

EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE O ESTRESSE TÉRMICO OCUPACIONAL E A PRODUTIVIDADE CAFEEIRA NO BRASIL (2010–2024)

EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON OCCUPATIONAL HEAT STRESS AND COFFEE PRODUCTIVITY IN BRAZIL (2010–2024)

EFFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL ESTRÉS TÉRMICO OCUPACIONAL Y LA PRODUCTIVIDAD DEL CAFÉ EN BRASIL (2010-2024)

Lucas Deleon Ramirio¹, Fernando Ferrari Putti², Geraldo Gomes de Oliveira Júnior³, Lucas Eduardo de Oliveira Aparecido⁴, Luiz Fernando de Oliveira⁵, Rogério William Fernandes Barroso⁶

DOI: 10.54899/dcs.v22i82.3332

Recibido: 05/09/2025 | **Aceptado:** 08/09/2025 | **Publicación en línea:** 18/09/2025.

RESUMO

A cafeicultura brasileira, reconhecida mundialmente pela expressividade econômica e social, enfrenta novos desafios diante das mudanças climáticas, que ampliam a vulnerabilidade de trabalhadores rurais e impactam o rendimento agrícola. A elevação progressiva das temperaturas médias e a maior incidência de eventos extremos aumentam os riscos de estresse térmico ocupacional, especialmente em atividades a céu aberto. Nesse contexto, o Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG) destaca-se como ferramenta essencial para avaliar a exposição ao calor e subsidiar medidas preventivas em saúde ocupacional. Objetivou-se analisar a evolução da temperatura do ar entre 2010 e 2024 nas principais cidades cafeeiras brasileiras, avaliando seus efeitos sobre a sobrecarga térmica ocupacional (IBUTG) e a produtividade agrícola, esta última correlacionada diretamente à temperatura ambiente. Foram selecionados seis municípios que mais produziram café no período avaliado da cafeicultura nacional (Cacoal/RO, Porto Seguro/BA, Linhares/ES, Muriaé/MG, Patrocínio/MG e Varginha/MG), com base em dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e séries históricas de produção de café. Os resultados indicaram tendência de aumento do estresse térmico, com frequentes superações dos níveis de ação e, em alguns casos, dos limites de exposição ocupacional, sobretudo no verão e em horários críticos. Também se observou correlação negativa entre a

¹ Doutor em Agricultura Sustentável, Universidade José do Rosário Vellano (UNIFENAS), Alfenas, Minas Gerais, Brasil. E-mail: lucas.ramirio@ifsuldeminas.edu.br

² Pós-Doutor em Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Tupã, São Paulo, Brasil. E-mail: fernando.putti@unesp.br

³ Pós-Doutor em Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Tupã, São Paulo, Brasil. E-mail: geraldo.junior@muz.ifsuldeminas.edu.br

⁴ Doutor em Agronomia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP), Jaboticabal, São Paulo, Brasil. E-mail: lucas.aparecido@muz.ifsuldeminas.edu.br

⁵ Mestre em Sistema de Produção na Agropecuária, Universidade José do Rosário Vellano (UNIFENAS), Alfenas, Minas Gerais, Brasil. E-mail: luiz.oliveira@muz.ifsuldeminas.edu.br

⁶ Mestre em Sistema de Produção na Agropecuária, Universidade José do Rosário Vellano (UNIFENAS), Alfenas, Minas Gerais, Brasil. E-mail: rogerio.barroso@muz.ifsuldeminas.edu.br

elevação da temperatura média anual e os volumes produtivos, sugerindo que ambientes mais quentes tendem a reduzir a produtividade cafeeira. Esses achados reforçam a necessidade de estratégias adaptativas, como reorganização das jornadas, tecnologias de mitigação térmica e práticas agrônômicas resilientes, conciliando a proteção da saúde ocupacional com a sustentabilidade da produção de café no Brasil.

Palavras-chave: Café. IBUTG. Produtividade Agrícola. Sobrecarga Térmica. Saúde Ocupacional.

ABSTRACT

Brazilian coffee farming, recognized worldwide for its economic and social significance, faces new challenges due to climate change, which increases the vulnerability of rural workers and impacts agricultural yields. The progressive rise in average temperatures and the greater incidence of extreme events increase the risk of occupational heat stress, especially in outdoor activities. In this context, the Wet Bulb Globe Thermometer Index (WBUGI) stands out as an essential tool for assessing heat exposure and supporting preventive measures in occupational health. The objective was to analyze the evolution of air temperature between 2010 and 2024 in the main Brazilian coffee-growing cities, assessing its effects on occupational heat stress (WBUGI) and agricultural productivity, the latter directly correlated with ambient temperature. Six municipalities that produced the most coffee during the period assessed for Brazilian coffee production (Cacoal, Rondônia; Porto Seguro, Bahia; Linhares, Espírito Santo; Muriaé, Minas Gerais; Patrocínio, Minas Gerais; and Varginha, Minas Gerais) were selected, based on meteorological data from the National Institute of Meteorology (INMET) and historical coffee production data. The results indicated a trend toward increasing heat stress, with frequent exceedances of action levels and, in some cases, occupational exposure limits, especially in summer and during critical periods. A negative correlation was also observed between rising average annual temperatures and production volumes, suggesting that hotter environments tend to reduce coffee productivity. These findings reinforce the need for adaptive strategies, such as reorganizing work hours, thermal mitigation technologies, and resilient agronomic practices, reconciling occupational health protection with the sustainability of coffee production in Brazil.

Keywords: Coffee. IBUTG. Agricultural Productivity. Heat Overload. Occupational Health.

RESUMEN

La caficultura brasileña, reconocida mundialmente por su importancia económica y social, enfrenta nuevos desafíos debido al cambio climático, que incrementa la vulnerabilidad de los trabajadores rurales e impacta la producción agrícola. El aumento progresivo de las temperaturas promedio y la mayor incidencia de eventos extremos incrementan el riesgo de estrés térmico ocupacional, especialmente en actividades al aire libre. En este contexto, el Índice de Termómetro de Globo y Bulbo Húmedo (WBUGI) se destaca como una herramienta esencial para evaluar la exposición al calor y apoyar las medidas preventivas en salud ocupacional. El objetivo fue analizar la evolución de la temperatura del aire entre 2010 y 2024 en las principales ciudades cafetaleras brasileñas, evaluando sus efectos sobre el estrés térmico ocupacional (WBUGI) y la productividad agrícola, esta última directamente correlacionada con la temperatura ambiente. Se seleccionaron los seis municipios con mayor producción de café durante el período evaluado para la producción cafetalera brasileña (Cacoal, Rondônia; Porto Seguro, Bahía; Linhares, Espírito

Santo; Muriaé, Minas Gerais; Patrocínio, Minas Gerais; y Varginha, Minas Gerais), con base en datos meteorológicos del Instituto Nacional de Meteorología (INMET) y datos históricos de producción de café. Los resultados indicaron una tendencia al aumento del estrés térmico, con frecuentes superaciones de los niveles de acción y, en algunos casos, de los límites de exposición ocupacional, especialmente en verano y durante períodos críticos. También se observó una correlación negativa entre el aumento de las temperaturas medias anuales y los volúmenes de producción, lo que sugiere que los entornos más cálidos tienden a reducir la productividad del café. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de estrategias adaptativas, como la reorganización de los horarios de trabajo, tecnologías de mitigación térmica y prácticas agronómicas resilientes, que concilien la protección de la salud ocupacional con la sostenibilidad de la producción cafetalera en Brasil.

Palabras clave: Café. IBUTG. Productividad Agrícola. Sobrecarga Térmica. Salud Ocupacional.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUÇÃO

A cafeicultura brasileira se destaca mundialmente não apenas pelo volume de produção e exportação, mas também pelo compromisso com práticas sustentáveis e a observância das normas de proteção ao trabalhador rural, incluindo ações voltadas à segurança e saúde ocupacional (Mapa, 2022).

A partir dos anos 2000, observa-se no Brasil um aumento progressivo das temperaturas médias, atribuído ao aquecimento global, fenômeno impulsionado pela intensificação do efeito estufa, sobretudo pela emissão de gases como o dióxido de carbono. Tal cenário torna o aquecimento global um fator essencial na análise da exposição ocupacional ao calor (Inmet, 2025; Bitencourt *et al.*, 2023b).

As mudanças climáticas intensificam a vulnerabilidade dos trabalhadores do campo, que enfrentam condições cada vez mais extremas de calor. Além de comprometer a saúde e o bem-estar desses profissionais, esse cenário pode também comprometer a produtividade agrícola. A convergência entre os riscos ocupacionais e produtivos exige estratégias integradas de adaptação, que aliem a proteção da saúde do trabalhador à sustentabilidade da cafeicultura.

Diante desse panorama, torna-se imprescindível adotar medidas preventivas voltadas à proteção dos trabalhadores expostos ao calor, especialmente aqueles que atuam em ambientes externos, dada a severidade dos impactos das altas temperaturas sobre a saúde humana

(Bitencourt *et al.*, 2023b). O estresse térmico, nesse contexto, configura-se como uma preocupação crescente na saúde ocupacional, agravada pelas mudanças climáticas e pela maior incidência de eventos extremos (Abidin *et al.*, 2025). Atividades realizadas a céu aberto, como na agricultura, em especial na cafeicultura, expõem os trabalhadores a riscos acentuados, exigindo estratégias eficazes de prevenção (Ramirio *et al.*, 2025).

Até o final de 2019, a legislação brasileira reconhecia como insalubre a exposição ao calor sempre que os limites de exposição fossem excedidos, independentemente da origem do agente térmico. O Anexo 3 da NR-15 incluía, inclusive, o calor natural como fonte de insalubridade. Entretanto, com as alterações normativas promovidas a partir de 2019, esse entendimento foi restringido. Dessa forma, a NR-15 passou a considerar apenas fontes artificiais, enquanto a NR-09 passou a exigir o controle da exposição ao calor, inclusive de origem natural, mediante estratégias como pausas, hidratação, vestimentas adequadas e reorganização do trabalho (Brasil, 2021; 2019).

Nesse novo cenário, o Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG) consolidou-se como ferramenta fundamental para mensuração do estresse térmico ocupacional. Reconhecido por instituições como a Fundacentro e a *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH), o IBUTG é referenciado nas normas brasileiras e calculado a partir de variáveis ambientais críticas como temperatura, umidade, vento e radiação solar (Fundacentro, 2025; ACGIH, 2024; Brasil, 2019; Saliba, 2021).

Outro aspecto essencial na avaliação do calor ocupacional é a taxa metabólica gerada pelo trabalhador, que varia de acordo com o tipo e intensidade da atividade (Zhang *et al.*, 2024). A partir desse parâmetro, são definidos dois limites de referência, sendo eles, o nível de ação, que sinaliza a necessidade de medidas preventivas, e o limite de exposição, no qual acredita-se que o trabalhador possa estar exposto sem danos a sua saúde durante a sua vida laboral (Fundacentro, 2025; Saliba, 2021). Segundo a NHO 06, ao se ultrapassar o nível de ação, devem ser adotadas pausas e medidas de proteção. Já a superação do limite de exposição exige a interrupção imediata da atividade ou ajustes que reduzam o risco à saúde. Essas diretrizes reforçam a importância do monitoramento contínuo do IBUTG, sobretudo em regiões agrícolas propensas à sobrecarga térmica (Fundacentro, 2025).

O desempenho das lavouras agrícolas também está condicionado às variáveis climáticas, que impactam diretamente as fases de crescimento e frutificação das plantas. No caso do café, compreender e considerar as condições ambientais e edáficas locais é fundamental para garantir

a viabilidade produtiva, a eficiência técnica e a sustentabilidade econômica da atividade (CONAB, 2019).

Esses desafios climáticos influenciam diretamente na produtividade agrícola, podendo comprometer o rendimento, a qualidade e a extensão das áreas cultiváveis. Na cafeicultura, os efeitos se manifestam por meio da redução da produtividade e da maior instabilidade das safras, exigindo a identificação de riscos e a adaptação de práticas agronômicas aos diferentes contextos ambientais. Projeções indicam um aumento expressivo das temperaturas globais nas próximas décadas, com intensificação de eventos extremos, como ondas de calor, secas prolongadas e precipitações irregulares (Della Peruta *et al.*, 2025).

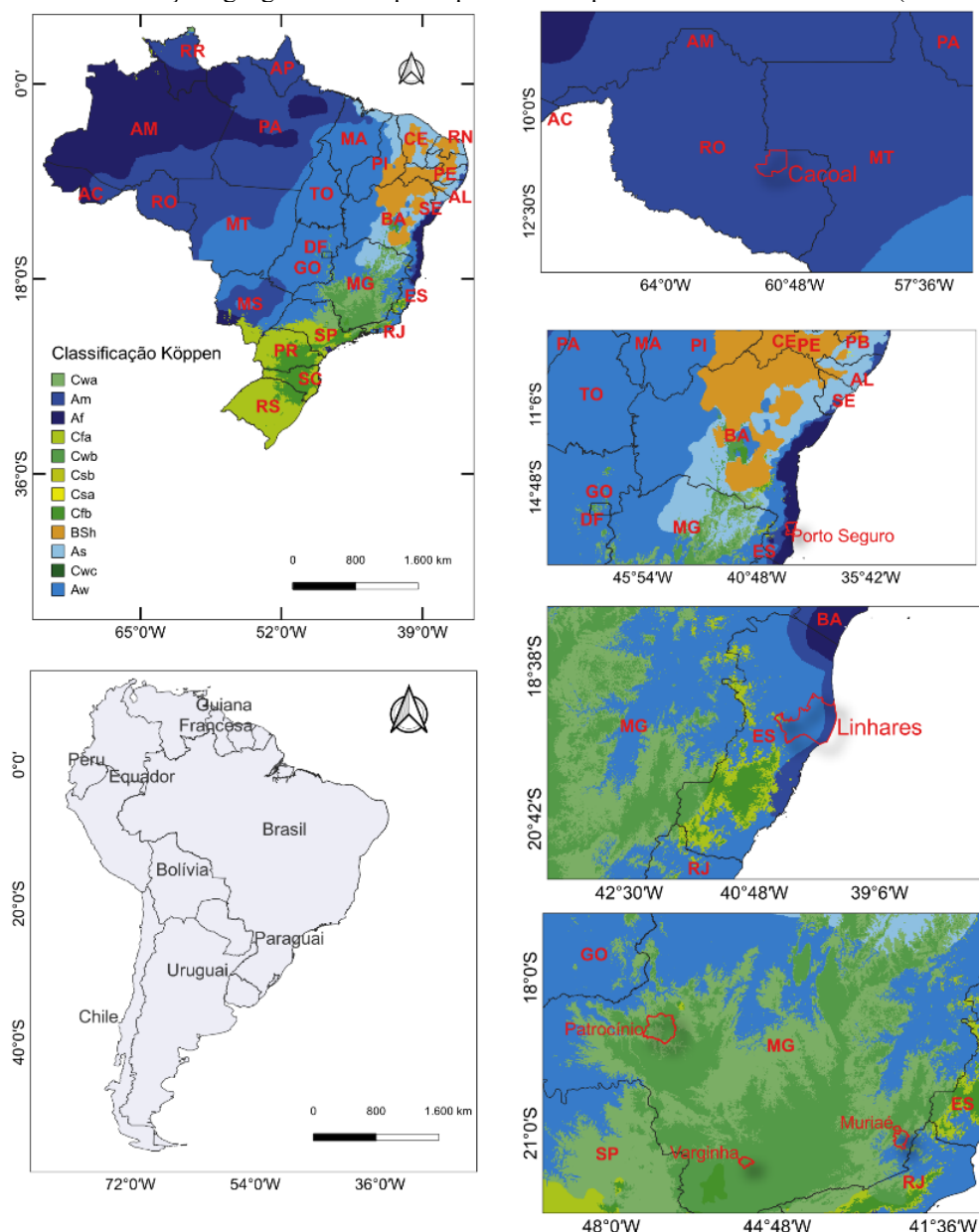
Apesar do avanço nas pesquisas sobre os impactos das mudanças climáticas na agricultura, ainda são escassos os estudos que utilizam variáveis climáticas, como o calor, para avaliar conjuntamente a saúde ocupacional dos trabalhadores e a produtividade da cafeicultura em diferentes regiões do país.

Objetivou-se analisar a evolução da temperatura do ar entre 2010 e 2024 nas principais cidades cafeeiras, avaliando seus efeitos sobre a sobrecarga térmica ocupacional (IBUTG) e a produtividade agrícola.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionadas as cidades de Cacoal/RO, Porto Seguro/BA, Linhares/ES, Muriaé/MG, Patrocínio/MG e Varginha/MG por sua expressiva representatividade na produção cafeeira nacional (Figura 1) (IBGE, 2024).

Figura 1 – Localizações geográficas das principais cidades produtoras de café no Brasil (2010-2024)



Fonte: Elaborada pelos próprios autores (2025)

A classificação climática das cidades analisadas é baseada no sistema de *Köppen-Geiger*, amplamente utilizado na climatologia para categorizar os tipos de clima conforme padrões de temperatura e precipitação.

Em Cacoal/RO, o clima é equatorial úmido (Am), caracterizado por chuvas abundantes ao longo do ano e baixa variação térmica sazonal, típico da região amazônica. Linhares (Aw) apresenta clima tropical com estação seca no inverno, combinando verões quentes e chuvosos com invernos mais secos. Porto Seguro (Af) possui clima tropical úmido sem estação seca definida, com chuvas bem distribuídas durante todo o ano, como é comum em regiões litorâneas

tropicais. Muriaé (Cwa) possui clima subtropical úmido, com verões quentes e chuvosos e invernos secos e definidos. Já Patrocínio e Varginha compartilham o clima Cwb, subtropical de altitude, com verões amenos e chuvosos e invernos mais frios e secos, característico de áreas serranas do Sudeste do Brasil (Alvares *et al.*, 2013).

A estimativa do Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG) foi realizada a partir de informações meteorológicas provenientes do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Esses dados são oriundos de estações meteorológicas automáticas (EMAs) que realizam medições, sem a necessidade de operador humano, as medições das Temperaturas do Ar (T) e de Ponto de Orvalho T_d , em °C, da Umidade Relativa do Ar (UR), em %, da Pressão Atmosférica (P), em hPa, da Radiação Solar (R), em $W\ m^{-2}$, e da Velocidade do Vento (V), em $m\ s^{-1}$.

A equação utilizada para estimar o IBUTG em ambientes externos, considerando a radiação solar, é dada pela seguinte fórmula (equação 01)

$$IBUTG = (0,7 \cdot T_{bn}) + (0,1 \cdot T_{bs}) + (0,2 \cdot T_g) \text{ - Equação 01}$$

Portanto, para avaliação da exposição ocupacional ao calor em áreas externas, que é o foco deste estudo, utilizou-se a equação 1, que é função da Temperatura de Bulbo Úmido Natural (T_{bn}), Temperatura do Ar – Bulbo Seco, Horária (T_{bs}), e da Temperatura de Globo (T_g), todas em °C. T_{bs} é diretamente observada nos ambientes externos pelas EMAs da rede meteorológica do INMET. Contudo, as temperaturas (T_{bn} e T_g) necessitam ser estimadas a partir de outras variáveis meteorológicas observadas pelo INMET.

Para esse estudo foi utilizado o método secundário para a obtenção do T_g , uma vez que o T_{bn} é o mesmo utilizado tanto para o método principal quanto o secundário.

A Temperatura de Bulbo Úmido Natural (T_{bn}) é obtida pela equação 2 de regressão linear múltipla abaixo (BITENCOURT *et al.*, 2023a).

$$T_{bn} = 10,44966 - 0,26523 \cdot V + 0,57175 \cdot T_d + 0,19447 \cdot T_{bs} - 0,05134 \cdot UR \text{ - Equação 02}$$

Onde:

- ❖ T_{bs} é a Temperatura do Ar – Bulbo Seco, Horária (°C);
- ❖ T_d é a temperatura do Ponto de Orvalho (°C);

- ❖ UR é a Umidade Relativa do Ar, Horária (%);
- ❖ V é a Velocidade do Vento em m s^{-1} .

A equação do método secundário para a Temperatura de Globo (T_g) encontra-se descrita na equação 03 (Bitencourt *et al.*, 2023a).

$$T_g = 1,374385 \cdot T_{bs} + 0,083627 \cdot UR - 1,021632 \cdot V - \text{Equação 03}$$

Onde:

- ❖ T_{bs} é a Temperatura do Ar – Bulbo Seco, Horária ($^{\circ}\text{C}$);
- ❖ UR é a Umidade Relativa do Ar, Horária (%);
- ❖ V é a Velocidade do Vento em m s^{-1} .

É necessário realizar um ajuste para velocidade do vento, pois a velocidade do vento a ser utilizada na equação 2 e 3 deve ser estimada a uma altura de 1,50 metros do solo, porém as estações meteorológicas captam a velocidade do vento a uma altura de 10 metros. A correção da velocidade do vento por ser realizada por meio da equação 04 (Bitencourt *et al.*, 2023a).

$$V_{1,5\text{ m}} = V_{10\text{ m}} \times [\ln(1,5 / z_0) \div \ln(10 / z_0)] - \text{Equação 04}$$

Onde:

- ❖ $V_{1,5}$ é a velocidade estimada do vento a 1,5 m de altura (m/s);
- ❖ V_{10} é a velocidade do vento medida a 10 m de altura (m/s);
- ❖ z_0 é o comprimento de rugosidade do solo (m);
- ❖ $\ln$ é o logaritmo natural.

Neste estudo, adotou-se $z_0 = 0,4$ m, valor típico para áreas com vegetação média, conforme descrito na literatura.

A velocidade do vento a 1,5 metros acima do solo foi estimada com base nos valores medidos a 10 metros de altura, utilizando a equação do perfil logarítmico de vento. Esse ajuste foi necessário para representar de forma mais precisa as condições reais de exposição ao vento

em nível próximo ao corpo humano, especialmente em estudos sobre exposição ocupacional ao calor.

Foram coletados dados de 90 noventa dias para cada estação do ano e cada horário de 2010 a 2024, que representará atividade desenvolvida a partir da determinação da carga metabólica específica (Tabela 1). Cada dia, portanto, constituirá uma repetição.

Tabela 1 – Descrição dos tratos culturais, tipo de atividade, taxa metabólica, nível de ação e limite de exposição.

Trato Cultural	Estação do Ano	Início / Fim das Estações	Tipo de Atividade	Taxa Metabólica (W)	Nível de Ação ⁽¹⁾ (°C)	Limite de Exposição (°C)
Manejo de plantas daninhas	Outono	20 de março / 21 de junho	Trabalho moderado com braços e pernas	441	22,7	26,3
Varrição	Inverno	22 de junho / 21 de setembro	Trabalho moderado com o corpo	468	22,3	26,0
Adubação	Primavera	22 de setembro / 21 de dezembro	Trabalho pesado com o corpo	630	20,7	24,7
Plantio	Verão	22 de dezembro / 19 de março	Trabalho leve com o corpo	351	24,0	27,4

⁽¹⁾ Nível de ação para trabalhadores aclimatizados e limite de exposição ocupacional ao calor para trabalhadores não aclimatizados.

Fonte: Elaborada pelos próprios autores (2025)

Os valores de IBUTG obtidos para cada atividade estudada foram comparados com o nível de ação e limite de exposição ocupacional da NR 09 e NHO 06 para trabalhadores aclimatizados e não aclimatizados (Brasil, 2021; Fundacentro, 2025).

Os dados de produtividade agrícola foram obtidos por meio do banco de Tabelas Estatísticas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), considerando a quantidade total de café produzida em toneladas. Para cada município analisado, considerou-se a série histórica anual das culturas de café entre os anos de 2010 e 2024, permitindo a análise comparativa entre produtividade e variáveis climáticas (IBGE, 2024).

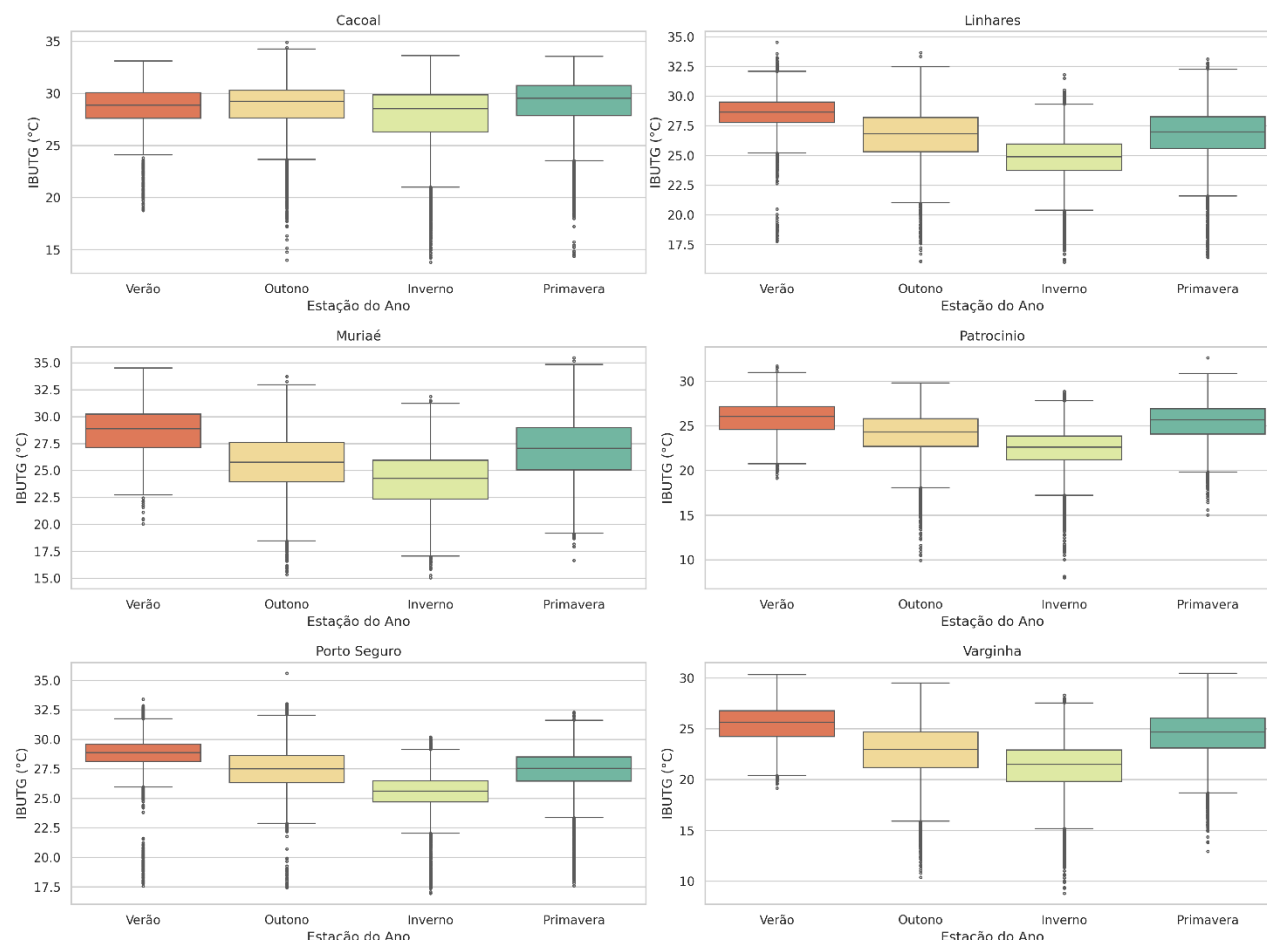
Os dados do IBUTG foram submetidos à análise de variância. Foi analisada a interação entre as atividades e os horários avaliados. Os dados foram submetidos ao teste de Scott-Knott a 5% de significância, utilizando o software R, versão 4.1.2 (R core team, 2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta os resultados da análise dos índices de estresse térmico (IBUTG) nas diferentes localidades avaliadas, assim como os dados de produtividade cafeeira correspondentes a cada município.

A Figura 2 apresenta o IBUTG médio por estação nas cidades avaliadas. Com exceção de Cacoal/RO, observou-se padrão sazonal bem definido, com valores mais elevados no verão e redução no inverno, refletindo a influência climática ao longo do ano, Muriaé/MG, Patrocínio/MG, Varginha/MG e Linhares/ES destacam-se pela expressiva variação entre as estações, enquanto Porto Seguro/BA manteve valores elevados durante todo o período, com pico no verão. Cacoal, por sua vez, apresentou menor variação sazonal, indicando um clima mais estável.

Figura 2 - Comparação do IBUTG entre as Estações do Ano nas Cidades Avaliadas (2010-2024).



Fonte: Elaborada pelos próprios autores (2025)

Essas diferenças destacam a influência do clima local sobre o estresse térmico ocupacional. O aumento do IBUTG no verão pode elevar o risco de exaustão térmica, especialmente em atividades externas como na agricultura. Assim, o acompanhamento sazonal do índice é essencial para orientar medidas preventivas, como pausas, vestimentas adequadas e hidratação. Compreender essa sazonalidade contribui para o planejamento de jornadas de trabalho mais seguras e para o fortalecimento de políticas públicas voltadas à saúde do trabalhador.

Esse padrão sazonal do IBUTG é consistente com estudos que identificam variações significativas na exposição térmica durante a colheita manual de café no Sul de Minas Gerais, associadas às mudanças sazonais (Ramirio *et al.*, 2021). A literatura também destaca que o calor ocupacional compromete a saúde e a produtividade de trabalhadores expostos a ambientes externos com alta carga térmica (Amoadu *et al.*, 2023). Além disso, as diferenças climáticas regionais entre as cidades analisadas podem explicar as variações nos valores médios de IBUTG ao longo do ano.

Com base nas médias sazonais do IBUTG (Figura 2) e nos níveis de ação definidos e limites de exposição para cada atividade agrícola (Tabela 1), observa-se que esses valores ultrapassaram na maioria das cidades e estações. Durante o verão, todas as localidades superaram o limite de 24,0 °C associado ao plantio. Na primavera, mesmo cidades com clima mais ameno, como Varginha, apresentaram valores superiores ao limite de 20,7 °C para adubação. Situações semelhantes foram registradas no outono e inverno, especialmente em Cacoal, Muriaé, Linhares e Porto Seguro. Esses dados evidenciam riscos contínuos de estresse térmico e reforçam a necessidade de medidas preventivas ao longo de todo o ano.

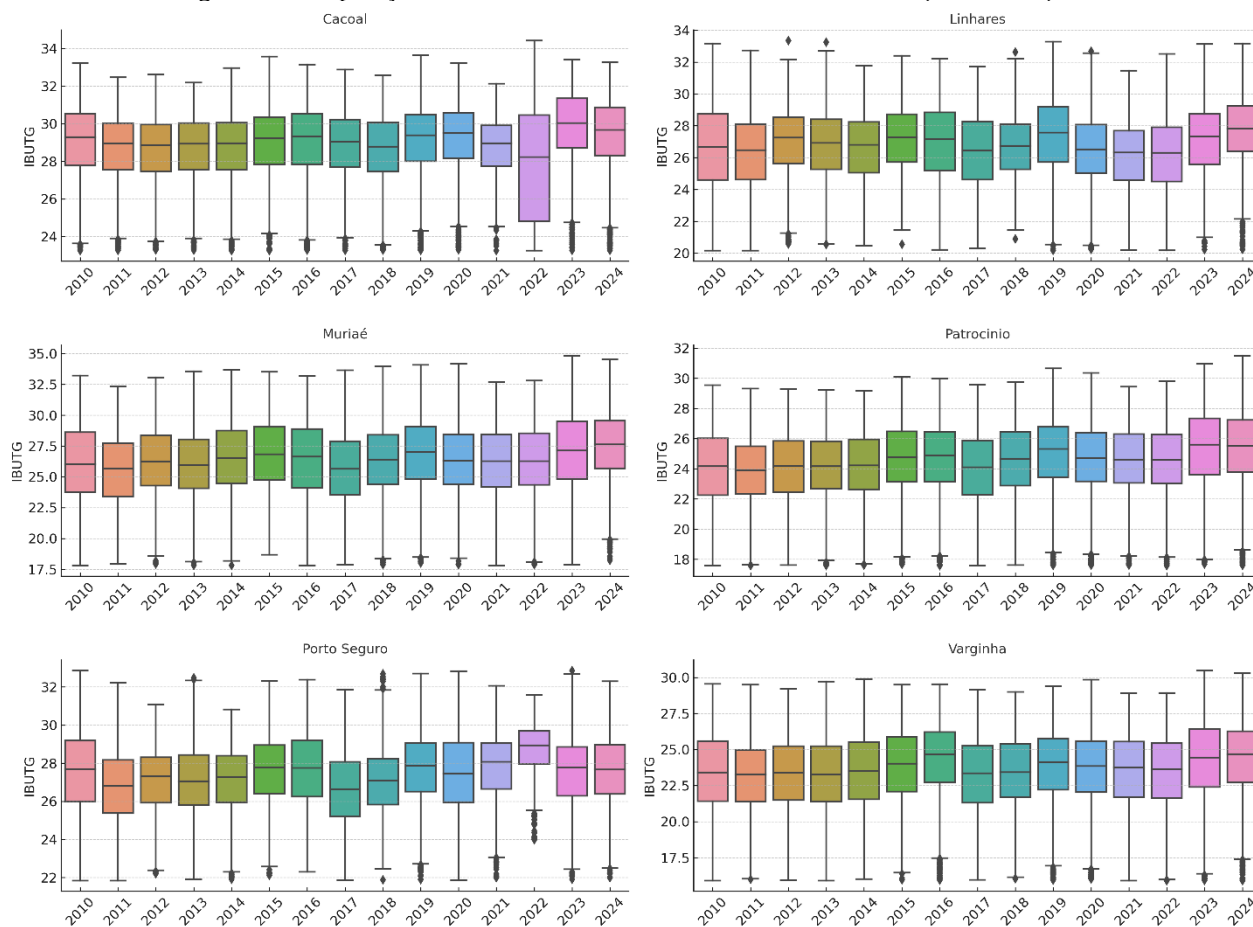
No verão, cidades como Cacoal, Muriaé, Linhares e Porto Seguro excederam o limite de 27,4 °C para atividades de plantio. Na primavera, todas as localidades ultrapassaram o valor de 24,4 °C estipulado para adubação. Mesmo no inverno, Cacoal e Muriaé apresentaram médias acima do limite de 22,3 °C referente ao pós-colheita.

Esses achados indicam que o estresse térmico pode permanecer presente ao longo de todo o ano, exigindo a adoção de medidas preventivas ou corretivas. Segundo a NHO 06, quando o IBUTG ultrapassa o nível de ação, devem ser adotadas medidas como pausas, revezamentos e hidratação. Já a superação do limite de exposição exige a interrupção da atividade ou adequações imediatas para reduzir o risco à saúde do trabalhador. Essas diretrizes reforçam a importância do monitoramento contínuo do IBUTG em ambientes agrícolas, especialmente em regiões e horários mais propensos à sobrecarga térmica (FUNDACENTRO Fundacentro, 2025).

Os resultados deste estudo reforçam que o estresse térmico ocupacional é uma realidade recorrente em diferentes regiões cafeeiras do país. O nível de ação foi ultrapassado em grande parte do dia, e o limite de exposição foi excedido em municípios como Linhares, Porto Seguro e Cacoal, principalmente entre 11h e 15h. Esses achados estão alinhados com os resultados de Ramirio *et al.* (2025), que identificaram situações semelhantes em Nova Resende/MG, especialmente durante o verão, ressaltando a importância de estratégias preventivas regionais e eficazes.

A Figura 3 mostra a evolução anual do IBUTG médio entre 2010 e 2024 nas seis cidades analisadas. Nota-se uma tendência de aumento gradual do índice, sobretudo a partir de 2016, com ênfase para 2023 e 2024, que apresentam medianas mais elevadas na maioria das localidades. Esse comportamento sugere possíveis impactos das mudanças climáticas regionais, com elevação das temperaturas médias e maior exposição ocupacional ao calor.

Figura 3 - Comparação de IBUTG médio anual nas cidades avaliadas (2010-2024)



Fonte: Elaborada pelos próprios autores (2025)

Em Cacoal, os valores de IBUTG permanecem estáveis até 2022, com aumento expressivo em 2023 e 2024. Linhares apresenta leve oscilação ao longo dos anos, mas também registra crescimento recente. Muriaé revela elevação contínua a partir de 2017, com maior mediana e dispersão. Patrocínio e Varginha seguem tendência semelhante, com aumento gradual e maior variabilidade nos últimos anos. Em Porto Seguro, os valores permanecem elevados e mais estáveis, possivelmente em função do clima tropical litorâneo.

Esses resultados evidenciam a crescente importância de monitorar o estresse térmico, já que a elevação do IBUTG ao longo dos anos pode intensificar os riscos à saúde e segurança dos trabalhadores. Esse cenário destaca a necessidade de políticas adaptativas, com estratégias como ajustes nos horários de trabalho, criação de áreas sombreadas e garantia de hidratação contínua, sobretudo em ambientes rurais e agrícolas.

Estudos realizados com dados históricos entre 1961 e 2010 já demonstram um aumento progressivo nos níveis de estresse térmico no Brasil, especialmente em atividades realizadas ao ar livre. Projeções para as próximas décadas indicam que esse cenário pode se agravar, com destaque para as regiões Norte e Centro-Oeste do país. Diante disso, torna-se imprescindível a adoção de estratégias preventivas e a revisão das políticas públicas voltadas à saúde ocupacional, incluindo a reorganização das jornadas de trabalho, investimentos em tecnologias adaptativas e atualizações nas normas trabalhistas para mitigar os impactos do calor excessivo sobre os trabalhadores (Bitencourt *et al.*, 2020).

Na Figura 4 apresenta a evolução anual do IBUTG e da temperatura do ar nas seis cidades analisadas ao longo de 15 anos. De modo geral, nota-se uma tendência crescente em ambas as variáveis, com trajetórias bastante semelhantes, especialmente a partir de 2016. Essa correspondência visual evidencia a forte influência da temperatura na composição do IBUTG, que também considera umidade e radiação.

Figura 4 - Evolução anual do IBUTG e da temperatura do ar em todas as cidades analisadas (2010-2024)



Fonte: Elaborada pelos próprios autores (2025)

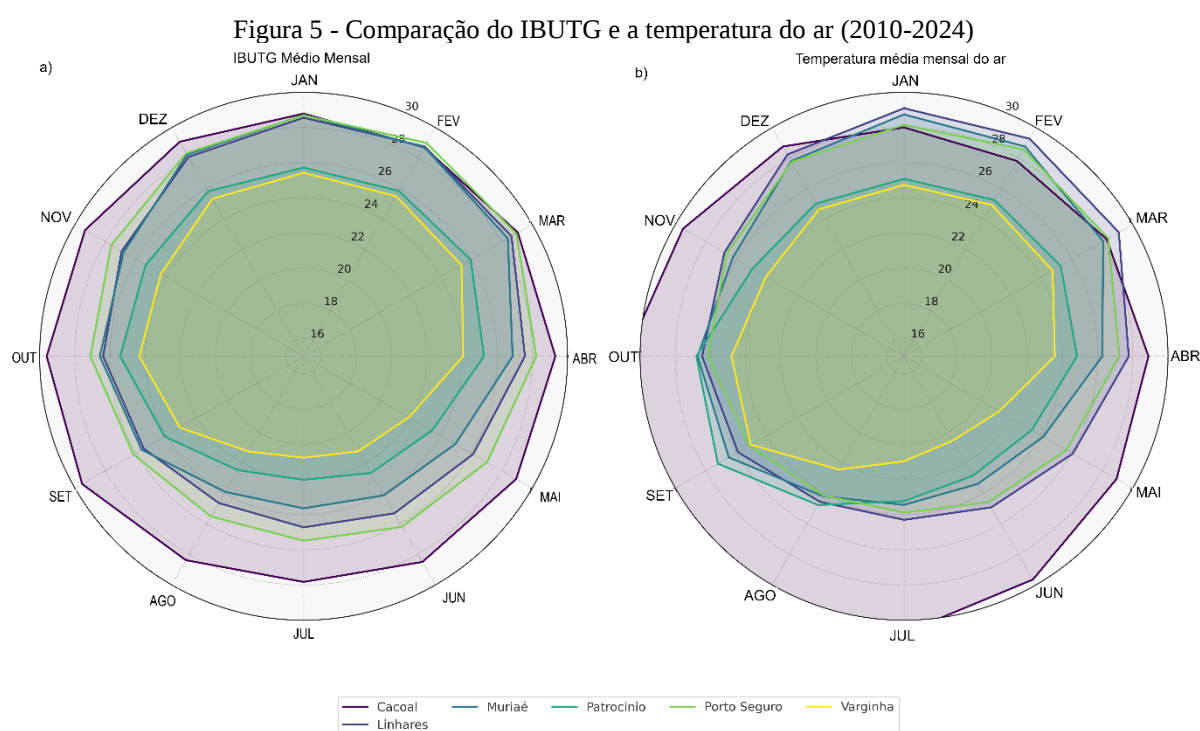
Em Cacoal, Muriaé e Varginha, o aumento do IBUTG acompanha de forma consistente os picos de temperatura, com destaque para 2024, quando ambas atingem os maiores valores da série. Linhares e Patrocínio também mostram evolução paralela, embora com oscilações mais acentuadas. Em Porto Seguro, a temperatura média permanece alta durante todo o período, mas o IBUTG varia menos, o que pode ser explicado pela estabilidade térmica típica do litoral.

Esses resultados sugerem intensificação do estresse térmico em ambientes externos nos últimos anos. O crescimento conjunto da temperatura do ar e IBUTG reforça a importância do monitoramento climático contínuo e da adoção de medidas preventivas para proteger trabalhadores expostos ao calor, como aqueles do setor agrícola. Avaliar essas variáveis de forma integrada permite ações mais eficazes no planejamento ocupacional.

As mudanças climáticas têm intensificado a ocorrência de ondas de calor, agravando o estresse térmico em diversas regiões do Brasil. Trabalhadores que atuam ao ar livre, especialmente na agricultura, estão entre os mais vulneráveis, devido à exposição prolongada a altas temperaturas, umidade e radiação solar. Evidências apontam para o aumento dos valores de

IBUTG ao longo dos anos, indicando maior risco à saúde ocupacional (Bitencourt *et al.*, 2020). Estudos com séries históricas de temperatura, como o conduzido por Mello *et al.* no estado de São Paulo entre 1931 e 2020, confirmam esse padrão ao identificarem um ciclo térmico anual marcado por picos em janeiro e mínimas em junho, refletindo a sazonalidade do clima e seus impactos sobre o conforto térmico e a segurança no trabalho (Mello *et al.*, 2023).

A Figura 5 apresenta diagramas do tipo radar que comparam as médias mensais do IBUTG (a) e da temperatura do ar (b) nas cidades analisadas. Observa-se um padrão sazonal bem definido em ambas as variáveis, com elevação nos meses mais quentes (dezembro a março) e declínio no inverno (junho a agosto), especialmente nas cidades do interior. Cacoal e Linhares destacam-se pelos maiores valores médios ao longo do ano, enquanto Varginha apresenta os menores, possivelmente em função da altitude e do clima mais ameno. Porto Seguro exhibe valores intermediários, com menor amplitude mensal, o que reflete sua estabilidade térmica típica de áreas litorâneas.



Fonte: Elaborada pelos próprios autores (2025)

A semelhança entre os perfis das curvas reforça a influência direta da temperatura do ar sobre o IBUTG. No entanto, a diferença entre os formatos sugere que outras variáveis, como umidade relativa, radiação e vento, também contribuem para a composição do índice. Essa

distinção é importante, pois evidencia que o IBUTG oferece uma avaliação mais abrangente do estresse térmico do que a temperatura isoladamente, o que justifica seu uso em estudos ocupacionais e ambientais.

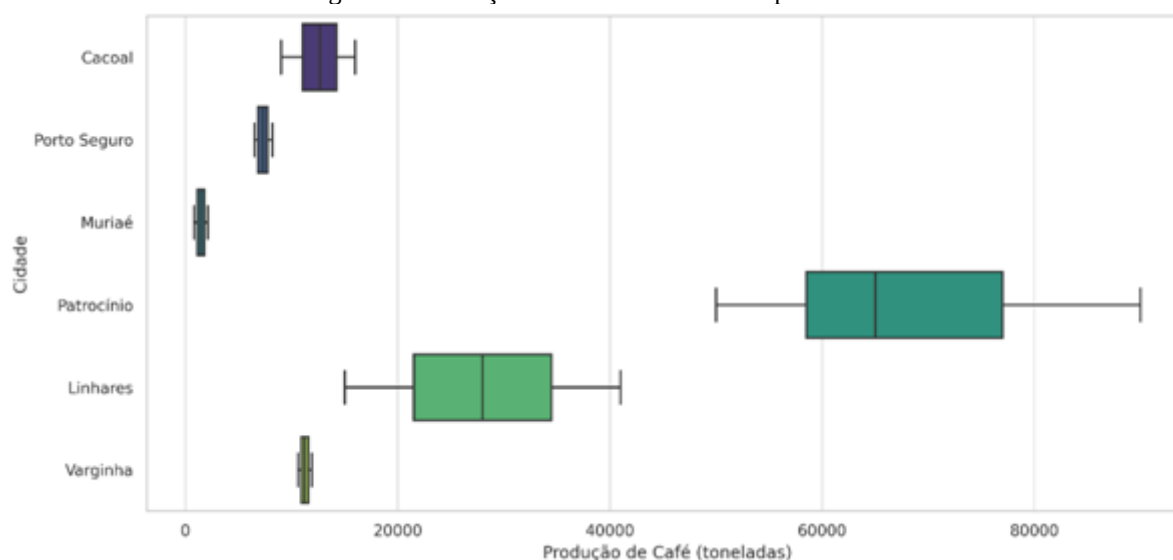
Esses achados vêm ao encontro do que foi constatado por Constatine Yaglou e David Minard, em 1957, durante estudos com recrutas da Marinha dos Estados Unidos expostos ao sol. Na época, constatou-se que o uso exclusivo da temperatura do ar para definir pausas era insuficiente para prevenir os efeitos adversos do calor. A introdução do IBUTG, que considera múltiplos fatores ambientais, como a umidade relativa do ar, a velocidade do vento e a radiação solar, permitiu ajustes mais eficazes nos intervalos de descanso e na intensidade das atividades, reduzindo significativamente os riscos à saúde dos trabalhadores expostos ao calor (SALIBA Saliba, 2021).

Além disso, a disposição gráfica em radar facilita a identificação dos meses críticos para cada localidade, apoiando o planejamento de medidas preventivas em atividades a céu aberto. A adoção de estratégias adaptativas durante os períodos mais intensos de calor pode contribuir significativamente para a proteção da saúde dos trabalhadores, sobretudo em setores vulneráveis como a agricultura e a construção civil.

A Figura 6 apresenta os dados de produção anual de café nas seis cidades analisadas, revelando contrastes marcantes nos volumes produtivos. Patrocínio destaca-se como o principal polo cafeeiro, com as maiores médias e elevada variabilidade interanual. Linhares também apresenta produção relevante, mas com menor amplitude. Em contraponto, Muriaé exibe os menores volumes e maior estabilidade, enquanto Cacoal e Porto Seguro ocupam posição intermediária. Essas diferenças podem estar associadas a fatores como área plantada, manejo, variedade cultivada e condições climáticas locais.

A análise da produção em conjunto com a temperatura média anual pode subsidiar reflexões sobre o impacto da temperatura na produtividade agrícola, especialmente em contextos de mudanças climáticas. Ao identificar regiões com maior exposição ao calor e variação produtiva acentuada, torna-se possível orientar políticas públicas e estratégias de adaptação tecnológica no setor cafeeiro.

Figura 6 – Produção de Café em Toneladas por Cidade

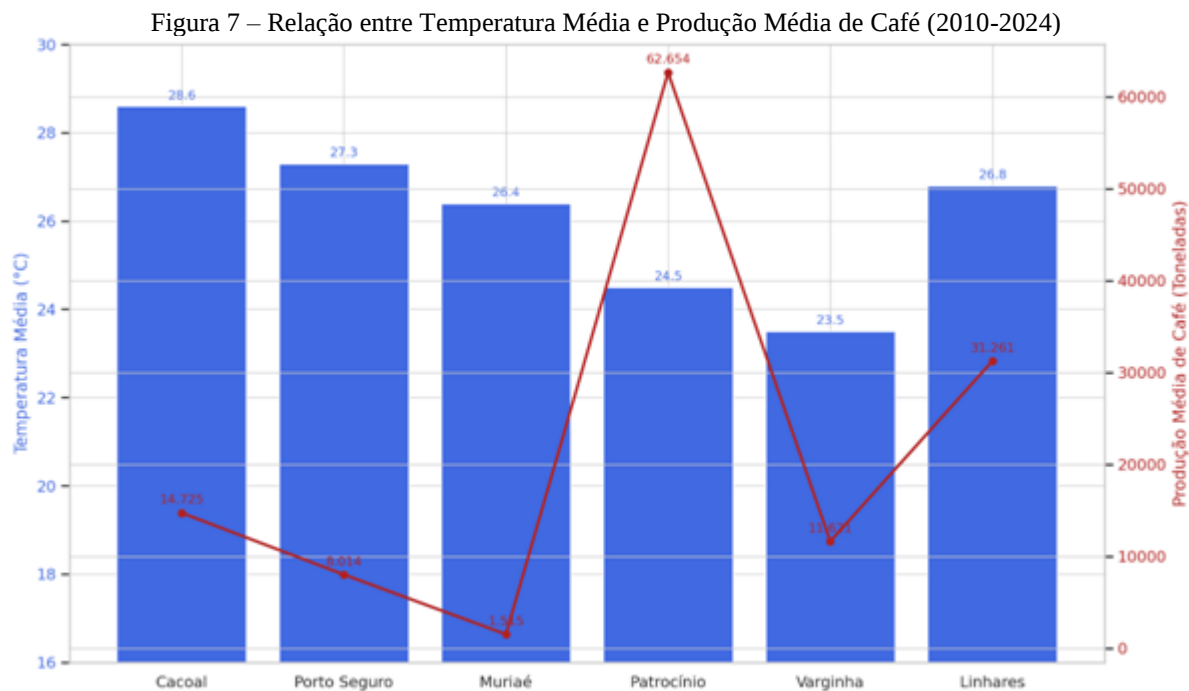


Fonte: Elaborada pelos próprios autores (2025)

A análise de correlação de Pearson entre a temperatura média anual e a produtividade de café nas cidades avaliadas revelou um coeficiente de correlação $r=-0.69$, o que indica uma correlação moderadamente negativa entre as variáveis. Em outras palavras, há uma tendência de que, quanto maior o valor médio da temperatura, menor seja a produção de café. No entanto, o valor de $p = 0.198$ aponta que essa correlação não é estatisticamente significativa ($p>0.05$).

A Figura 7 ilustra a relação entre a temperatura média anual e a produção média anual de café nas seis cidades analisadas. Observa-se que Patrocínio apresenta a menor temperatura média ($24,5^{\circ}\text{C}$) e, simultaneamente, o maior volume médio de produção cafeeira (62.555 toneladas), sugerindo uma possível associação entre temperaturas mais amenas e maior produtividade agrícola. Em contraste, Muriaé, Porto Seguro e Cacoal registram as maiores temperaturas médias ($26,4^{\circ}\text{C}$, $27,3^{\circ}\text{C}$ e $28,9^{\circ}\text{C}$, respectivamente), com produções significativamente inferiores, destacando-se Muriaé, com média anual abaixo de 5 mil toneladas.

Esse comportamento indica que ambientes com temperaturas mais elevadas tendem a restringir o desempenho das lavouras, enquanto condições térmicas mais moderadas favorecem a produtividade do café. No entanto, a relação entre temperatura e produção pode ser modulada por outros fatores locais, como observado em Linhares, que, mesmo com média térmica elevada ($26,8^{\circ}\text{C}$), apresenta uma produção expressiva. Isso pode ser atribuído ao uso de tecnologias adequadas, cultivares mais resistentes e características edafoclimáticas específicas.



Fonte: Elaborada pelos próprios autores (2025)

Esses achados reforçam a importância de considerar a temperatura média do ar como uma variável ambiental crítica na produção cafeeira, sobretudo diante das mudanças climáticas. A adoção de estratégias adaptativas, como o sombreamento das plantas, o manejo hídrico eficiente e a escolha de variedades mais tolerantes ao calor, pode ser determinante para minimizar perdas produtivas em regiões com tendência de aquecimento.

O setor cafeeiro tem sido particularmente sensível às alterações do clima, que afetam diretamente o rendimento das lavouras. Nesse contexto, torna-se essencial reconhecer os riscos climáticos envolvidos e analisar a capacidade de adaptação das práticas agrícolas às distintas condições ambientais e geográficas (Della Peruta *et al.*, 2025).

A Figura 7 indica que o aumento da temperatura média do ar pode impactar negativamente a produtividade cafeeira nas cidades analisadas. Tal padrão reforça evidências de que o estresse térmico durante fases críticas do ciclo da planta, como floração e maturação, tende a reduzir o rendimento e comprometer a qualidade dos grãos (Carvalho *et al.*, 2020).

Resultados semelhantes foram relatados por pesquisadores ao analisarem séries históricas entre 1974 e 2017, que apontaram um aumento médio de 0,25 °C por década nos municípios produtores de café do Brasil, além da diminuição da precipitação nos períodos críticos de floração e maturação. Essas mudanças já provocaram perdas superiores a 20% na produção na região Sudeste, com destaque para Minas Gerais, estado com elevada exposição climática e forte

dependência econômica da cafeicultura (Oliveira *et al.*, 2019).

Sendo assim, a elevação da temperatura ambiente também representa risco à saúde dos trabalhadores rurais, especialmente aqueles expostos diretamente ao calor em atividades externas. Tais condições exigem estratégias adaptativas, como o cultivo em áreas de clima mais ameno e o escalonamento das jornadas para horários com menor carga térmica.

CONCLUSÃO

Os resultados deste estudo indicam que, ao longo dos últimos 15 anos, o IBUTG apresentou tendência de elevação nas cidades analisadas, com superações frequentes dos níveis de ação e, em alguns casos, dos limites de exposição, sobretudo durante o verão e nos horários mais críticos do dia. Esse cenário representa risco crescente à saúde dos trabalhadores rurais, especialmente na cafeicultura, onde há elevada exposição ao sol, esforço físico intenso e escassez de medidas de mitigação térmica.

Observou-se, ainda, que o aumento da temperatura do ar, está associado à redução da produtividade cafeeira em determinadas regiões. Esse cenário sugere que o aquecimento progressivo das condições ambientais afeta simultaneamente o bem-estar dos trabalhadores e o desempenho agrícola, exigindo maior atenção ao planejamento de safras, à escolha de áreas com microclima mais ameno e à adoção de medidas adaptativas no campo.

Apesar dos achados relevantes, o estudo apresenta limitações, principalmente relacionadas à abrangência territorial. A análise concentrou-se em seis municípios representativos, mas a obtenção e o tratamento dos dados climáticos e produtivos ainda são processos complexos e morosos. Sugere-se, portanto, a ampliação da amostra em pesquisas futuras, com inclusão de novas regiões produtoras, a fim de consolidar uma base nacional mais ampla sobre os impactos do calor extremo na cafeicultura brasileira.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), Campus de Tupã – SP, pelo apoio ao desenvolvimento do estágio de pós-doutorado (Processo n.º 5538), e ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais (IFSULDEMINAS), representado pelo Campus Muzambinho, pelo apoio institucional e

financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABIDIN, A. U. *et al.* Tri. Heat stress in landfill environments: evaluating worker exposure and occupational risks. **Case Studies In Chemical And Environmental Engineering**, [S.L.], v. 11, p. 101097, 2025.

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

AMOADU, M. *et al.* Impact of climate change and heat stress on workers' health and productivity: a scoping review. **The Journal Of Climate Change And Health**, [S.L.], v. 12, p. 100249, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE HIGIENISTAS OCUPACIONAIS. **TLVs e BEIs – Tradução dos limites de exposição (TLVs) para substâncias químicas e agentes físicos e índices biológicos de exposição (BEIs) da ACGIH**. ACGIH. [S.l.: s.n.], 2024.

BITENCOURT, D. P. *et al.* Climate change impacts on heat stress in Brazil — Past, present, and future implications for occupational heat exposure. **International Journal of Climatology**, v. 41, n. 1, p. 2741-2756, 2020.

BITENCOURT, D. P. *et al.* **Monitor IBUTG – Avaliação da Exposição Ocupacional ao Calor**. São Paulo: Fundacentro, 2023 a.

BITENCOURT, D. P. *et al.* Trabalho a céu aberto: passado, presente e futuro sobre exposição ocupacional ao calor. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, n.48, p. 1-8, 2023b

BRASIL. Escola Nacional da Inspeção do Trabalho. Normas Regulamentadoras. **NR 15: atividades e operações insalubres**. 2019.

BRASIL . Escola Nacional da Inspeção do Trabalho. Normas Regulamentadoras. **NR 09: Avaliação e Controle das Exposições Ocupacionais a Agentes Físicos, Químicos e Biológicos**, 2021.

CARVALHO, L. C. S. *et al.* Influência das mudanças climáticas na produção cafeeira. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 2, p. 789–807, 2020.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra de café e condições edafoclimáticas (Relatório 2019)**. Brasília: CONAB, 2019.

DELLA PERUTA, R. *et al.* Projecting trends of arabica coffee yield under climate change: a process-based modelling study at continental scale. **Agricultural Systems**, v. 227, p. 104353, 2025.

Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho - FUNDACENTRO. **Norma de higiene ocupacional 06 - NHO 06: avaliação da Exposição Ocupacional ao**

Calor. 3. ed. São Paulo. FUNDACENTRO, 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Tabela 5457: Área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes. SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática, 2024.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados históricos da estação automática de Passos (MG), 2025.**

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Café no Brasil e Ementário do Café.** 2022.

MELLO, G. S. L. *et al.* Análise da tendência de aumento da temperatura do ar nas cidades de Santa Isabel e São Paulo, estado de São Paulo, a partir de diferentes bases de dados, e levantamento de impactos. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.L.], v. 32, p. 760-785, 2023.

OLIVEIRA, B. F. A. *et al.* Human Heat stress risk prediction in the Brazilian semiarid Region based on the Wet-Bulb Globe Temperature. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [S.L.], v. 91, n. 3, p. 1-13, 2019.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2021.**

RAMIRIO, L. D. *et al.* Workers' exposure to occupational heat during manual coffee harvesting. **Ciência Rural**, v. 51, n. 11, 2021.

RAMIRIO, L. D. *et al.* Occupational heat in semi-mechanized coffee harvesting. **Observatório de la Economía Latinoamericana**, v. 23, n. 3, p. e9316, 2025.

SALIBA, T. M. **Manual prático de avaliação e controle de calor: PPRA. 9. ed.** São Paulo: Editora LTR, 2021.

ZHANG, Y. *et al.* Exploring thermal comfort and pleasure in outdoor shaded spaces: inspiration for improving thermal index models. **Building And Environment**, [S.L.], v. 265, p. 111933, 2024.