

Ondas de calor: caracterização, métricas e efeitos**Luis Otavio do Amaral Marques**

Mestre, USP, Brasil.
luis.otavio.marques@usp.br

Eduardo Meireles

Professor Doutor, UEMG, Brasil.
eduardo.meireles@uemg.br

Nayara Luciana Jorge

Mestre, USP, Brasil.
nayara.ljorge@usp.br

Jean Lucas Rosa

Mestre, UEMG, Brasil.
jeanlucas.rosa@hotmail.com

João Paulo Leonardo de Oliveira

Professor Doutor, UEMG, Brasil.
joao.oliveira@uemg.br

RESUMO

No âmbito das mudanças climáticas, muitos têm sido os esforços para que seus efeitos sejam evitados ou mitigados. Eventos climáticos extremos como ondas de calor têm se tornado mais frequentes e intensos no mundo todo, gerando complicações à saúde humana, além de outros desequilíbrios ambientais e socioeconômicos. Sendo assim, o presente artigo realiza uma revisão bibliográfica e documental atual a fim de se definir as ondas de calor, destacar o uso do Índice de Calor para quantificar a percepção térmica e avaliar seus efeitos nocivos. Foi constatado que o maior risco à saúde humana ocorre em idosos e em pessoas com sistemas circulatório e respiratório debilitados. Outras consequências indiretas são a proliferação de insetos, contaminação de lençóis freáticos, alterações na produção agropecuária, necessidade de ajustes de dosagem em medicamentos psicotrópicos e anti-hipertensivos, interrupções nos sistemas de transporte e de fornecimento de energia elétrica e aumento nos acidentes de trabalho.

PALAVRAS-CHAVE: Ondas de calor. Mudanças climáticas. Índice de calor. Extremos climáticos. Ações mitigadoras.

1 INTRODUÇÃO

Constituindo um dos temas centrais dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, a questão das mudanças climáticas representa atualmente uma preocupação global, em especial devido aos já observados efeitos nocivos ao ambiente, à economia e à sociedade (ONU, 2022a).

As emissões de gases do efeito estufa (GEEs) como o dióxido de carbono (CO₂), ozônio (O₃), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O) aumentaram desde a era pré-industrial, devido ao crescimento econômico e populacional. A elevação da concentração destes gases na atmosfera acarreta no aumento da temperatura terrestre (MOREIRA; GIOMETT, 2008; IPCC, 2014). Isso contribui para o fenômeno global das mudanças climáticas, modificando os padrões de chuvas e alterando a distribuição de eventos extremos, caracterizando-se como um cenário de incertezas e preocupações (NOBRE, 2001; RIBEIRO 2008; IPCC, 2014; ESPÍNDOLA; RIBEIRO, 2020).

Pode-se definir como eventos climáticos extremos aqueles de duração, intensidade e/ou frequência atípicos e que causam danos ao funcionamento de uma comunidade ou sociedade em seu cotidiano. Como exemplo, pode-se citar a ocorrência de ondas de calor, secas, incêndios, furacões, frio intenso, fortes precipitações, enchentes, deslizamentos, dentre outros (FIOCRUZ, 2022).

Nairn e Fawcett (2015) apontam que ondas de calor provocaram historicamente mais mortes na Austrália, nos Estados Unidos e na Europa que qualquer outro desastre natural. A Organização Mundial de Saúde (OMS) destaca que as mortes costumam estar relacionadas indiretamente às ondas de calor, pois elas geralmente agravam aqueles estados de saúde que já apresentam fragilidades, como diabetes, doenças cardíacas, esclerose múltipla e problemas renais, afetando mecanismos de regulação térmica e hídrica do organismo (HAVENITH, 2005).

A forte onda de calor que se alastrou em 2022 pela Europa foi amplamente divulgada nas mídias internacionais. Países como Reino Unido, Portugal, Espanha e França observaram-se diante de um extremo climático que exigiu rápidas e eficazes medidas para minimizar os danos na saúde de seus habitantes.

O Serviço de Meteorologia do Reino Unido emitiu neste ano, pela primeira vez na história, alerta vermelho de calor no país. Os termômetros de Londres registraram temperaturas superiores a 40°C. O antigo recorde de temperatura no país era de 38,7°C, observado na cidade de Cambridge no verão de 2019. Tanto o órgão britânico quanto a Organização Meteorológica Mundial (OMM) relacionaram esse evento às mudanças climáticas. Aspectos como o aumento, frequência, duração e intensidade dessas ondas de calor foram associados diretamente à atividade antrópica (ONU, 2022b).

Em Portugal e na Espanha, os termômetros registraram 46°C ainda no mês de julho de 2022, causando uma série de incêndios nesses países. Na França, o Serviço Nacional de

Meteorologia emitiu alerta vermelho de temperaturas extremas para 15 de seus 96 departamentos administrativos, enquanto outros 15 receberam alerta laranja. Os incêndios florestais decorrentes desse calor atingiram mais de 13 mil hectares em cinco dias na região de Gironde (França), tendo sido queimados 7,3 mil hectares em apenas um dia (ONU, 2022b).

"Evidentemente é um equívoco achar que essa onda de calor é um processo local da Europa. Nós temos tido eventos de calor extremo acontecendo em todos os locais do mundo, especialmente durante os períodos de verão dos respectivos hemisférios", afirma o pesquisador Alexandre Costa (BBC, 2022).

Mazdiyasi et al. (2017) conduziram um estudo cujos resultados sugerem que o número de mortos devido às ondas de calor deve aumentar substancialmente nos próximos anos em países em desenvolvimento. Na Índia, local em que o estudo foi realizado, as intensas ondas de calor ficarão duas vezes e meia mais frequentes mediante um acréscimo de meio grau na temperatura média do país no verão, o que foi previsto pelos pesquisadores como inevitável.

Nesse contexto, pesquisas envolvendo análise de aspectos e cenários climáticos internacionais podem e devem ser utilizadas como parâmetro para se obter diagnósticos e prognósticos quanto aos efeitos das ondas de calor e como mitigá-los da maneira adequada.

Para tal, pode-se criar um ambiente de benchmarking que possa ser utilizado na proposição de metodologias de análise de ondas de calor, considerando fatores ambientais e socioeconômicos e contribuindo, assim, para a promoção da justiça climática (TORRES et al., 2021).

Baseando-se em práticas e modelos já existentes, é possível identificar o que pode ser adotado como referência para melhorar métricas, processos e/ou estratégias quanto às ondas de calor. É um processo pedagógico, no qual avalia-se o que pode ser incorporado de outros agentes e adaptado para aplicação em um determinado contexto (MARQUES, 2021).

Uma vez que o Brasil carece de estudos acerca de ondas de calor (BEU, 2020), a reunião do conhecimento e das experiências externas e internas é bem-vinda ao estabelecer parâmetros de análise desses eventos extremos.

Importante destacar a necessidade desse debate e da ampliação de estudos dessa natureza no Brasil, tendo em vista que no início do século XXI, cerca de 85% da população do país vivia em cidades. Essa concentração se dá principalmente em apenas nove metrópoles, das quais moram 50 milhões de pessoas, mais do que a população da maior parte dos países da Europa ou da América Latina. Em 60 anos, a população urbana brasileira cresceu em mais de 100 milhões de indivíduos através de um processo extremamente violento e predatório e que criou no Brasil um ambiente construído, desigual e com pouca interação com áreas verdes e meio ambiente, principalmente nas periferias urbanas autoconstruídas (MARICATO, 2015; MEIRELES, 2017).

Nesse sentido, o presente artigo colabora para tal na medida em que realiza uma revisão documental e bibliográfica atual e abrangente sobre os principais tópicos relativos às ondas de calor, destacando sua caracterização, métricas de percepção, efeitos diretos na saúde humana e efeitos socioeconômicos e ambientais.

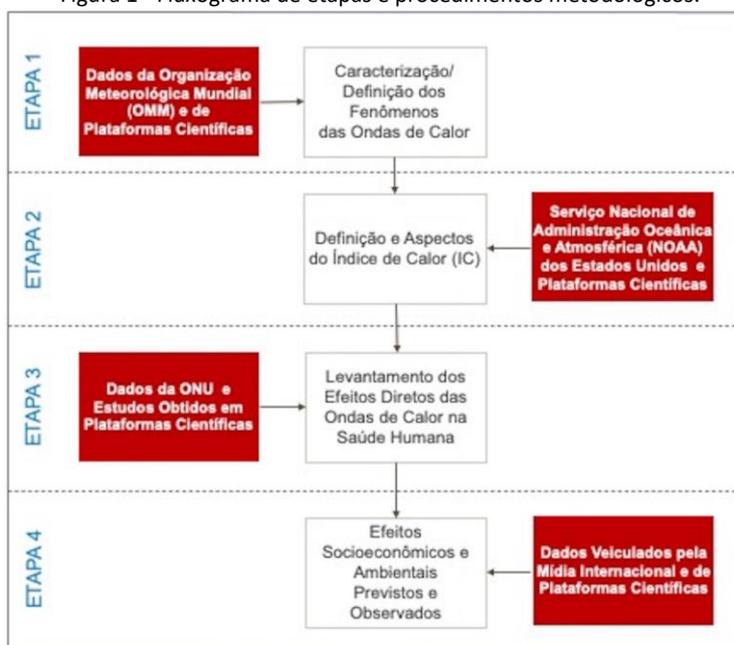
2 METODOLOGIA

O presente trabalho apresenta uma revisão bibliográfica e documental em nível internacional acerca do fenômeno das ondas de calor e seus aspectos relevantes. Para tal, foram obtidos dados de publicações científicas relacionadas ao tema e de instituições internacionais referência em questões climáticas e ambientais.

Os procedimentos do estudo foram divididos em quatro principais etapas, cada qual responsável por um dos capítulos deste artigo. A Figura 1 exibe o fluxograma de procedimentos

metodológicos que conduziram esta pesquisa.

Figura 1 - Fluxograma de etapas e procedimentos metodológicos.



Fonte: Os Autores, 2022.

Na Etapa 1 foi realizada a caracterização de ondas de calor segundo seus principais autores através da discussão de suas diferentes definições e aspectos. A Etapa 2, por sua vez, apresenta um panorama histórico sobre a criação e a utilização de uma das métricas desenvolvidas para quantificar o calor percebido pelo metabolismo humano: o Índice de Calor (IC). Na Etapa 3 foram levantados os efeitos nocivos das ondas de calor na saúde humana, enquanto na Etapa 4 foram apresentados os atuais efeitos socioeconômicos e ambientais decorrentes dessas.

3 CARACTERIZAÇÃO DAS ONDAS DE CALOR

Segundo Hess et al. (2014) e Tasian et al. (2014), a procura por tratamentos médicos específicos e o número de emergências hospitalares estão associados, dentre outros fatores, à ocorrência de elevadas temperaturas.

Por sua vez, no estudo conduzido por XU et al. (2016), foi observado que as ondas de calor aumentam de maneira significativa a mortalidade humana em nível mundial. Além disso, os autores apontaram que os efeitos desses eventos na saúde humana dependem do que se entende pelo termo “ondas de calor”.

Diniz (2022) destaca que não há uma definição universal para ondas de calor, uma vez que as definições costumam variar em termos de duração e intensidade, mas cita os parâmetros de três principais delas:

(a) OMM (2001):

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM) pode ser considerada uma onda de calor “quando a temperatura máxima diária ao longo de um período de pelo menos cinco dias excede a temperatura máxima média em pelo menos 5°C”. Pesquisadores apontam,

no entanto, as limitações dessa definição: o fato da variação da temperatura com relação ao normalmente observado pode não ser necessariamente decorrente de uma onda de calor a depender da região estudada; além disso, a duração de uma onda de calor não precisa ser necessariamente superior a cinco dias.

(b) Robinson (2001):

Segundo esse autor, um período de pelo menos 48 horas no qual o Índice de Calor (definido na seção 4 deste artigo), o qual diz respeito à temperatura aparente, mantenha-se acima dos limites definidos pelo Serviço Nacional de Tempo dos Estados Unidos (105°F de dia e 80°F à noite), pode ser definido como onda de calor.

(c) Russo et al. (2014):

Esses autores consideram como ondas de calor os períodos de pelo menos três dias consecutivos nos quais as temperaturas máximas estejam acima do limiar de percentil 90% da temperatura máxima considerada comum para o período de referência.

4 MÉTRICAS DE PERCEPÇÃO DO CALOR PELO METABOLISMO HUMANO

Uma das métricas utilizadas para avaliar os efeitos de ondas de calor na saúde humana é através de índices biometeorológicos de percepção térmica humana, os quais se diferem em seus objetivos, suas variáveis consideradas e sua sofisticação. O estudo conduzido por Freitas e Grigorieva (2014) listou 162 índices de calor, cada qual com suas variáveis envolvidas.

É importante salientar que o corpo de cada indivíduo pode ser afetado em sua percepção de temperatura por motivos psicológicos e comportamentais (LIN; DEAR; HWANG, 2011). Além disso, fatores como vestimenta e nível de atividade física influenciam diretamente em como o corpo humano percebe as temperaturas (MISTRY, 2020).

No entanto, os fatores climáticos e, logo, ambientais, são responsáveis pelos maiores impactos no entendimento do metabolismo humano sobre a quantidade de calor percebida. McGregor e Vanos (2018) apontam como principais componentes que influenciam na sensação térmica a temperatura do ar, a umidade relativa do ar, a radiação térmica e a velocidade do vento.

Os autores ressaltam que a dissipação do calor pela ventilação ocorre quando a temperatura do ar é menor do que a temperatura corporal média de um indivíduo, considerada como 36°C, além desse mecanismo agir na alteração das taxas de evaporação pele-atmosfera (MCGREGOR & VANOS, 2018). Outro estudo observou que a direção do vento também desempenha um papel significativo na intensidade da ilha de calor humana (OLIVEIRA et al., 2021).

Ao elaborar a equação de um índice de calor que considerasse o maior número possível de parâmetros associados na percepção térmica humana, Steadman (1979) incluiu como fatores as dimensões humanas, a área de radiação efetiva da pele, a pressão de vapor, a velocidade eficaz do vento, o nível de radiação, dentre outros.

Porém, o modelo inicial teve de ser simplificado para que suas variáveis envolvidas fossem mais convencionais. O denominado Índice de Calor (IC ou Heat Index- HI), atualizado por Rothfusz (1990), acabou por manter apenas duas variáveis independentes, as quais representam dois fatores estritamente climáticos: temperatura média do ar seco e umidade relativa do ar (SILVA et al., 2017).

A escolha de se manter a umidade relativa do ar na fórmula do Índice de Calor é justificada por se tratar de um elemento significativo na percepção corporal da temperatura ambiente, uma vez que está relacionada diretamente com a taxa de evaporação da pele, mecanismo utilizado pelo metabolismo para resfriamento (CHRISTOPHERSON, 2012). À medida que a umidade do ar aumenta, a sensação de desconforto por calor e abafamento é maior, pois

as grandes quantidades de partículas de vapor d'água no ar dificultam a evaporação do suor expelido pelo corpo (BASARIN; LUKIC; MATZARAKIS, 2020).

A temperatura do ar seco é o principal elemento da sensação térmica, uma vez que, na Terra, o corpo humano é envolto de ar atmosférico. Maulbetsch (2010) aponta que esse fator deve ser inserido na Equação 1 em graus Fahrenheit, pois o Índice de Calor nos seus moldes mais atuais, conforme citado anteriormente, foi formulado pelo Serviço Nacional de Administração Oceânica e Atmosférica (NOAA) dos Estados Unidos, país em que essa é a unidade de medida de temperatura.

$$HI = c_1 + c_2 \cdot T + c_3 \cdot \phi + c_4 \cdot T \cdot \phi + c_5 \cdot T^2 + c_6 \cdot \phi^2 + c_7 \cdot T^2 \cdot \phi + c_8 \cdot T \cdot \phi^2 + c_9 \cdot T^2 \cdot \phi^2 \quad (1)$$

Grandezas envolvidas na Equação 1:

HI - Índice de Calor (°F)

T - Temperatura do ar do ar seco (°F)

φ - umidade relativa do ar (%)

Constantes da Equação 1:

$$c_1 = - 42,379$$

$$c_2 = 2,049$$

$$c_3 = 10,143$$

$$c_4 = - 0,225$$

$$c_5 = - 6,838 \cdot 10^{-3}$$

$$c_6 = - 5,482 \cdot 10^{-2}$$

$$c_7 = 1,229 \cdot 10^{-3}$$

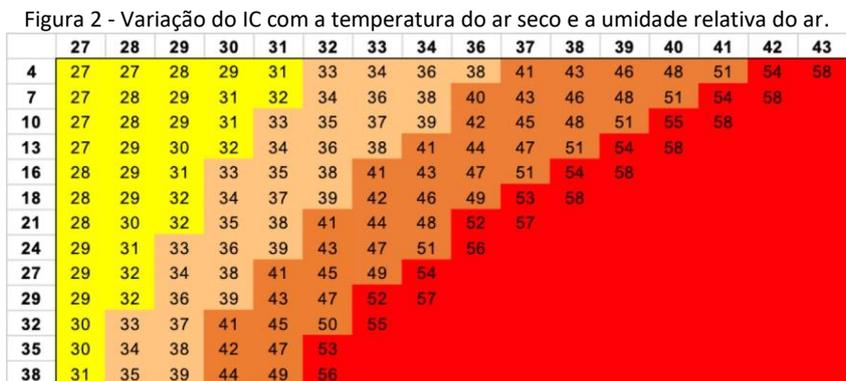
$$c_8 = 8,528 \cdot 10^{-4}$$

$$c_9 = - 1,99 \cdot 10^{-6}$$

Rothfus (1990) destaca que a Equação 1 foi obtida por análise de regressão múltipla e que o valor resultante do seu Índice de Calor pode ter um erro de até ±1,3°F.

NOAA (2022) destaca que ajustes na equação do Índice de Calor são necessários quando a umidade relativa do ar é menor que 13% e a temperatura do ar está em uma faixa entre 80°F e 112°F (26,7°C e 44,4°C). Outra situação que requer ajustes nos cálculos é quando a umidade relativa do ar é maior que 85% e a temperatura do ar está entre 80°F e 87°F (26,7°C e 30,6°C). Ainda segundo NOAA (2022), se as condições de temperatura e umidade resultarem em um Índice de Calor abaixo de 80°F (26,7°C), a regressão de Rothfus (1990) não é apropriada para o cálculo, mas sim uma fórmula mais simples, consistente com os resultados de Steadman (1979). De qualquer forma, atualmente há uma ferramenta online na página oficial do NOAA, a qual calcula diretamente o IC com base nos dois fatores supracitados, já considerando essas especificidades nas contas.

A Figura 2 apresenta a variação do Índice de Calor (em °C) com a temperatura do ar seco (em °C) no eixo horizontal e a umidade relativa do ar (em %) no eixo vertical.



Fonte: Os Autores (2022), adaptado de NOAA (2022).

Na Figura 2, cada cor representa o nível de perigo à saúde humana dos Índices de Calor obtidos com base na temperatura e na umidade do ar. A cor amarela representa o Nível 1, no qual deve-se começar a ter atenção junto a longos períodos de atividade física, pois esse calor pode levar à exaustão. O Nível 2, em laranja, representa um risco aumentado à saúde, uma vez que há a possibilidade de ocorrerem efeitos nocivos mais preocupantes como queimaduras solares. Em laranja escuro, o Nível 3 já representa um perigo acentuado, pois é provável que ocorram queimaduras na pele quando exposta ao sol, mesmo que rapidamente, e até mesmo colapsos por calor. Por sua vez, o Nível 4, em vermelho, é caracterizado como onda de calor, no qual podem ocorrer todos os efeitos citados no item 4 deste trabalho (NOAA, 2022).

No Quadro 1 são apresentados aspectos que caracterizam cada um desses níveis de perigo associados à variação do Índice de Calor, destacando-se quem está em perigo e o que pode ser feito em cada situação para minimizar os danos.

O denominado Nível 0, em que o risco à saúde é baixo ou até mesmo nulo, não consta Figura 2, embora conste no Quadro 1, por referir-se a temperaturas menores que 27°C, valor mínimo exibido na Figura supracitada.

Quadro 1 - Aspectos e níveis de perigo da variação do índice de Calor

Nível de Perigo	Significado	O que/ Quem está em risco?	O quão comum é esse calor nos EUA?	Para aqueles que estão em risco, quais ações podem ser tomadas?
0	Nível de calor que representa pouco ou nenhum risco à saúde humana	Sem risco elevado	Muito comum	Ações preventivas adicionais não devem ser necessárias
1	Nível de calor tolerado pela maioria da população, mas há um risco baixo de sentir efeitos na saúde para aqueles que são sensíveis ao calor	Principalmente aqueles que são extremamente sensíveis ao calor	Muito comum	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar o nível de hidratação • Reduzir o tempo ao ar livre ou ficar em regiões sombreadas quando a radiação solar estiver mais forte • Abrir as janelas à noite e utilizar ventiladores para resfriar ambientes internos
2	<ul style="list-style-type: none"> • Risco moderado de sentir efeitos na saúde para aqueles que são sensíveis ao calor • Algum risco para os que estão expostos ao sol e realizam algum tipo de atividade física • Para aqueles sem ar condicionado, espaços de convivência podem ficar desconfortáveis durante o dia 	<ul style="list-style-type: none"> • Principalmente pessoas sensíveis ao calor, especialmente na ausência de refrigeração e hidratação adequadas; • Risco parcial para os setores de transporte e essenciais como de abastecimento de água e de energia elétrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Bastante comum na maioria das regiões do país • Muito comum ao sul do país 	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzir tempo de exposição ao sol entre 10h e 16h • Manter-se hidratado • Permanecer em um lugar refrigerado durante o calor do dia • Alterar os horários das atividades externas para períodos mais frescos do dia • Abrir as janelas à noite e utilizar ventiladores para resfriar ambientes internos e circular o ar
3	<ul style="list-style-type: none"> • Risco alto para os que estão expostos ao sol e realizam algum tipo de atividade física, além daqueles que são sensíveis ao calor • Perigoso para qualquer pessoa sem refrigeração e hidratação adequadas; • É possível que a qualidade do ar seja prejudicada • Interrupções no fornecimento de energia elétrica podem ocorrer devido ao aumento da demanda para refrigeração 	<ul style="list-style-type: none"> • Maioria da população, especialmente aqueles que são sensíveis ao calor e qualquer pessoa sem refrigeração e hidratação adequadas; • Risco aumentado para os setores de transporte e essenciais 	<ul style="list-style-type: none"> • Incomum na maioria das localizações ao norte • Bastante comum nas regiões mais ao sul 	<ul style="list-style-type: none"> • Tentar evitar exposições ao sol entre 10h e 16h • Manter-se hidratado • Permanecer em lugares refrigerados, especialmente durante o calor do dia • Usar aparelhos de ar condicionado, ventiladores podem ser inadequados • Cancelar atividades externas durante o calor do dia
4	<ul style="list-style-type: none"> • Risco muito alto para toda a população • Muito perigoso para aqueles sem refrigeração e hidratação adequadas • Caracteriza onda de calor • Má qualidade do ar é provável • Apagões prováveis na rede de energia elétrica devido aos níveis críticos que a demanda pode atingir 	<ul style="list-style-type: none"> • Toda a população está em risco; • Aqueles que são sensíveis ao calor, especialmente na ausência de refrigeração e hidratação adequadas, este nível de calor pode ser mortal; • Risco aumentado para os setores de transporte e essenciais 	<ul style="list-style-type: none"> • Raro na maioria das localizações • Ocorre algumas poucas vezes ao ano em regiões ao sul, especialmente nos desertos ao sudoeste 	<ul style="list-style-type: none"> • Evitar exposições ao sol entre 10h e 16h • Manter-se hidratado • Permanecer em lugares refrigerados, inclusive durante a noite • Usar aparelhos de ar condicionado, ventiladores não serão adequados • Cancelar atividades externas durante o calor do dia

Fonte: Os Autores (2022), traduzido de NOAA (2022).

5 EFEITOS DIRETOS DAS ONDAS DE CALOR NA SAÚDE HUMANA

Os seres humanos são animais homeotérmicos e endotérmicos, ou seja, possuem uma temperatura corporal de estabilidade a qual é mantida pelo próprio metabolismo. Assim, há dois mecanismos fisiológicos responsáveis por reduzir a temperatura em caso de exposição ao calor extremo: a transpiração e a dilatação dos vasos sanguíneos periféricos (DINIZ, 2022).

A transpiração ocorre na medida em que o corpo perde água, gerando suor, fazendo com que o corpo perca calor por evaporação. No entanto, esse mecanismo termorregulatório pode gerar um déficit de água no corpo, pois pode chegar a uma quantidade de 2 a 3 litros de água por hora (VOGELAERE; PEREIRA, 2005). A respeito desse processo, Maulbetsch (2010) aponta que, para ser efetivo, é necessário que a umidade do ar não esteja alta ao ponto de atrapalhar o processo de evaporação.

Por sua vez, a dilatação dos vasos sanguíneos periféricos causa um aumento da circulação de sangue ao nível da pele, causando perda de calor por radiação e convecção. Porém, esse mecanismo faz com que a frequência cardíaca aumente para diminuir o tempo de circulação (HOUDAS; RING, 1982), o que pode levar a uma sobrecarga nos sistemas respiratório e circulatório de um indivíduo.

Assim, pode-se dizer que pessoas cujos sistemas respiratório e circulatório sejam ou estejam fragilizados são mais vulneráveis às ondas de calor. Especialmente idosos, por possuírem respostas mais lentas às altas temperaturas, uma vez que seus mecanismos termorregulatórios são mais lentos e debilitados (HOUDAS; RING, 1982).

Segundo Havenith (2005), os impactos das ondas de calor na saúde humana ainda podem variar segundo fatores como as condições socioeconômicas da população, a efetividade das medidas de mitigação, a capacidade do sistema de saúde e seus profissionais, a velocidade de intervenção, dentre outros. De acordo com Laaidi et al. (2012), nas áreas urbanas o risco de morte por temperaturas extremas é maior devido às ilhas de calor que são formadas nesses ambientes.

Guo et al. (2018) destacam que o fenômeno de envelhecimento da população brasileira requer que políticas públicas com projetos de mitigação e adaptação sejam cada vez mais criadas e adotadas para que os efeitos das ondas de calor na saúde das pessoas possam ser minimizados, especialmente tendo-se em vista as projeções do seu aumento em todas as regiões do país até o ano de 2100 (MARENGO, 2014; NOBRE et al., 2019).

Bitencourt et al. (2016) observaram uma tendência de aumento das ondas de calor no país no período de 1961 a 2014, decorrente das mudanças climáticas e da urbanização. Além disso, foi constatado um aumento do risco de mortalidade à medida que as ondas de calor se intensificaram (GUO et al., 2017). Assim, o Brasil pode ser considerado um país vulnerável nesse sentido.

Segundo Araújo (2017), os gastos extraordinários com internações hospitalares de crianças nas 27 capitais brasileiras chegam a R\$14,5 milhões por onda de calor. Ainda segundo o estudo, os efeitos variam segundo a condição socioeconômica das crianças internadas: 75% delas vivem em domicílios considerados relativamente pobres.

Foi identificada uma correlação positiva entre calor e mortalidade na cidade de São Paulo, sendo o risco maior para segmentos populacionais já vulneráveis em outros contextos:

idosos, mulheres e população com menor nível de instrução (SON et al., 2016).

Portanto, é de extrema importância que sejam promovidos cada vez mais mecanismos de gestão eficaz com diretrizes que considerem as mudanças do clima e seus decorrentes eventos extremos, especialmente em países em desenvolvimento, como o Brasil, com foco em mulheres, jovens, comunidades locais e socialmente vulneráveis (ONU, 2022a).

6 EFEITOS SOCIOECONÔMICOS E AMBIENTAIS DAS ONDAS DE CALOR

Embora os efeitos mais abordados na literatura no que se refere a ondas de calor sejam os relacionados à saúde pública, não se pode deixar de citar outros tipos de efeitos causados por estes eventos (BITENCOURT et al., 2016). Como exemplos, Maulbetsch (2010) cita o comprometimento da qualidade da água potável e o aumento de insetos, o que pode prejudicar a agricultura.

A autora destaca que, em períodos quentes, a capacidade de filtração do solo é comprometida devido às rachaduras formadas e sua maior porosidade, permitindo que as impurezas adentrem nas águas subterrâneas (MAULBETSCH, 2010). Jorge (2021) salienta que as mudanças climáticas e seus efeitos, como as ondas de calor, desequilibram ciclos geoquímicos e hidrológicos, exigindo resiliência dos sistemas de saneamento básico frente a essas alterações ambientais para que não se corra o risco de desabastecimento de água potável em populações.

Além disso, a proliferação de insetos pode representar outro problema. Ao contrário dos mamíferos, esses animais não regulam sua temperatura corporal e, portanto, são fortemente dependentes da temperatura predominante e de outros fatores ambientais relacionados ao clima (FLUGS, 2003). Um aumento na temperatura e na umidade melhora as condições de vida desses organismos, podendo comprometer safras agrícolas e até mesmo incentivar um aumento na utilização de defensivos agrícolas.

Em um estudo realizado no Rio Grande do Sul sobre videiras que dão origem aos vinhos dos tipos “Chardonnay”, “Merlot” e “Cabernet Sauvignon”, observou-se que o mecanismo de dormência em gemas de videiras é afetado negativamente por ondas de calor, podendo essas comprometer as safras dessas uvas (ANZANELLO, 2022).

Ademais, longos períodos de temperaturas extremas são altamente prejudiciais à pecuária, podendo o impacto ser ainda maior em países de clima tropical como o Brasil (MARENGO, 2007). Vale et al. (2010) concluíram em seu estudo que a mortalidade de frangos criados para consumo é maior em períodos de temperaturas extremas. Além disso, Nääs et al. (2010) apontam que o aumento nas perdas de produção de carne bovina pode reduzir a competitividade desse setor, o qual é significativamente relevante na economia brasileira, representando 6% de participação no PIB nacional.

BITENCOURT et al. (2016) destacam que as ondas de calor também aumentam significativamente a demanda por energia elétrica devido aos sistemas de refrigeração artificial de ambientes. A esse respeito, a Associação Brasileira de Distribuidoras de Energia Elétrica (ABRADEE, 2019) ressalta que a onda de calor de 2019 provocou quatro recordes sucessivos na demanda por energia no Sistema Interligado Nacional (SIN) somente nas duas primeiras semanas do ano. De acordo com a Associação, esses números “refletem, principalmente, o crescimento no uso de aparelhos de ar-condicionado para refrigeração de residências e

shopping centers, no comércio de rua e na indústria” (ABRADEE, 2019).

As ondas de calor afetam medicamentos e podem, inclusive, requerer ajustes em suas dosagens sob tais condições, especialmente psicotrópicos ou anti-hipertensivos, pois eles podem ter efeitos muito diferentes em temperaturas extremas (TRIPPEL, 2021). Ainda segundo Trippel (2021), a classe médica alemã não se mostrou preparada para lidar com as alterações de dosagens de medicamentos em casos de ondas de calor, sendo necessárias a criação e a divulgação de treinamentos técnicos e eventos científicos sobre o tema. Temperaturas extremas podem ser nocivas também para a própria conservação de alimentos e medicamentos, uma vez que a muitos deles é recomendado o abrigo do calor.

Ondas de calor também podem provocar deformações em estruturas que não foram projetadas para suportá-las. Em Londres, por exemplo, muitos dos trilhos que compõem a rede ferroviária sofreram uma intensa dilatação térmica, expandindo-se e dobrando-se no verão de 2022. A empresa responsável Network Rail Limited (NRL), diante do transtorno da situação para com a população e do prejuízo que ela acarretaria, emitiu um comunicado explicando que algumas das pistas foram projetadas para suportar em torno de 27 °C (NETWORK RAIL, 2022).

Pintar os trilhos de branco é uma solução que já foi adotada em países como Itália, Suíça e Áustria, pois a cor branca reflete grande parte da radiação solar, ajudando a resfriar essas estruturas. Assim também o fez a NRL enquanto medida emergencial diante da onda de calor de 2022 (NETWORK RAIL, 2022).

Jones (2022) aponta que o sistema rodoviário também pode ser afetado por ondas de calor, tal qual ocorreu na Inglaterra no verão de 2022. Segundo o autor, o calor enfraqueceu o asfalto, fazendo com que o peso dos veículos formasse buracos e deformações na estrada. Por esse motivo, a rodovia A14 ficou interditada. A imprensa britânica também acenou que, ainda devido a essa onda de calor em 2022, voos foram suspensos no Aeroporto Luton depois que parte de uma das pistas ficou deformada. (JACOB & FARHAT, 2022).

Ruas et al. (2020) destacam que ondas de calor também afetam a produtividade e aumentam o risco de acidentes ocupacionais, especialmente se tratando de trabalhadores de áreas externas. Um estudo realizado com cortadores de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo mostrou que há relação entre mortes desses trabalhadores com estresse térmico, o qual pode ser agravado pelas ondas de calor (BITENCOURT, 2012).

Cientes desses efeitos, instituições públicas e privadas do mundo todo têm adotado cada vez mais medidas de proteção aos participantes de seus eventos internacionais. A Maratona e a Marcha Atlética de Tóquio, por exemplo, foram transferidas para a cidade de Sapporo em uma ação do Comitê Olímpico Internacional (COI) em 2021, levando em conta os efeitos das temperaturas extremas nos atletas e no público (WU; GRAW; MATZARAKIS, 2020).

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), organização científico-política que pertence ao âmbito da ONU, constatou através de complexos modelos de previsão climática que todas as regiões do planeta sofrerão as mudanças do clima nas próximas décadas. Dentre elas, a elevação da temperatura média em muitas localidades e a ocorrência de fenômenos climáticos extremos como as ondas de calor são de comum preocupação de

pesquisadores e cidadãos de todo o mundo (IPCC, 2022).

Através deste estudo, pode-se concluir que métricas como o Índice de Calor podem auxiliar no entendimento da percepção humana em determinadas faixas de temperatura do ar e umidade relativa. A classificação deste índice em níveis de perigo à saúde humana é fundamental para que medidas mitigadoras efetivas sejam cada vez mais adotadas junto às ondas de calor.

Conclui-se, também, que o receio quanto às consequências nocivas das ondas de calor é bem fundamentado, uma vez que essas influenciam diretamente na saúde humana, podendo contribuir com o adoecimento e a mortalidade especialmente de idosos e pessoas com problemas respiratórios e cardiovasculares.

Além disso, foi constatado que perturbações ambientais em ecossistemas e ciclos geoquímicos e hidrológicos podem decorrer do aumento da frequência e da intensidade das ondas de calor. Alterações abruptas em sistemas de transporte e perdas de produção no setor agropecuário também podem ser citados enquanto efeitos socioeconômicos desses fenômenos climáticos.

Nesse âmbito, recomenda-se que sejam desenvolvidos estudos que relacionem a ocorrência e a intensidade de futuras ondas de calor de acordo com diferentes cenários de projeção climática.

REFERÊNCIAS

- ABRADEE - Associação Brasileira de Distribuidoras de Energia Elétrica. **Consumo de Energia Dispara com o Calor**. 2019. Disponível em: <<https://www.abradee.org.br/consumo-de-energia-dispara-com-o-calor/>>. Acesso em: agosto de 2022.
- ANZANELLO, R.; FOGAÇA, C. M.; SARTORI, G. B. D.; TASSO, T. G. Impact of heat waves on the bud dormancy of grapevines. **Rev. Bras. Frutic.** 44 (1), 2022.
- ARAÚJO, P. H. C. **Ensaio econômico sobre ondas de calor e seus impactos sobre a saúde no Brasil**. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2017.
- BASARIN, B.; LUKIC, T.; MATZARAKIS, A. Review of Biometeorology of Heatwaves and Warm Extremes in Europe. **Atmosphere, Basel**, v. 11, n. 11, 21 p. nov. 2020.
- BBC - British Broadcasting Corporation. **Por que o Brasil também deve se preocupar com ondas de calor na Europa?** Brasil, 2022. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/internacional-62246505>>. Acesso em: agosto de 2022.
- BEU, C. M. L. Estimativa dos Índices HUMIDEX e WBGT da Região Metropolitana de Sorocada do Período entre 2007 e 2020. **Revista Brasileira de Climatologia**. Dourados, MS, v. 30, Jan./ Jun. 2022.
- BITENCOURT, D. P.; FUENTES, M. V.; MAIA, P. A.; AMORIM, F. T. Frequência, Duração, Abrangência Espacial e Intensidade das Ondas de Calor no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 31, n.4, 17p., out./dez.2016.
- CHRISTOPHERSON, R. W. **Geossistemas: Uma Introdução à Geografia Física**. 752p. Bookman Editora, 2012.
- DINIZ, F. R. **Ondas de calor e a mortalidade de idosos por doenças respiratórias e cardiovasculares nas capitais dos estados brasileiros: Uma análise no presente (1996-2016) e projeções para o futuro próximo (2030-2050) e futuro distante (2079-2099) em diferentes cenários de mudanças climáticas**. Tese de Doutorado - USP. São Paulo, 2022.
- ESPÍNDOLA, I. B.; RIBEIRO, W. C. Cidades e mudanças climáticas: desafios para os planos diretores municipais brasileiros. **Caderno MetrÓpole**, São Paulo, v. 22, n. 48, pp. 365-395, 2020. Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/cm/a/ZY47nWVQJfMfCFcx7Q9hywn/?lang=pt>>. Acesso em setembro de 2022.

FIOCRUZ - Fundação Oswaldo Cruz. Observatório de Clima e Saúde. **Impactos na saúde e caminhos para reduzir os danos dos desastres**. Brasil, 2022. Disponível em: <<https://climaesaude.icict.fiocruz.br/tema/eventos-extremos-0#aba-relatorios>>. Acesso em: agosto de 2022.

FLUGS. Helmholtz Zentrum München. **Klimawandel und Gesundheit**. 2003. Disponível em: <http://www.helmholtzmuenchen.de/fileadmin/FLUGS/PDF/Themen/Klimaschutz/KliKlimawan_Gesundheit.pdf>. Acesso em: agosto de 2022.

GUO, Y.; GASPARRINI, A.; LI, S.; SERA, F.; VICEDOCABRERA, A. M. et al. Quantifying excess deaths related to heatwaves under climate change scenarios: A multicountry time series modelling study. **PLoS Med**, 15(7): e1002629, 2018.

HAVENITH, G. Temperature Regulation, Heat Balance and Climatic Stress. In: KIRCH, W.; BERTOLLINI, R.; MENNE, B. **Extreme Weather Events and Public Health Responses**. Cap 7, p. 69 –80. Berlin: Springer, 2005.

HESS, J.J.; SAHA, S.; LUBER, G. Summertime acute heat illness in U.S. emergency departments from 2006 through 2010: analysis of a nationally representative sample. **Environmental Health Perspectives**, v. 122, n. 11, p. 1209-1215, 2014.

HOUDAS, Y.; RING, E. F. J. **Human body temperature** - Its measurement and regulation. United States: N. p., 1982.

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas. **Report: Climate Change 2022: Impacts**. 2022.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p. 2014.

JACOB, S.; FARHAT, E. A. Bloomberg. **Heat Wave Leaves London Luton Airport with Runway Defect**. Disponível em: <<https://www.bloomberg.com/news/articles/2022-07-18/heatwave-leaves-london-luton-airport-with-runway-defect#xj4y7vzkg>>. Acesso em: agosto de 2022.

JONES, A. Cambridgeshire Live. **Melting A14 closed for hours after heat created 'skate park' like ramp**. 2022. Disponível em: <<https://www.cambridge-news.co.uk/news/cambridge-news/melting-a14-closed-hours-after-24529780>>. Acesso em: agosto de 2022.

LAAIDI, K.; ZEGHNOUN, A.; DOUSSET, B.; BRETIN, P.; VANDENTORREN, S.; GIRAUDET, E.; BEAUDEAU, P. The impact of heat islands on mortality in Paris during the August 2003 heat wave. **Environmental Health Perspectives**, v. 120, n. 2, p. 254-259, 2012.

LIN, T. P.; DEAR, R.; HWANG, R. L. Effect of thermal adaptation on seasonal outdoor thermal comfort. **International Journal of Climatology**, v. 31, n. 2, p. 302-312, 2011.

MARENGO, J. A. O futuro clima do Brasil. **Revista USP**, São Paulo, n. 103, p. 25-32, 2014.

MARENGO, J. A. **Relatório n.1: Caracterização do clima no século XX e cenários climáticos no Brasil e na América do Sul para o século XXI** derivados dos modelos globais de clima do IPCC. São Paulo: CPTEC/INPE; 2007.

MARICATO, E. Para entender a crise urbana. **CaderNAU**, v. 8, n. 1, p. 11-22, 2015.

MARQUES, L. O. A.; CARVALHO, R. S.; SA, M. O. M.; MALHEIROS, T. F. Benchmarking as a management tool to reduce non-revenue water. **Ambiente & Sociedade (online)**, v. 24, p. 1, 2021.

MAULBETSCH, D. **Auswertung von Gesundheitsbelastungen unter einem zukünftigen Klima mit Hilfe eines einfachen Belastungsindex**. Bachelorarbeit. Rüsselsheim, 2010.

MAZDIYASNI, O.; AGHAKOUCHAK, A.; DAVIS, S. J.; MADADGAR, S.; MEHRAN, A.; RAGNO, E.; SADEGH, M.; SENGUPTA, A.; GHOSH, S.; DHANYA, C. T.; NIKNEJAD, M. Increasing probability of mortality during Indian heat waves. **Science Advances**, 3:e170006. USA, 2017.

MCGREGOR, G.; VANOS, J. Heat: a primer for public health researchers. **Public Health**, [s.l.], v. 161, p. 138-146, Aug 2018.

NÄÄS I. A.; ROMANINI C. E. B.; SALGADO, D. D.; LIMA, K. A. O.; VALE, M. M.; LABIGALINI, M. R.; SOUZA, S. R. L.; MENEZES, A. G.; MOURA, D. J. Impact of global warming on beef cattle production cost in Brazil. **Scientia Agricola**; 67(1):1-8. 2010.

NAIRN, J.; FAWCETT, R. The excess heat factor: a metric for heatwave intensity and its use in classifying heatwave severity. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v.12, n. 1, p. 227-253. Basel, 2015.

NETWORK RAIL. **Why rails buckle in Britain**. 2022. Disponível em: <<https://www.networkrail.co.uk/stories/why-rails-buckle-in-britain/>>. Acesso em: agosto de 2022.

NOAA - Serviço Nacional de Administração Oceânica e Atmosférica. **The Heat Index Equation**. 2022. Disponível em: <https://www.wpc.ncep.noaa.gov/html/heatindex_equation.shtml>. Acesso em: agosto de 2022.

NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A.; SOARES, W. R. Climate Change Risks in Brazil, **Springer**, Cham, ed 1, XVIII, 226, 2019.

NOBRE, C. A. Mudanças climáticas globais: Possíveis Impactos nos Ecossistemas do País. **Parcerias Estratégicas**. Número 12, Setembro, 2001.

OLIVEIRA, A. et al. Heatwaves and summer urban heat islands: a daily cycle approach to unveil the urban thermal signal changes in Lisbon, Portugal. **Atmosphere**, Basel, v. 12, n. 3, 23 p., mar. 2021.

OMM - Organização Mundial Meteorológica, 2001. **Heat Waves**. Disponível em: <<https://public.wmo.int/en/files/heat-waves>>. Acesso em: agosto de 2022.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Brasil, 2022a. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/13>>. Acesso em: agosto de 2022.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Temperaturas recordes na Europa estão ligadas às mudanças climáticas**. Brasil, 2022b. Disponível em: <[https://brasil.un.org/pt-br/191008-temperaturas-recordes-na-europa-estao-ligadas-mudancas-climaticas#:~:text=Somente%20na%20sexta%20feira%20\(15,outros%2015%20em%20alerta%20laranja](https://brasil.un.org/pt-br/191008-temperaturas-recordes-na-europa-estao-ligadas-mudancas-climaticas#:~:text=Somente%20na%20sexta%20feira%20(15,outros%2015%20em%20alerta%20laranja)>. Acesso em: agosto de 2022.

RIBEIRO, W. C. **Impactos das Mudanças Climáticas em Cidades no Brasil**. Parcerias Estratégicas. Brasília, n. 27, p. 298-322, dez. 2008.

ROBINSON, P.J. On the Definition of a Heat Wave. **J. Appl. Meteor.**, 40, 762–775, 2001.

ROTHFUSZ, L. P.; HEADQUARTERS, NWS Southern Region. The heat index equation (or, more than you ever wanted to know about heat index). Fort Worth, Texas: National Oceanic and Atmospheric Administration, National Weather Service, **Office of Meteorology**, v. 9023, 1990.

RUAS, A. C. et al. Heat stress monitoring based on heart rate measurements. **Rev. Bras. Med. Trab.**, São Paulo, v. 18, n.2, p. 232–240, fev.2020.

RUSSO, S. et al. Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world. **J. Geophys. Res.- Atmos.**, 119, 12500–12512, 2014.

SILVA, L. P.; MEDEIROS, S. E. L.; SILVA, W. K. M. PEIXOTO, I. M. B. ABRAHÃO, R. Índice de calor nas mesorregiões do Sertão Paraibano e da Mata Paraibana. In: **II Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido**. 2017.

SON, J. et al. The impact of temperature on mortality in a subtropical city: effects of cold, heat, and heat waves in São Paulo, Brazil. **Int. J. Biometeorol.** [s. l.], v. 60, n.1, p. 113-121, jan.2016.

STEADMAN, R. G. The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. **Journal of applied meteorology**, v. 18, n. 7, p.861-873, 1979.

TASIAN, G.E.; PULIDO, J.E.; GASPARRINI, A.; SAIGAL, C.S.; HORTON, B.P.; LANDIS, J.R.; MADISON, R.; KEREN, R. Daily mean temperature and clinical kidney stone presentation in five U.S. metropolitan areas: A time-series analysis. **Environmental Health Perspectives**, v. 122, n. 10, p. 1081-1087, 2014.

TORRES, P. H. C.; URBINATTI, A. M.; GOMES, C.; SCHMIDT, L.; LEONEL, A. L.; MOMM, S.; JACOBI, P. R. Justiça climática e as estratégias de adaptação às mudanças climáticas no Brasil e em Portugal. **Estudos Avançados (online)**, v. 35, p. 159-176, 2021.

TRIPPEL, K. "Bei Hitzewellen werden Städte für Risikogruppen zu Risikogebieten". GEOplus Magazine. Alemanha, 2021. Disponível em: < <https://www.geo.de/wissen/gesundheit/was-hitzewellen-fuer-die-gesundheit-bedeutet-30595880.html>>. Acesso em: agosto de 2022.

VALE, M. M.; MOURA, D. J.; NÄÄS, I. A.; PEREIRA, D. F. Characterization of heat waves affecting mortality rates of broilers between 29 days and market age. **Braz. J. Poult. Sci.** 12 (4). Dec 2010.

VOGELAERE, P.; PEREIRA, C. Termorregulação e envelhecimento. *Rev. Port. Cardiol*, 24 (5), 747-761, 2005.

WU, Y.; GRAW, K.; MATZARAKIS, A. Comparison of thermal comfort between Sapporo and Tokyo - The case of the Olympics 2020. **Atmosphere**, Basel, v. 11, n. 5, 13 p., may. 2020.

XU, Z.; FITZGERALD, G.; GUO, Y.; JALALUDIN, B.; TONG, S. Impact of heatwave on mortality under different heatwave definitions: A systematic review and meta-analysis. **Environ Int.**, 89-90:193-203, 2016.