcial
	ITU > 26.5°C	Desconfortável
Classificação Equipe do Laboratório MASTER (IAG/USP)		
Fórmula	TE (°C)	Sensação térmica
Temperatura Efetiva (TE) proposta por Missenard (1937) citado por Ribeiro et al (2018) $TE = Ta - 0,4 \cdot (Ta - 10) \cdot (1 - 0,01UR)$	TE < 05 °C	Muito Frio
	05 °C < TE < 10 °C	Frio
	10 °C < TE < 13 °C	Moderadamente Frio
	13 °C < TE < 16 °C	Ligeiramente Frio
	16 °C < TE < 19 °C	Pouco Frio
	19 °C < TE < 22°C	Ligeiramente Fresco
	22 °C < TE < 25 °C	Confortável
	25 °C < TE < 28 °C	Ligeiramente Quente
	28 °C < TE < 31 °C	Moderadamente Quente
	31 °C < TE < 34 °C	Quente
	TE >34 °C	Muito Quente

Fonte: Ono e Kawamura (1991); Thom (1959); Barbirato et al. (2007); Missenard (1937); Ribeiro et al (2018); Melo e Santos (2010); Terjung (1966). Sá (2024); Nóbrega e Lemos (2011); Barboza et al (2019).

Calculou-se as classificações de conforto e desconforto térmico para cada índice, quantificando-se anualmente a frequência de dias em cada categoria. Para identificar tendências temporais, empregou-se o teste não paramétrico de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1948), reconhecido por sua robustez e independência de distribuição estatística, sendo eficaz na detecção de tendências monotônicas em séries temporais.

Resultados e discussão

A frequência percentual de dias em cada classificação está apresentada na Figura 1, que exhibe as condições térmicas em Diamantina.

O Índice de Desconforto Térmico (IDT) indicou predominância de "desconforto por resfriamento" (32,25%) e "leve desconforto" (35,39%), com uma zona de conforto limitada (14,95%). Em contraste, o Índice de Desconforto Humano (IDH) mostrou 92,28% de dias "Confortáveis", com frio mínimo e ausência total de estresse por calor. A Temperatura Efetiva (TE) apontou para "Pouco Frio" (44,38%) como a condição mais frequente, seguida por "Ligeiramente Fresco" (31,73%) e "Ligeiramente Frio" (21,51%), confirmando a escassez de dias quentes.

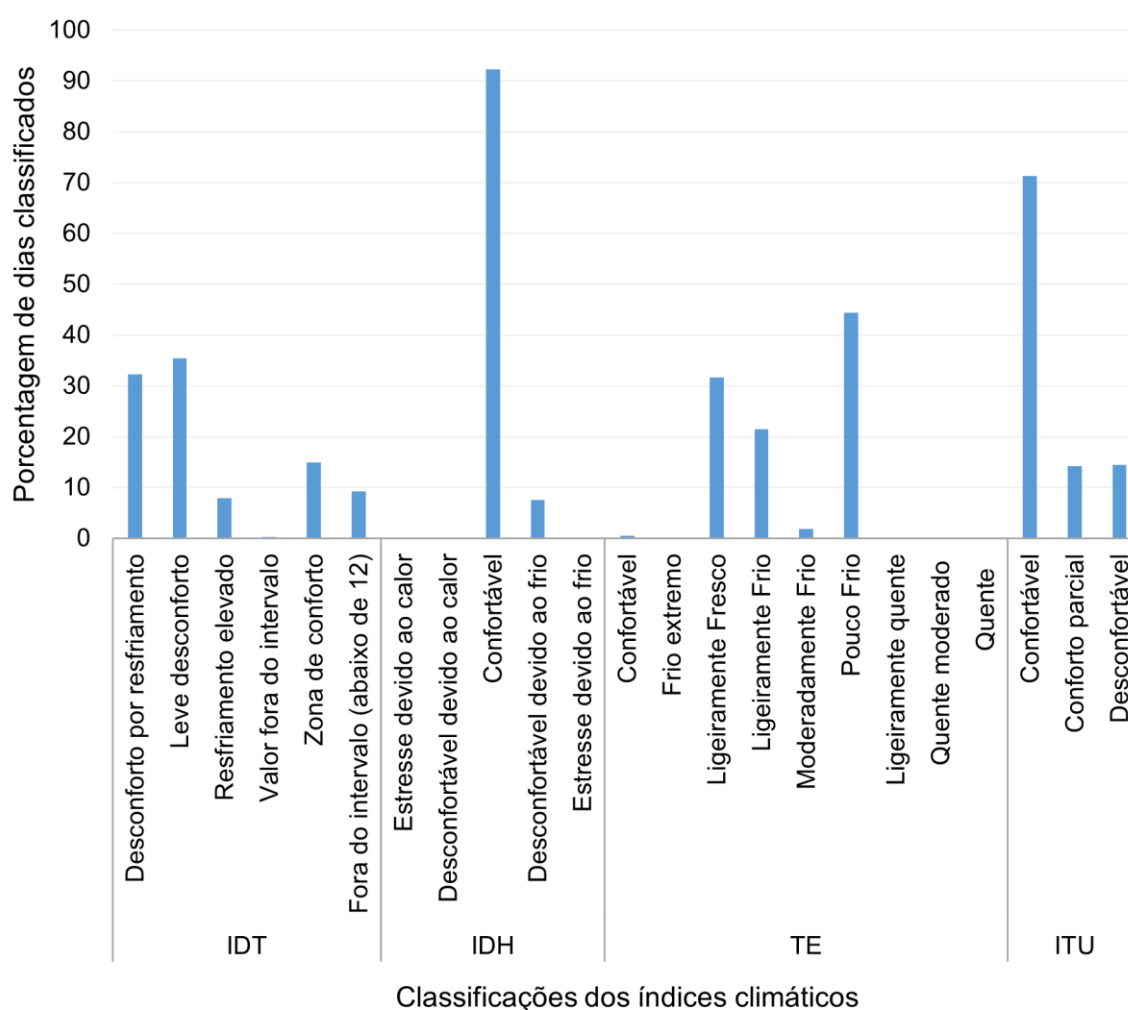


Figura 1. Frequência percentual das classificações de conforto e desconforto térmico em Diamantina, MG, no período de 1974 a 2024, segundo os índices de Desconforto Térmico (IDT), Desconforto Humano (IDH), Temperatura Efetiva (TE) e Temperatura e Umidade (ITU).

O Índice de Temperatura e Umidade (ITU) reforçou a predominância de dias "Confortáveis" (71,27%), com "Conforto parcial" (14,26%) e menor percentual de "Desconfortável" (14,47%). Em geral, os índices indicam um clima predominantemente ameno a ligeiramente frio, com baixa ocorrência de desconforto por calor.

Os resultados do teste de Mann-Kendall (Tabela 2) para 1974-2024 mostraram uma tendência geral de redução do frio e desconforto por resfriamento.

Tabela 2. Resultados do teste de Mann-Kendall para as classificações de conforto e desconforto térmico em Diamantina, MG, no período de 1974 a 2024.

Índice	Categoria	Tau de Kendall
Temperatura Efetiva (TE)	Confortável	0.15 ^{ns}
	Frio	-0.07*
	Ligeiramente Fresco	0.33 ^{ns}
	Ligeiramente Frio	-0.09*
	Moderadamente Frio	-0.14*
	Pouco Frio	-0.06*
Índice de Desconforto Humano (IDH)	Confortável	0.29 ^{ns}
	Desconfortável devido ao frio	-0.03*
	Estresse devido ao frio	-0.14*
Índice de Temperatura e Umidade (ITU)	Confortável	0.05*
	Conforto parcial	0.35 ^{ns}
	Desconfortável	-0.09*
Índice de Desconforto Térmico (IDT)	Desconforto por resfriamento	-0.17*
	Leve desconforto	0.13 ^{ns}
	Resfriamento elevado	-0.09*
	Valor fora do intervalo	-0.19*
	Zona de conforto ou neutralidade térmica	0.35 ^{ns}

Nota: (*) indica significância estatística ($p < 0,05$). (^{ns}) indica não significância estatística ($p > 0,05$).

Houve diminuição significativa ($p < 0,05$) de dias de "frio", "ligeiramente frio" e "moderadamente frio" na TE, e um aumento não significativo de dias "confortáveis". O IDH também mostrou redução significativa ($p < 0,05$) no desconforto por frio. O ITU indicou aumento significativo ($p < 0,05$) nos dias "confortáveis" e diminuição significativa ($p < 0,05$) nos dias "desconfortáveis". O IDT apresentou queda significativa ($p < 0,05$) no "desconforto por resfriamento" e "resfriamento elevado". Esses dados sugerem uma transição para condições mais amenas e confortáveis, com uma leve indicação de aumento no "leve desconforto" que pode sinalizar uma aproximação de condições mais quentes.

A comparação com a literatura corrobora nossos achados. Costa (2023), em um estudo de 30 anos em Diamantina, também identificou a predominância de condições "pouco frio" e "ligeiramente frio" (TE) e alto conforto pelo IDH, convergindo com nossas análises de 50 anos. A pesquisa de Costa (2023) também observou tendências positivas para o conforto térmico (IDH) e negativas para a TE, corroborando nossas tendências de redução significativa do frio e desconforto por frio. Essa diminuição da severidade do frio e o aumento do conforto térmico em Diamantina são igualmente apoiados por Santos et al. (2024), que registraram tendências significativas de aumento da temperatura mínima na cidade nos últimos 50 anos. Em resumo, a dinâmica observada em Diamantina alinha-se às projeções de mudanças climáticas, apontando para um aumento das temperaturas médias e impactos diretos no conforto térmico local.

Conclusões

1. Diamantina exhibe majoritariamente condições térmicas amenas a ligeiramente frias, com mínima ocorrência de desconforto por calor. Observou-se uma tendência significativa de diminuição nos dias de frio intenso e desconforto por resfriamento, apontando para um clima gradualmente menos rigoroso.

2. As tendências identificadas de aquecimento e aumento do conforto térmico alinham-se às projeções de mudanças climáticas, sugerindo que a região está experimentando um aumento nas temperaturas médias mínimas, impactando positivamente as condições de conforto térmico local.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão de bolsa de estudos à primeira autora.

Referências

BARBIRATO, G. M.; DE SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. Clima e cidade: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos. UFAL, 2007.

BARBOZA, E. N. et al. Análise do índice de calor (IC), índice de conforto térmico (IDT) e índice de temperatura e umidade (ITU) na cidade de Iguatu/CE a partir de dados históricos. 2019.

COSTA, J. F. Identificação de tendências no conforto e desconforto térmico humano em ambientes externos no Vale do Jequitinhonha e Norte de Minas Gerais. 2023. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2023.

DE SÁ, A. S. et al. Índice de desconforto térmico e sua projeção para cenários futuros no município de Tucuruí-PA. **Revista Ouricuri**, v. 14, n. 2, p. 03-26, 2024.

KENDALL, Maurice George. Rank correlation methods. 1948.

MANN, Henry B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica: Journal of the econometric society**, p. 245-259, 1945.

MISSENARD, A. L'homme et le climat. Paris: Librairie Plon, 1937.

MOURA, L. do C.; BAGGIO FILHO, H. O Vale do Jequitinhonha em Minas Gerais e a geografia de Diamantina. 2023.

ONO, H.-S. P.; KAWAMURA, T. Sensible climates in monsoon Asia. **International Journal of Biometeorology**, v. 35, n. 01, p. 39-47, 1991.

RIBEIRO, C. R.; GONÇALVES, A. P.; BASTOS, F. P. Ilhas de calor urbanas e conforto térmico humano em cidades de porte médio: estudo aplicado em Juiz de Fora (MG). **Ra'e Ga**, v. 45, n. 1, 2018.

RIBEIRO, S. K.; SANTOS, A. S. **Mudanças Climáticas e Cidades**. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro: COPPE - UFRJ, 2016. 116p. Disponível em: http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/Relatorio_UM_v10-2017-1.pdf. Acesso em: 17 jul. 2025.

SANTOS, L. d. C. et al. Desvendando Tendências Climáticas e Projeções Futuras no Sudeste do Brasil: Um Estudo de Caso do Patrimônio Histórico Agrícola do Brasil. **Sustentabilidade**, v. 16, n. 11, 4811, 2024. DOI: 10.3390/su16114811.

SANTOS, W. R. T.; MELO, M. L. D. Índices de conforto e desconforto térmico humano segundo os cenários climáticos do IPCC. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2010.

THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, v. 12, p. 57-61, 1959.