

# Impactos das condições de estresse térmico na mortalidade por doenças respiratórias e cardiovasculares no Brasil

*Impacts of heat stress conditions on mortality by  
respiratory and cardiovascular diseases in Brazil*

Beatriz Fátima Alves de Oliveira<sup>a</sup>

Ludmilla da Silva Viana Jacobson<sup>b</sup>

Letícia Palazzi Perez<sup>c</sup>

Ismael Henrique Silveira<sup>d</sup>

Washington Leite Junger<sup>e</sup>

Sandra de Souza Hacon<sup>f</sup>

<sup>a</sup> Doutora em Ciências pela Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca (ENSP/Fiocruz), Escritório Regional da Fundação Oswaldo Cruz no Piauí, Teresina, PI, Brasil  
End. Eletrônico: beatrizenf@gmail.com

<sup>b</sup> Doutora em Saúde Coletiva pelo Instituto de Medicina Social (IMS/Uerj), Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: ludmillaviana@yahoo.com.br

<sup>c</sup> Doutora em Geografia Física, Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, PB, Brasil  
End. Eletrônico: leticia.palazzi@gmail.com

<sup>d</sup> Doutor em Saúde Coletiva pelo Instituto de Medicina Social (IMS/Uerj), Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador, BA, Brasil  
End. Eletrônico: ismaelhsilveira@gmail.com

<sup>e</sup> Doutor em Saúde Coletiva pelo Instituto de Medicina Social (IMS/Uerj), Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: wjunger@ims.uerj.com

<sup>f</sup> Doutora em Geociências pela Universidade Federal Fluminense (UFF), Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP/Fiocruz), Rio de Janeiro, RJ, Brasil  
End. Eletrônico: shacon@ensp.fiocruz.br

doi:10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33970

Received: 08/09/2020  
Accepted: 27/10/2020

ARTICLE – DOSSIER

Os dados e os resultados apresentados nesta publicação foram desenvolvidos no âmbito do projeto “Quarta Comunicação Nacional e Relatórios de Atualização Bienal do Brasil à Convenção do Clima”, coordenado pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, com apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, por meio dos recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente, aos quais oferecemos nossos agradecimentos.

## RESUMO

O presente estudo avaliou o risco da exposição às condições de estresse térmico e seu potencial impacto na mortalidade por doenças cardiovascular e respiratória nas capitais brasileiras, de acordo com os níveis de aquecimento 1.5°C, 2.0°C e 4.0°C, no cenário RCP 8.5. O risco da exposição e o impacto das condições de estresse térmico sobre a mortalidade foram avaliados por meio do indicador *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT). Para o impacto na saúde, estimaram-se as curvas exposição-resposta entre WBGT e os desfechos em saúde e, em seguida, essa curva foi aplicada nas projeções para quantificar a fração atribuível da mortalidade devido ao estresse térmico. Os resultados mostraram um aumento das condições de estresse térmico para o Brasil, sobretudo nas regiões Norte e Centro-Oeste. As curvas estimadas mostraram associação entre WBGT e mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias, com tendência de aumento dos impactos conforme os níveis de aquecimento e resultados heterogêneos entre as capitais.

**Palavras-chave:** Mudanças Climáticas. Estresse Térmico. *Wet-Bulb Globe Temperature* (WBGT). Doenças Cardiovasculares. Doenças Respiratórias.

## ABSTRACT

*In this study, we evaluated the risk of exposure to heat stress conditions and their potential impact on mortality from cardiovascular and respiratory diseases in Brazilian capitals for the levels of warming of 1.5°C, 2.0°C and 4.0°C, according to RCP 8.5 scenario. The risk of exposure and the impact of heat stress conditions on mortality were measured by Wet Bulb Globe Temperature (WBGT). The impact on health was estimated applying the exposure-response curves between WBGT and health outcomes in the projections. The potential impact on mortality was measured by attributable fraction of mortality due to heat stress. The results showed an increase in heat stress conditions for Brazil, especially in the North and Midwest regions. The estimated curves showed an association between the WBGT and mortality by cardiovascular and respiratory diseases for Brazil, with a positive trend of impacts, according to the levels of warming and heterogeneous results between the capitals.*

**Keywords:** Climate Change. Heat Stress. *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT). Cardiovascular Diseases. Respiratory Diseases.

## 1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas estão entre os maiores problemas ambientais da atualidade e entre as dez principais ameaças para a saúde global listadas pela Organização Mundial de Saúde no ano de 2019 (WHO, 2019). As implicações na saúde se tornarão cada vez mais urgentes à medida que as mudanças no clima afetarem a quantidade e a qualidade da água e dos alimentos, aumentarem a poluição do ar, alterarem a distribuição e a dinâmica de vetores e intensificarem os eventos extremos (IPCC, 2014). Entre 2030 e 2050, estima-se que as mudanças no clima poderão causar 250 mil mortes adicionais por ano por desnutrição, malária, diarreia e estresse térmico (WHO, 2015).

As futuras projeções mostram que a mortalidade associada ao aumento da temperatura será um dos impactos mais prováveis no setor de saúde (GASPARRINI et al., 2017; IPCC, 2014). Em geral, os seres humanos possuem uma faixa de temperatura interna ideal para manutenção da homeostase sistêmica, mas a exposição ambiental às condições extremas de temperatura pode exceder a capacidade do corpo humano em manter a termorregulação provocando estresse térmico (HAVENITH; FIALA, 2015).

Esses eventos são responsáveis por impactos diretos e indiretos sobre a saúde humana, ocasionando sintomas que variam de dores de cabeça, exaustão física mental e até a morte, especialmente em grupos vulneráveis (COFFEL; HORTON; SHERBINI, 2018).

Os índices usados para avaliar a tensão de calor sobre o corpo humano são baseados no estabelecimento de um limite absoluto sobre a transferência de calor metabólico combinando, além da temperatura do ar, diferentes variáveis, como umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar (HAVENITH; FIALA, 2015). Embora muitos países tenham apresentado alguns indicadores combinando temperatura e umidade, não há nenhum método universal usado para quantificar o conforto térmico. Mais de 160 diferentes índices de estresse térmico foram desenvolvidos e, entre estes, o *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT) é o mais popular e o mais amplamente usado em treinamentos militares, medicina esportiva e ambiente de trabalho (BUDD, 2008; HAVENITH; FIALA, 2015).

O WBGT é um índice empírico derivado da média ponderada da temperatura de globo, da temperatura natural do bulbo úmido e da temperatura de bulbo seco e pode ser calculado por meio das variáveis temperatura, umidade do ar, velocidade do vento e radiação solar (LILJEGREN et al., 2008). Os limites de segurança estabelecidos para esse índice são baseados em estudos de respostas fisiológicas considerando diferentes combinações de aclimação e gasto metabólico, por exemplo, valores de WBGT superiores a 32°C são altamente estressantes para exercícios ao ar livre e, geralmente, são usados no treinamento esportivo, militar e na segurança do trabalho (ISO 7243,1989; KJELLSTROM, 2016).

Com o aumento global da temperatura, as projeções indicam uma intensificação de condições de estresse térmico até o final do século, com valores de temperaturas de bulbo úmido – uma métrica mais sensível às variações de umidade do ar comparado ao WBGT – excedendo os limites teóricos postulados para a tolerância humana, especialmente nas regiões tropicais (COFFEL; HORTON; SHERBININ, 2017).

Nessas regiões, os eventos extremos de temperatura de bulbo úmido podem ser o dobro da mudança projetada apenas para temperatura e aproximadamente 4% da população no Sul da Ásia poderá experimentar no final do século temperatura de bulbo úmido máxima excedendo valores de 35°C, sob o cenário RCP 8.5 (*Representative Concentration Pathways* ou Trajetórias Representativas de Concentrações) que corresponde ao cenário com um forçamento radiativo de 8.5 W/m<sup>2</sup> em todo o planeta, com incremento de mais de 4°C na temperatura média global até 2100 (COFFEL; HORTON; SHERBININ, 2017; IM; PAL; ELTHAIR, 2017).

No Brasil, poucos foram os estudos realizados com projeções futuras sobre os impactos do estresse térmico na morbimortalidade, considerando os diferentes cenários de mudanças climáticas. Nessa perspectiva, este estudo teve como objetivo avaliar o risco da exposição às condições de estresse térmico, sua associação e seu potencial impacto na mortalidade por doenças cardiovascular e respiratória nas capitais brasileiras para os níveis de aquecimento 1.5°C, 2.0°C e 4.0°C do modelo regional climático Eta-HadGEM2-ES no RCP 8.5.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 ABORDAGENS

A avaliação dos impactos relacionados às condições de estresse térmico na saúde humana, de acordo com cenários futuros de aquecimento, foi desenvolvida sob duas abordagens:

1. **Avaliação do risco de exposição** ao estresse térmico para a saúde humana comparando a exposição ao indicador de estresse térmico *WBGT* estimado a partir das simulações do modelo regional climático Eta-HadGEM2-ES segundo o cenário RCP 8.5 nos níveis de aquecimento 1.5°C, 2.0°C e 4.0°C;

2. **Avaliação dos impactos** relacionados às condições de estresse térmico sobre a mortalidade por doenças cardiovasculares (para pessoas com idade  $\geq 45$  anos) e respiratória (para pessoas com idade  $\geq 60$  anos), considerando os cenários de aquecimento 1.5°C, 2.0°C e 4.0°C do modelo regional climático Eta-HadGEM2-ES para o cenário RCP 8.5.

## 2.2 ÁREA DE ESTUDO

O risco de exposição foi avaliado para todo o território brasileiro, e os impactos na saúde humana, devido às condições de estresse térmico, foram estudados para todas as capitais brasileiras. Apesar de o estudo concentrar-se nas capitais, os resultados deste foram apresentados de acordo com as regiões brasileiras.

## 2.3 CENÁRIO CLIMÁTICO

O risco da exposição ao estresse térmico foi realizado para todo o Brasil e nas capitais usando as RCPs, que são cenários climáticos baseados nas emissões de CO<sub>2</sub>, conforme quatro níveis diferentes de forçamento radiativo em W/m<sup>2</sup> até o ano de 2100. Apesar de os RCPs englobarem quatro cenários de emissões, neste trabalho foi utilizado o RCP 8.5, que corresponde ao cenário de alta emissão, devido a um grande crescimento populacional e a um baixo nível tecnológico de mitigação, e com forçamento radiativo de 8.5 W/m<sup>2</sup>, com aquecimento médio global superior a 4°C até 2100, ou seja, o pior cenário possível com a total ausência de medidas de controle de CO<sub>2</sub> (IPCC, 2013).

## 2.4 DADOS AMBIENTAIS

Para estimar a curva de exposição-resposta, utilizou-se o WBGT médio do período vespertino, calculado por meio dos dados provenientes do *Modelo Era-Interim do European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) (<https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era-interim>) para o período de 2000 a 2010. Para avaliar o impacto futuro, foram usadas a temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e a radiação solar de onda curta projetadas pelo modelo regionalizado Eta-Hadgem2-ES desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) (CHOU et al., 2014). Cada variável do modelo foi calibrada separadamente usando os métodos descritos por Casanueva et al. (2019) e Hempel et al. (2013) e, posteriormente, o indicador de WBGT foi calculado.

## 2.5 WET-BULB GLOBE TEMPERATURE (WBGT)

Neste estudo, o risco de estresse térmico foi mensurado por meio do indicador de estresse térmico WBGT. Este mensura a exposição ao calor que implique tensão sobre o corpo humano e, conseqüentemente, risco potencial à saúde humana. É usado para avaliar risco de sobrecarga térmica em atividades laborais em ambientes internos e externos. O WBGT máximo para ambientes externos foi calculado por meio da seguinte equação:

$$\text{WBGT} = 0,7T_w + 0,2T_g + 0,1T_a$$

Onde: Tw representa a temperatura natural do bulbo úmido, Tg a temperatura do globo negro e Ta a temperatura do bulbo seco ou atmosférica. Os valores de Tw e Tg foram estimados por meio dos dados de temperatura máxima, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação, por meio do método desenvolvido por Liljegren et al. (2008) e recomendado por Lemke e Kjellstrom (2012).

Para avaliar a exposição da saúde humana ao estresse térmico, os limites para classificação de risco foram estabelecidos de acordo com as faixas recomendadas para prática de exercícios físicos

em crianças, grupo considerado vulnerável e para atividades laborais intensas e sem aclimação (ACADEMIA AMERICANA DE PEDIATRIA, 2000; ISO 7243, 1989) (Tabela 1).

**Tabela 1 |** Risco de estresse térmico para a saúde humana.

Valores de WBGT	Classificação de risco
< 24°C	<b>Baixo risco</b> – todas as atividades físicas são permitidas
24°C a 25,9°C	<b>Moderado risco</b> – indicações de prática de exercícios físicos acompanhada de descanso e ingestão de água a cada 15 minutos
26°C a 29°C	<b>Alto risco</b> – indicações de interrupção de atividades físicas de pessoas não aclimatadas ou de pessoas com condições de saúde pré-existent
> 29°C	<b>Extremo risco</b> – interrupção de todas as atividades físicas, com risco à saúde humana.

Fonte: Comitê de Medicina Esportiva e de Aptidão Física da Academia Americana de Pediatria (2000) e ISO 7243 (1989).

Para o risco de exposição às condições de estresse térmico, foi utilizada a projeção do percentil 90 e do percentual de dias em que os valores de WBGT máximos diários excederam o percentil 90 do período de referência. Esse percentual foi calculado usando o calendário padrão do Modelo Climático Regionalizado Eta-HadGEM2-ES que é de 360 dias, ou seja, dentro de 360 dias/ano qual o percentual de dias em que os valores de WBGT máximo superaram o percentil 90 do período de 1961 – 2005?

## 2.6 DESFECHOS NA SAÚDE

Os impactos das condições de estresse térmico na saúde humana foram mensurados considerando os seguintes desfechos: mortalidade por doenças cardiovasculares (DAC) (para pessoas com idade ≥ 45 anos) (CID10: I00 a I99); e mortalidade por doenças respiratórias (DAR) (para pessoas com idade ≥ 60 anos) (CID10: J00 a J99).

## 2.7 ANÁLISE DOS IMPACTOS DAS CONDIÇÕES DE ESTRESSE TÉRMICO NA SAÚDE HUMANA

O impacto da exposição ao estresse térmico nos desfechos de mortalidade foi realizado de acordo com o método utilizado por Gasparrini et al. (2017) que incluem a estimativa da curva de exposição-resposta entre WBGT médio do período vespertino e os desfechos em saúde e a avaliação dos impactos futuros da exposição ao estresse térmico nos desfechos em saúde, de acordo com os cenários climáticos.

A estimativa da curva de exposição-resposta entre WBGT médio do período vespertino e os desfechos foi conduzida em dois estágios. No primeiro estágio, foram estimados os efeitos da exposição ao WBGT médio vespertino utilizando o modelo linear generalizado, com distribuição *quasi-poisson* combinando os Modelos Não lineares de defasagem distribuída (*Distributed lag non-linear models – DLNMs*).

As estimativas da curva de exposição-resposta foram baseadas nos efeitos acumulados de 21 dias para óbitos por doenças respiratórias e 07 dias para óbitos por doenças cardiovasculares. Como o WBGT é um indicador composto entre umidade, velocidade do vento e radiação, somente o dia da semana foi incluído no ajuste do modelo. O ajuste da tendência e sazonalidade foi feito por uma *spline* cúbica do tempo, com 7 graus de liberdade por ano. O efeito não linear e defasado foi modelado utilizando uma base cruzada definida por uma *spline* cúbica natural para WBGT, com três nós alocados nos percentis 10, 75 e 90. O ajuste da defasagem foi de 21 dias, com três nós para óbitos por doenças respiratórias, e sete dias com dois nós para mortalidade por doenças cardiovasculares.

No segundo estágio, a avaliação e o ajuste da heterogeneidade entre as capitais foram realizados por meio de uma meta-regressão, tendo como variáveis de ajuste a amplitude da temperatura e o Índice de Vulnerabilidade Social (IVS) disponibilizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Após essa etapa, realizou-se a recentralização dos efeitos para o WBGT estimando os Riscos Relativos para valores acima de 28°C ( $WBGT \geq 28^\circ C$ ), sendo essas curvas usadas para avaliar o impacto futuro. Essa condição de estresse térmico foi definida de acordo com os valores estabelecidos para a prática de exercícios físicos em crianças e para atividades laborais intensas e sem aclimação (ACADEMIA AMERICANA DE PEDIATRIA, 2000; ISO 7243, 1989). Para a associação estudada, as curvas estimadas apresentam formato em J, V ou U que descrevem excesso de risco de morte acima ou abaixo de um intervalo, ou um valor específico da exposição estudada, definida como temperatura ou WBGT de mortalidade mínima. Assim, os óbitos tendem a reduzir conforme a exposição aumenta até um determinado limiar ou intervalo, acima do qual voltam a aumentar. Para o WBGT, com risco de mortalidade mínima definido em 28°C, a maioria das capitais apresentou curvas com formato J, especialmente as capitais das regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul.

A projeção e a quantificação dos impactos futuros para os níveis de aquecimento global (SWL) de 1.5°C (2011-2040), 2.0°C (2041-2070) e 4.0°C (2071-2099) foram realizadas por meio do cálculo das frações atribuíveis. Frações atribuíveis são medidas de efeito baseadas no Risco Relativo (RR) que quantificam o excesso de óbito associado a um valor da exposição, ou seja, das condições de estresse térmico, sempre em comparação com um valor de referência, neste caso, o risco de morte centrado no WBGT igual a 28°C.

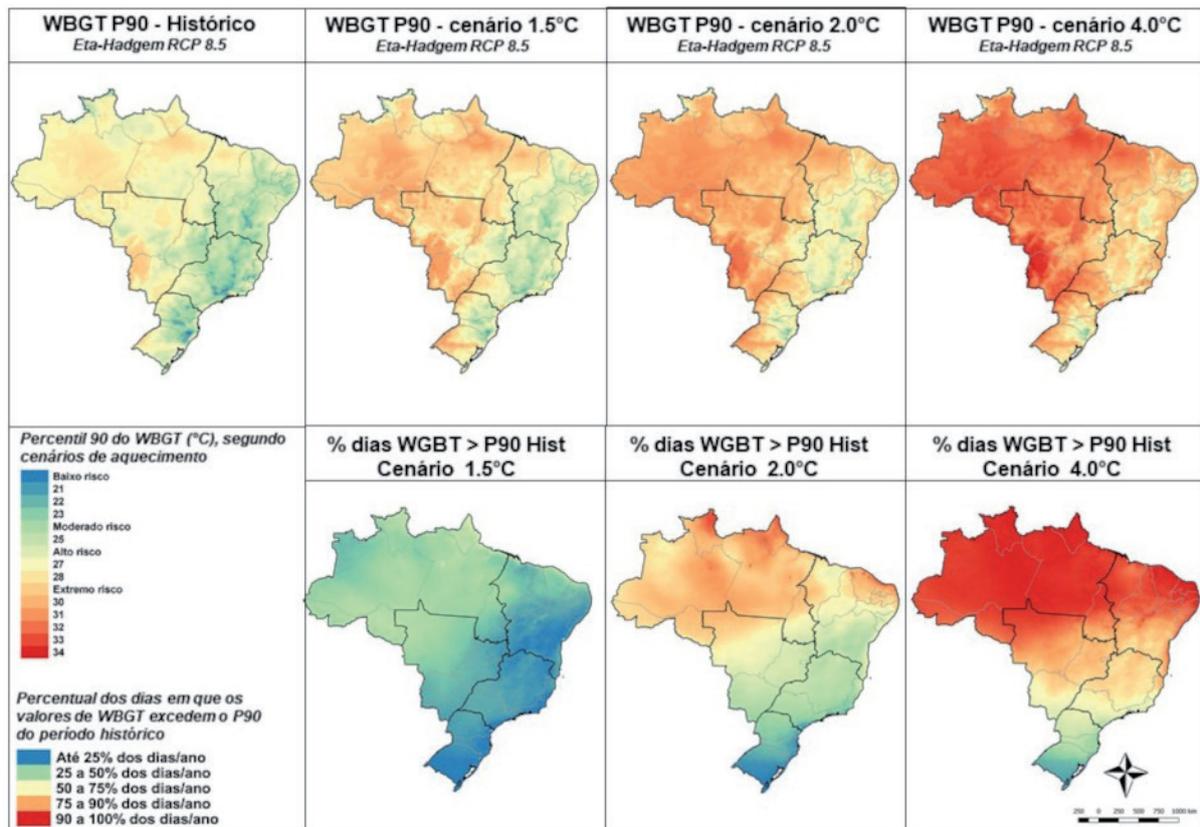
Nesta etapa, a curva de exposição-resposta acumulada entre WBGT e os óbitos por doenças cardiovasculares e respiratórias, estimada pelo Blup, calculada no segundo estágio da primeira etapa, foi extrapolada para os dados projetados. A função exposição-resposta é aplicada a uma série diária de 365 dias dos desfechos de saúde para o futuro construída por meio de médias diárias do período de 2000 a 2010. Com isso, assume-se que a curva de exposição-resposta estimada para o futuro manterá a forma, levando em consideração as tendências observadas nos modelos estimados pelo Blup e que a distribuição dos óbitos se manterá constante. Posteriormente, a quantificação do impacto foi estimada em termos da fração atribuível dos desfechos associados à exposição de WBGT acima de 28°C ( $WBGT > 28^\circ C$ ).

As análises foram conduzidas no programa R (2017) por meio dos pacotes *dlnm* (GASPARRINI, 2011) e *mvmeta* (GASPARRINI; ARMSTRONG; KENWARD, 2012).

## 3 RESULTADOS E ANÁLISES

### 3.1 RISCO DA EXPOSIÇÃO ÀS CONDIÇÕES DE ESTRESSE TÉRMICO

Em relação ao risco da exposição às condições de estresse térmico, a Figura 1 mostra uma expansão das áreas com risco extremo para a saúde, segundo os cenários de aquecimento. Com aumento global de 4.0°C da temperatura, o percentil 90 do WBGT indica que todas as regiões brasileiras apresentarão áreas de alto e extremo risco para a saúde humana em razão das condições de estresse térmico, especialmente nas regiões Norte e Centro-Oeste. Se considerarmos o percentual de dias acima dos valores do percentil 90 do período de referência (1960-2005), as regiões Norte e Nordeste poderão experimentar exposição acima do P90 do período de referência em mais de 90% dos dias do ano para o aquecimento de 4.0°C.



**Figura 1 |** Percentil 90 do indicador de estresse térmico *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT) e percentual de dias anuais com valores de WBGT acima do percentil 90 do período *baseline* (1961-2005) segundo cenários de aquecimento para o modelo climático *Eta-Hadgem-ES*, cenário RCP 8.5.

Fonte: Elaborada pelos autores.

### 3.2 IMPACTOS FUTUROS DAS CONDIÇÕES DE ESTRESSE TÉRMICO NA SAÚDE HUMANA

O número total de óbitos por doenças cardiovasculares e respiratórias e a média do WBGT no período vespertino para 2000 a 2010 e para os cenários de aquecimento estão apresentados na Tabela 2. Entre 2000 e 2010, a Região Norte apresentou as maiores médias de WBGT no período vespertino, com destaque para Rio Branco que atingiu valor máximo próximo a 34°C. Ainda na Região Norte, observa-se um incremento de aproximadamente 5° nos valores médios do WBGT do período vespertino para o aquecimento global de 4°C.

**Tabela 2 |** Número total de óbitos por doenças cardiovasculares (DAC) em adultos acima de 45 anos e respiratórias (DAR) em idosos acima de 60 anos, os valores médios diários do *Wet Bulb Globe Temperature* (WBGT) durante o período vespertino para 2000 a 2010 e suas respectivas médias para as projeções, segundo os cenários de aquecimento global.

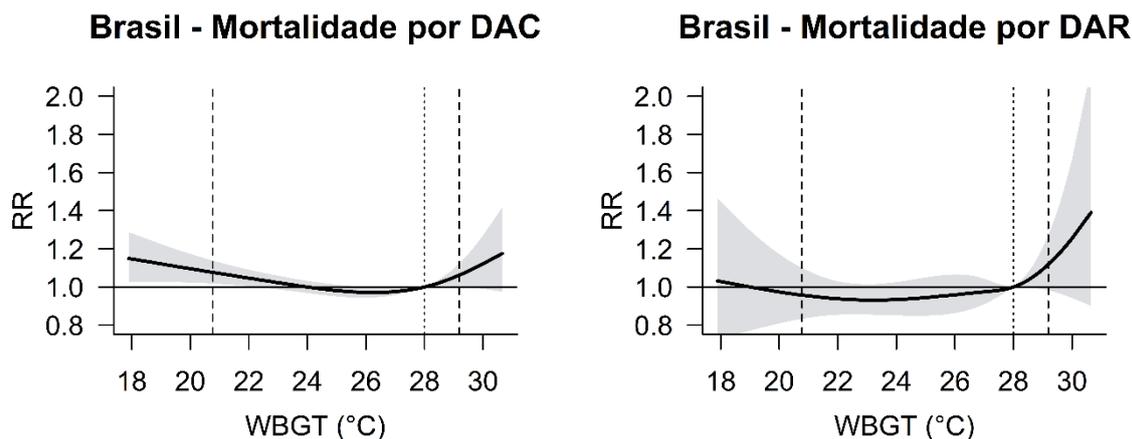
Capitais	Óbitos (2000 – 2010)		WBGT °C (2000-2010)		WBGT para o aquecimento global da temperatura (valores médios)			
	DAR	DAC	Média	Min-Max	Baseline	1.5°C	2.0°C	4.0°C
<b>NORTE</b>								
Belém	7502	18803	28,2	23,9 - 31,5	27,7	29,1	30,4	32,3
Boa Vista	459	2146	28,0	23,2 - 31,5	27,5	28,7	30,0	31,3

Capitais	Óbitos (2000 - 2010)		WBGT °C (2000-2010)		WBGT para o aquecimento global da temperatura (valores médios)			
	DAR	DAC	Média	Min-Max	Baseline	1.5°C	2.0°C	4.0°C
Macapá	670	2323	27,7	24,1 - 30,4	27,0	28,6	30,1	31,9
Manaus	4508	13849	28,5	21,6 - 32,6	27,8	29,4	30,9	32,7
Palmas	233	1298	27,6	22,3 - 32,2	27,1	28,4	29,8	31,1
Porto Velho	1080	4113	28,5	17,6 - 32,1	27,8	29,5	31,0	32,8
Rio Branco	1239	2997	28,2	13,6 - 33,5	27,5	29,3	30,6	32,5
<b>NORDESTE</b>								
Aracaju	2104	7634	25,9	22,2 - 29,7	25,6	26,7	27,9	29,3
Fortaleza	9020	29810	26,6	23,7 - 28,9	26,1	27,2	28,4	29,8
Joao Pessoa	3050	11618	25,9	22,9 - 28,7	25,5	26,7	27,9	29,2
Maceió	3808	15382	25,7	21,7 - 29,1	25,4	26,5	27,7	29,1
Natal	3144	12061	26,1	22,8 - 29,0	25,7	26,8	28,1	29,4
Recife	8843	33018	25,6	22,1 - 28,6	25,2	26,3	27,5	28,8
Salvador	11030	37751	25,6	21,2 - 30,3	25,3	26,6	27,8	29,2
São Luís	2442	12523	27,3	23,5 - 29,1	26,9	28,0	29,3	30,9
Teresina	2664	13512	28,4	23,4 - 32,7	28,0	29,2	30,5	31,9
<b>CENTRO-OESTE</b>								
Brasília	6034	28869	23,9	17,0 - 29,0	23,6	24,9	26,2	27,7
Campo Grande	3641	13156	25,2	8,10 - 30,9	24,6	26,3	27,6	29,3
Cuiabá	1964	7544	27,6	13,3 - 32,6	27,0	28,6	29,9	31,4
Goiânia	5870	19058	24,7	16,9 - 29,8	24,3	25,8	27,1	28,6
<b>SUDESTE</b>								
Belo Horizonte	11395	39896	23,2	14,6 - 30,7	22,7	24,2	25,5	27,1
Rio de Janeiro	49332	157405	24,6	14,5 - 31,3	24,2	25,6	26,5	28,1
São Paulo	66373	232329	22,2	10,1 - 29,8	21,6	23,4	24,5	26,2
Vitoria	802	4972	24,7	17,1 - 30,7	24,4	25,6	26,7	28,2
<b>SUL</b>								
Curitiba	7840	30667	21,2	4,70 - 30,6	20,6	22,4	23,5	25,1
Florianópolis	1463	5698	21,7	10,4 - 30,4	21,4	22,5	23,2	24,6
Porto Alegre	8735	34627	21,1	6,30 - 23,0	20,3	22,0	22,7	24,3

Fonte: Elaborado pelos autores.

### ESTIMATIVA DA CURVA DE EXPOSIÇÃO-RESPOSTA

A Figura 2 mostra as curvas de exposição-resposta entre WBGT e mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias combinadas para todo o Brasil, por meio de uma metanálise. Para doenças cardiovasculares, observa-se uma distribuição dos Riscos Relativos (RR) em formato de U, com elevação nos dois extremos da distribuição do WBGT. Para valores de WBGT no P99 (~29,5°C), o RR acumulado em 7 dias foi cerca de 15% maior comparado ao RR observado para valores de WBGT igual a 28°C. A curva para a mortalidade por doenças respiratórias apresentou formato de J, com elevação do RR somente para valores de WBGT acima de 28°C, onde o RR acumulado de 21 dias foi de 1,40 para valores de WBGT ~31°C comparado ao RR para valores de WBGT igual a 28°C.



Legenda: Risco relativo (RR). A área sombreada representa o intervalo de 95% de confiança, as linhas tracejadas indicam os percentis 1° e 99° do WBGT do período vespertino e a linha pontilhada a recentralização da curva dos valores de WBGT acima de 28°C.

**Figura 2 |** Curvas de exposição-resposta entre *Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)* e mortalidade por doenças cardiovasculares em adultos com mais de 45 anos e respiratórias em idosos acima de 60 anos acumuladas, respectivamente, em 7 e 21 dias nas capitais combinadas para o Brasil (2000 a 2010).

Fonte: Elaborado pelos autores.

O RR entre o percentil 99 do WBGT médio no período vespertino e mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias comparado ao risco do WBGT centrado em 28°C para as capitais do Brasil é apresentado na Tabela 3. Observa-se que, para algumas capitais, o percentil 99 de WBGT foi menor ou muito próximo ao RR mínimo adotado (risco no WBGT igual a 28°C) e, portanto, o RR foi próximo ou igual a 1 para ambos os desfechos.

No entanto, algumas capitais destacam-se por apresentar RR de morte para os dois desfechos no percentil 99 do WBGT em relação ao RR mínimo adotado. Na Região Norte, Palmas e Porto Velho apresentaram, respectivamente, um incremento de 34% (IC95% 0,69 – 2,63) e 25% (IC95% 0,64 – 2,46) para mortes por DAR e 19% (IC95% 0,81 – 1,76) e de 23% (IC95% 0,85 – 1,79) para mortes por DAC. Na Região Centro-Oeste, destaque para Cuiabá com RR de 1,31 (IC95% 0,70 – 2,45) para DAR e 1,44 (IC95% 1,04 – 1,99) para DAC, no Sudeste para o Rio de Janeiro com RR de 1,24 (IC95% 0,94 – 1,65) para DAR e 1,37 (IC95% 1,21 – 1,55) para DAC e no Sul para Porto Alegre com RR de 1,51 (IC95% 1,22 – 1,86) para DAR e 1,21 (IC95% 1,10 – 1,33) para DAC.

**Tabela 3 |** Risco relativo entre *Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)* no percentil 99 em relação ao WBGT igual a 28°C e mortalidade por doenças cardiovasculares em adultos com mais de 45 anos e respiratórias em idosos acima de 60 anos acumulados, respectivamente, em 7 e 21 dias para as capitais (2000 a 2010).

	WBGT Percentil 99	DAR (RR para P99 do WBGT)			DAC (RR para P99 do WBGT)		
		IC95%			IC95%		
		RR	Inferior	Superior	RR	Inferior	Superior
<b>NORTE</b>							
Belém	29,9	1,17	0,73	1,87	1,00	0,79	1,27
Boa Vista	30,3	1,15	0,66	2,02	1,08	0,79	1,48
Macapá	29,3	0,95	0,59	1,54	1,02	0,78	1,33
Manaus	31,2	0,99	0,50	1,94	1,03	0,75	1,41
Palmas	31,1	1,34	0,69	2,63	1,19	0,81	1,76

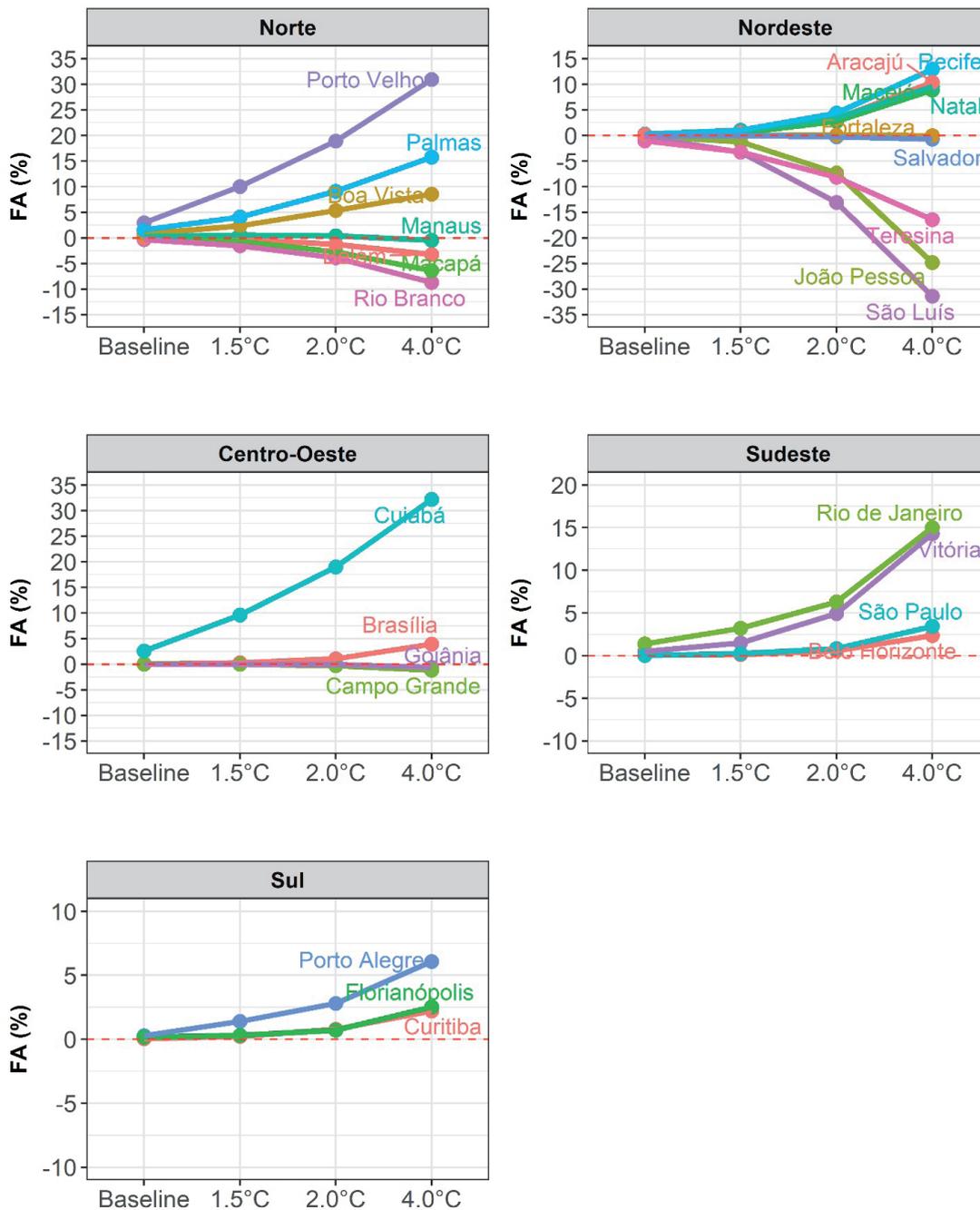
	WBGT Percentil 99	DAR (RR para P99 do WBGT)			DAC (RR para P99 do WBGT)		
		IC95%			IC95%		
		RR	Inferior	Superior	RR	Inferior	Superior
Porto Velho	31,1	1,25	0,64	2,46	1,23	0,85	1,79
Rio Branco	31,4	1,13	0,64	2,00	0,97	0,68	1,39
<b>NORDESTE</b>							
Aracaju	28,5	0,99	0,84	1,16	1,04	0,94	1,15
Fortaleza	28,2	1,01	0,94	1,09	0,99	0,94	1,04
Joao Pessoa	27,8	1,00	0,98	1,01	1,00	0,99	1,01
Maceió	28,1	1,00	0,94	1,06	1,01	0,97	1,04
Natal	28,1	1,00	0,94	1,07	1,01	0,97	1,05
Recife	27,8	1,00	0,93	1,08	0,98	0,94	1,03
Salvador	28,4	1,01	0,92	1,12	1,00	0,95	1,04
São Luís	28,7	1,00	0,70	1,43	0,96	0,78	1,18
Teresina	31,0	1,00	0,54	1,84	0,95	0,71	1,27
<b>CENTRO-OESTE</b>							
Brasília	27,2	0,91	0,68	1,23	0,99	0,87	1,12
Campo Grande	29,8	1,23	0,81	1,87	1,01	0,77	1,33
Cuiabá	31,2	1,31	0,70	2,45	1,44	1,04	1,99
Goiânia	28,3	1,07	0,96	1,18	1,02	0,97	1,07
<b>SUDESTE</b>							
Belo Horizonte	28,7	0,98	0,94	1,02	0,99	0,97	1,00
Rio de Janeiro	29,9	1,24	0,94	1,65	1,37	1,21	1,55
São Paulo	27,9	0,99	0,97	1,00	0,99	0,99	1,00
Vitoria	28,7	1,11	0,92	1,33	1,10	0,99	1,22
<b>SUL</b>							
Curitiba	28,2	1,02	0,97	1,06	1,01	0,99	1,02
Florianópolis	28,8	1,13	0,87	1,46	1,11	0,98	1,27
Porto Alegre	29,3	1,51	1,22	1,86	1,21	1,10	1,33

Fonte: Elaborado pelos autores.

### IMPACTOS FUTUROS DA EXPOSIÇÃO AO ESTRESSE TÉRMICO

Para todos os desfechos de saúde, na maioria das capitais, conforme aumenta o nível de aquecimento global, maior o número de óbitos em condições de estresse térmico. No entanto, os impactos diferem entre si de acordo com a localidade e os desfechos avaliados. O impacto foi medido pela fração atribuível (%) que corresponde ao percentual de mortes relacionadas ao aumento de WBGT.

Em relação aos óbitos por doenças cardiovasculares, o aquecimento global de 4.0°C poderá representar um impacto positivo nas mortes por estresse térmico, com fração atribuível menor que 5% para as capitais de Brasília, Belo Horizonte, Curitiba, Florianópolis e São Paulo. Entre as capitais mais impactadas para óbitos cardiovasculares destacam-se Palmas, Cuiabá e Porto Velho, com fração atribuída estimada acima de 30%. Nas duas **últimas** capitais, os incrementos da fração atribuível para o cenário de maior aquecimento em relação ao período de referência são de 26% e 28%, respectivamente (Figura 3).



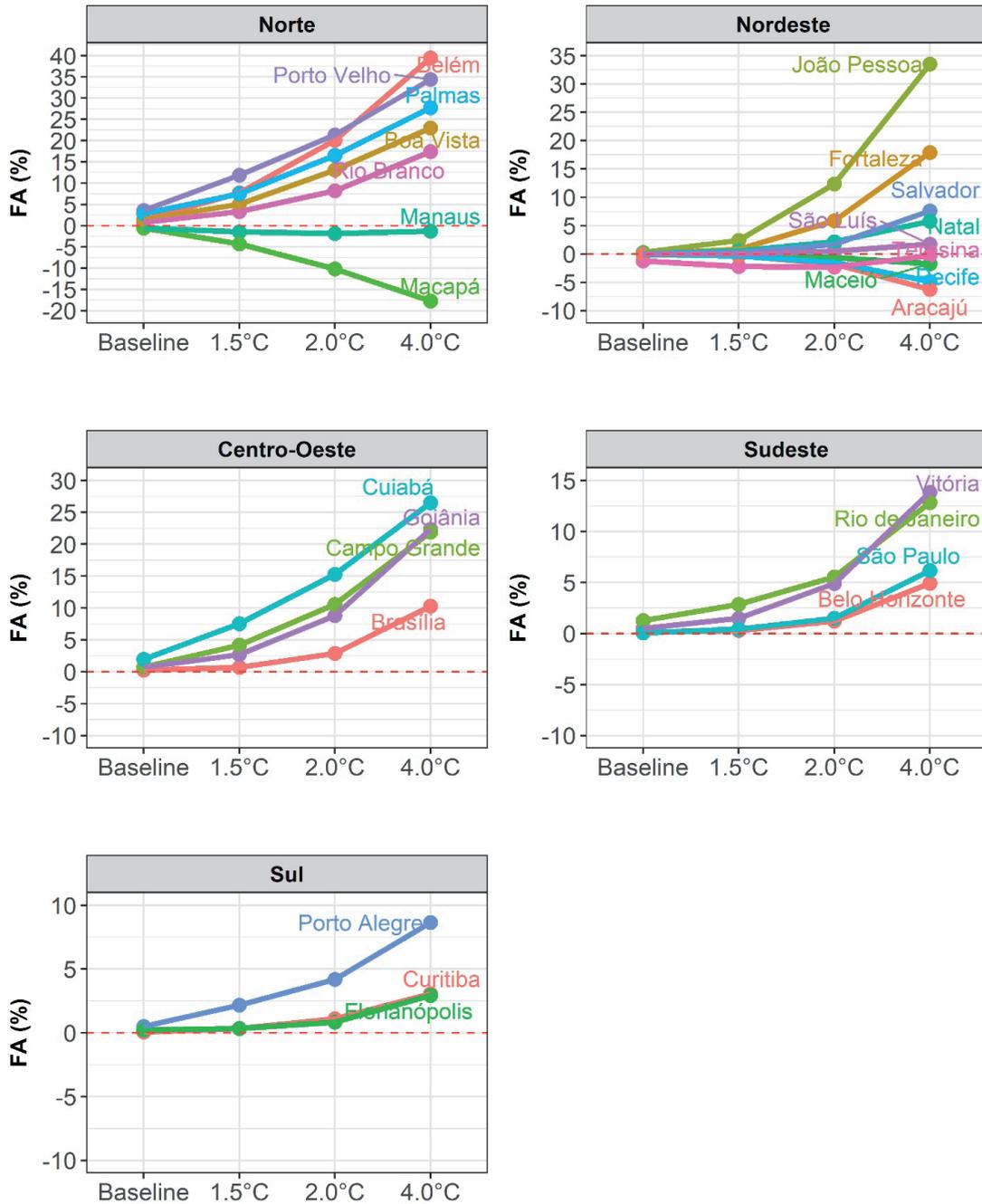
Legenda: FA (%) Fração atribuível que mede o quanto da ocorrência do desfecho é atribuível à exposição, ou seja, do total de mortes projetadas para o futuro, qual a fração (%) será atribuível ao estresse por calor.

**Figura 3 |** Fração da mortalidade por doenças cardiovasculares (DAC) atribuíveis à condição de estresse por calor (WBGT > 28°C) para as capitais no período baseline (1961-2005) e para os cenários de aquecimento do modelo climático Eta-Hadgem-ES (RCP 8.5).

Fonte: Elaborado pelos autores.

Em relação aos óbitos por doenças respiratórias, o aquecimento global de 4.0°C poderá representar impacto de aumento nas mortes por estresse térmico em diversas capitais. Na Região Norte, a fração atribuível aumentará progressivamente, de acordo com os níveis de aquecimento para Belém, Porto Velho, Palmas, Boa Vista e Rio Branco, com destaque para Belém com projeções de fração atribuível de 40% no aquecimento de 4.0°C. No Nordeste, João Pessoa, Fortaleza, Salvador e Natal poderão ter incremento das mortes por estresse térmico, com destaque para João Pessoa alcançando valores de

35% da fração atribuível das mortes relacionadas ao estresse térmico. No Centro-Oeste, as projeções indicam impactos para todas as capitais, onde Cuiabá apresentou a maior fração atribuível, com 25% para o aquecimento de 4.0°C. No Sudeste, Rio de Janeiro e Vitória apresentam valores de fração atribuível superiores a 10% para aquecimento de 4.0°C, e, no Sul, Porto Alegre destacou-se com 7,5% (Figura 4).



Legenda: FA (%) Fração atribuível que mede o quanto da ocorrência do desfecho é atribuível à exposição, ou seja, do total de mortes projetadas para o futuro, qual a fração (%) será atribuível ao estresse por calor.

**Figura 4 |** Fração da mortalidade por doenças respiratórias (DAR) atribuíveis à condição de estresse por calor (WBGT > 28°C) para as capitais no período *baseline* (1961-2005) e para os cenários de aquecimento do modelo climático Eta-Hadgem-ES (RCP 8.5).

Fonte: Elaborado pelos autores.

## 4 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Este estudo mostrou projeções sobre o risco da exposição às condições de estresse térmico para o Brasil. As projeções de impacto mais acentuado se deram para as regiões Norte e Centro-Oeste, que poderão apresentar exposição de extremo risco para a saúde humana. Além disso, os resultados mostraram associação entre WBGT e mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias para o Brasil, com destaque para as capitais Palmas, Porto Velho, Cuiabá, Rio de Janeiro e Porto Alegre. Em relação aos impactos, as projeções indicam uma tendência de aumento dos impactos conforme os níveis de aquecimento, ainda que com resultados heterogêneos entre as capitais.

Considerando os níveis de aquecimento, caso o cenário RCP 8.5 se confirme, praticamente todas as regiões brasileiras apresentarão aumento das condições de estresse térmico indicando riscos para as atividades laborais (KJELLSTROM; HOLMER; LEMKE, 2009) e esportivas (LEYK et al., 2019; NASSIS et al., 2015). Esses riscos já foram reportados em alguns estudos, como revisado por Leyk et al. (2019). Em 2014, durante a Copa do Mundo, observou-se redução do rendimento de alguns atletas com valores de WBGT entre 28°C e 30°C, enquanto dois jogos foram interrompidos por apresentarem picos de WBGT acima de 30°C (NASSIS et al., 2015).

Em nosso estudo, com o aquecimento de 4.0°C no final do século, essas situações poderão ser ainda mais comuns, especialmente nas regiões Norte e Centro-Oeste. É bem provável que intervalos de aquecimento e resfriamento possam ser estabelecidos e ampliados para diversos esportes, como já é feito para os torneios de tênis (TENNIS AUSTRALIA LIMITED, 2019) e como foi realizado durante a Copa do Mundo de 2014 (LUCENA et al., 2017).

Em relação à saúde do trabalhador, os regimes de trabalho que exigem resfriamento corporal já são regulados, por exemplo, em trabalhos industriais na produção de aço, vidro e cerâmica (ISO 7243, 1989). No entanto, em alguns setores onde a exposição e as medidas de prevenção ainda não são formalmente reguladas, como na agricultura, foram reportadas altas taxas de doenças associadas ao calor (LUCAS; EPSTEIN; KJELLSTROM, 2014). O alto risco de estresse por calor foi observado entre cortadores de cana-de-açúcar que apresentaram mudanças fisiológicas significativas, incluindo alteração na frequência cardíaca, na temperatura corporal e na pressão arterial sistólica (BOONRUKSA et al., 2020).

No Brasil, a sobrecarga térmica, originada pelo intenso trabalho e pela exposição às temperaturas e umidades elevadas, foi sugerida como fator desencadeador para a morte de 14 trabalhadores cortadores de cana, entre 2004 e 2008, no estado de São Paulo (BITENCOURT; RUAS; MAIA, 2012). Além disso, o risco de estresse térmico também foi reportado em atividades da construção civil (AL-BOUWARTHAN et al., 2019) e, para além do Brasil, em trabalhadores imigrantes do Nepal no Qatar (PRADHAN et al., 2019).

Em situações mais graves, a exposição ocupacional além dos limites estabelecidos, associada ao trabalho extenuante, pode ser fatal. Entre 2000 e 2016, o *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC) revisou retrospectivamente 25 doenças ocupacionais relacionadas ao estresse térmico, com avaliação dos fatores de riscos individuais, exposição a WBGT, carga de trabalho e aclimação. Das 25 doenças ocupacionais revisadas, os limites de exposição baseados nos valores de WBGT excederam para 14 doenças ocupacionais fatais e em 8 das 11 doenças não fatais. Esses resultados, associados aos nossos resultados aqui apresentados, reforçam a necessidade de programas de aclimação, treinamento e reconhecimento de sinais e sintomas de primeiros socorros (TUSTIN et al., 2019).

Antes da pandemia por SARS-CoV-2, as estimativas realizadas pela Organização Internacional do Trabalho (OIT) apontavam que os efeitos do calor e do estresse térmico poderiam ser responsáveis pela perda de 2,2% das horas de trabalho global, o que equivaleria a 80 milhões de empregos em tempo integral. No Brasil, as estimativas para 2030, com aquecimento de 1.5°C, estariam em torno de 850 mil empregos devido ao estresse térmico (ILO, 2019). De acordo com os resultados deste trabalho, essa

redução no rendimento laboral poderá ser mais pronunciada nas categorias com alto gasto metabólico e nas comunidades rurais e, portanto, novas iniciativas e estratégias para a saúde ocupacional deverão ser pensadas e implantadas (KJELLSTROM; HOLMER; LEMKE, 2009; TUSTIN et al., 2019).

Em nossos resultados, o risco de estresse térmico aumenta conforme o nível de aquecimento e confirma outras projeções já realizadas (ANDREWS et al., 2019; IM; PAL; ELTHAIR, 2017). Em relação à população global exposta, com o aquecimento de 1.5°C, o impacto será cerca de 350 milhões de pessoas com comprometimento dos limites para atividades laborais, e com o aquecimento de aproximadamente 2.5°C, essa exposição poderá atingir mais de 1 bilhão de pessoas (ANDREWS et al., 2019). A adaptação às condições térmicas extremas exigirá opções para resfriamento ativo, como aumento da demanda por ar-condicionado e alteração de regime de trabalho e atividades esportivas e, na falta de recursos para adaptação, poderá gerar ondas de migração (MUELLER; GRAY; KOSEC, 2014).

As projeções dos impactos das condições de estresse térmico sobre a mortalidade são, notoriamente, sensíveis a uma série de fatores comportamentais e culturais que influenciam a capacidade de adaptação fisiológica no longo prazo (COLLIER et al., 2019). Talvez esse seja um dos principais gargalos em estudos sobre os potenciais efeitos do calor na mortalidade, que é prever ou incorporar nos modelos os condicionantes e determinantes do processo saúde-doença. Em se tratando da capacidade de resiliência, a população global economicamente ativa está mais sedentária, envelhecendo e com taxas altas de doenças não transmissíveis. Esses fatores podem reduzir a capacidade de resiliência térmica desse grupo e aumentar sua suscetibilidade às doenças relacionadas ao calor (LOZANO et al., 2010).

Além dos adultos em idade ativa, os idosos e crianças são considerados de alto risco para estresse térmico devido à capacidade limitada em manter a temperatura corporal e maior risco à desidratação (GOMES; CARNEIRO JÚNIOR; MARINS, 2013; KENNY et al., 2010). Entre as crianças, a maior produção de calor metabólico por unidade de massa corporal e menor transpiração explicam parte dessa vulnerabilidade (BAR-OR, 1989; KENNY et al., 2010). Entre os idosos, além das doenças pregressas, a termorregulação é alterada pela redução do metabolismo celular e pelas alterações cutâneas (INBAR et al., 2004; KENNEY et al., 1997).

Algumas capitais analisadas no presente trabalho apresentaram curva de exposição-resposta para mortalidade decrescente, sobretudo em locais que experimentaram valores elevados de WBGT, como, por exemplo, as capitais do Norte e Nordeste. Esses resultados sugerem que um comportamento protetor pode estar sendo adotado em resposta às condições extremas de estresse por calor ou que esses locais apresentam menores efeitos dessas condições. Essa menor sensibilidade aos efeitos do calor em regiões mais quentes já foi sugerida por alguns autores (BASU, 2009; ZHAO et al., 2017, 2019). De qualquer forma, em algumas capitais, como Palmas, Cuiabá e Porto Velho, conhecidas no País por recordes de temperatura, observou-se um aumento da mortalidade por doenças cardiovasculares atribuíveis ao estresse térmico, atingindo fração atribuída acima de 30% com aquecimento de 4.0°C.

No Brasil, em razão da sua heterogeneidade cultural, socioeconômica, ecológica e climática, os impactos estarão, provavelmente, associados às questões de vulnerabilidade socioeconômica, individual e coletiva, tais como a idade, acesso aos serviços de saúde, resiliência fisiológica e demais determinantes sociais, como renda e condições habitacionais (MARANDOLA; HOGAN, 2009). Em regiões densamente povoadas, como as regiões Sudeste e Sul, algumas capitais poderão apresentar mortalidade atribuível ao estresse por calor superior a 10%, representando um impacto expressivo no número absoluto de óbitos. Enquanto nas regiões Norte e Centro-Oeste, apesar da alta fração atribuível, o impacto em números absolutos poderá ser menor. De qualquer maneira, a Região Norte apresenta alta vulnerabilidade socioeconômica e de acesso aos serviços de saúde, com precárias condições para enfrentamento dos impactos decorrentes das mudanças no clima (HACON et al., 2015).

Os desafios dos serviços de saúde, provavelmente, serão mais extensos e complexos do que as projeções realizadas. Estas apontam incremento da carga de doenças associadas ao clima, com

sobreposição de doenças não transmissíveis e infecciosas. Assim, o aumento da mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias em decorrência das mudanças no clima ocorrerá em um cenário de aumento de outras doenças infecciosas, tais como aquelas transmitidas por vetores ou por veiculação hídrica. Outro agravante será a exacerbação de doenças associadas aos efeitos da poluição atmosférica, especialmente em áreas com avanço do desmatamento, que estão associadas à disseminação de velhos e novos patógenos (FLOSS; BARROS, 2019).

Essa não é uma realidade distante, no ano de 2020 ocorreram simultaneamente no Brasil ondas de calor, aumento das queimadas e do desmatamento que são exposições ambientais associadas à morbimortalidade por doenças não transmissíveis com doença cardiovascular e respiratória, e pela influência na disseminação de velhos e novos, como as doenças transmitidas por vetores.

Estudos sobre os futuros impactos do aumento da temperatura e do estresse térmico são dotados de limitações e incertezas. O limiar de 28°C para o WBGT, apesar de preestabelecido por marcos regulatórios, pode estar subestimando os impactos de eventos de estresse térmico devido às condições socioeconômicas e demográficas, ao acesso e à qualidade dos serviços de saúde e à capacidade de adaptação dos indivíduos (CUI et al., 2005; PARSONS, 2003).

Além disso, as projeções foram realizadas assumindo um cenário *baseline* estático para inúmeros fatores que poderiam influenciar na mortalidade, como o crescimento populacional, as tecnologias médicas, a expectativa de vida e sua distribuição geográfica. As próprias condições climáticas futuras poderão ter influência na adoção de novos comportamentos, devido à necessidade direta ou indireta das populações de se adaptarem às novas condições climáticas. Com isso, os estilos de vida, as práticas cotidianas e os hábitos alimentares poderão ser modificados, resultando em novos perfis nosológicos e, conseqüentemente, influenciando a mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias.

Apesar de todas as limitações e incertezas, este estudo acende um estado de alerta quanto aos potenciais riscos para o aumento da mortalidade devido às condições de estresse por calor caso as emissões dos gases de efeito estufa mantenham-se no ritmo atual. As projeções indicaram tendências importantes para o Brasil, com a identificação de áreas de alto risco para mortalidade por doenças cardiovasculares e respiratórias e implicações para a saúde global e ocupacional do País.

## REFERÊNCIAS

AL-BOUWARTHAN, M. et al. Heat Stress Exposure among Construction Workers in the Hot Desert Climate of Saudi Arabia. **Annals of Work Exposures and Health**, v. 63, p. 505-520, 2019.

AMERICAN ACADEMY OF PEDIATRICS. Committee on Sports Medicine and Fitness. Pediatrics. Climatic heat stress and the exercising child and adolescent. [Internet]. v. 106, 2000. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10878169>>.

ANDREWS, O. et al. Implications for workability and survivability in populations exposed to extreme heat under climate change: a modelling study. **The Lancet Planetary Health**, v. 2, p. E540-E547, 2019.

BAR-OR, O. Temperature regulation during exercise in children and adolescent. In: LAMB, D. R.; GISOLFI, C. V. **Perspectives in exercise science and sports medicine: youth, exercise, and sport**. Indianapolis: Benchmark Press. p. 335-68, 1989.

BASU, R. High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. **Environmental Health**, v. 8, 2009.

BITENCOURT, D. P.; RUAS, A. C.; MAIA, P. A. Análise da contribuição das variáveis meteorológicas no estresse térmico associada à morte de cortadores de cana-de-açúcar. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 28, p. 65-74, 2012.

BOONRUKSA, P. et al. Heat Stress, Physiological Response, and Heat-Related Symptoms among Thai Sugarcane

- Workers. **International Journal Environmental Research and Public Health**, v. 17, p. 6363, 2020.
- BUDD, G. M. Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) – its history and its limitations. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v.11, p. 20-32, 2008.
- CASANUEVA, A. et al. Climate projections of a multivariate heat stress index: the role of downscaling and bias correction. **Geoscientific Model Development**, v. 12, p. 3419-3438, 2019.
- CHOU, S. C. et al. Evaluation of the Eta Simulations Nested in Three Global Climate Models. **American Journal of Climate Change**, v. 3, p. 438-54, 2014.
- COFFEL, E. D.; HORTON, R. M.; SHERBININ, A. Temperature and humidity-based projections of a rapid rise in global heat stress exposure during the 21st century. **Environmental Research Letters**, v. 13, p. 14001, 2018.
- COLLIER, R. J. et al. Heat stress: physiology of acclimation and adaptation. **Animal Frontiers**, v. 9, p. 12-19, 2019.
- CUI, J. et al. Effects of heat stress on thermoregulatory responses in congestive heart failure patients. **Circulation**, v. 112, p. 2286-92, 2005.
- FLOSS, M.; BARROS, E. Lancet Countdown: briefing para políticas de saúde no Brasil. **Revista Brasileira de Medicina de Família e Comunidade**, v. 14, p. 2286, 2019.
- GASPARRINI, A. Distributed Lag Linear and Non-Linear Models in R: the package dlnm. **Journal of Statistical Software**, v. 43, p. 1-20, 2011.
- GASPARRINI, A. et al. Projections of temperature-related excess mortality under climate change scenarios. **The Lancet Planetary Health**, v. 1, p. e360-e367, 2017.
- GASPARRINI, A.; ARMSTRONG, B.; KENWARD, M. G. Multivariate meta-analysis for non-linear and other multi-parameter associations. **Statistics in Medicine**, v. 31, p. 3821-39, 2012.
- GOMES, L. H. L. S.; CARNEIRO JÚNIOR, M. A.; MARINS, J. C. B. Respostas termorregulatórias de crianças no exercício em ambiente de calor. **Revista Paulista de Pediatria**, v. 31, p. 104-10, 2013.
- HACON, S. et al. Vulnerabilidade, riscos e impactos das mudanças climáticas sobre a saúde no Brasil. In: **Terceira Comunicação Nacional sobre Mudanças Climáticas à UNFCC (TCN-UNFCC)**, 2015.
- HAVENITH, G.; FIALA, D. Thermal Indices and Thermophysiological Modeling for Heat Stress. In: **Comprehensive Physiology**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc. p. 255-302, 2015.
- HEMPEL, S. et al. A trend-preserving bias correction – The ISI-MIP approach. **Earth System Dynamics**, v. 4, p.219-236, 2013.
- IM, E-S.; PAL, J. S.; ELTAHIR, E. A. B. Deadly heat waves projected in the densely populated agricultural regions of South Asia. **Science Advances**, v. 3, p. e1603322, 2017.
- INBAR, O. et al. Comparison of thermoregulatory responses to exercise in dry heat among prepubertal boys, young adults and older males. **Experimental Physiology**, v. 89, p. 691-700, 2004.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2014: mitigation of climate change**. New York, NY: Cambridge University Press, 2014.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change: 2013: the physical science basis**. Summary for Policymakers. Geneva, Switzerland, 2013.
- INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION (ILO). **Working on a warmer planet: the impact of heat stress on labour productivity and decent work**. International Labour Office – Geneva, ILO, 2019.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO Standard 7243: ergonomics of the thermal environment – assessment of heat stress using the WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) index**. Disponível em: <<https://www.iso.org/standard/67188.html>>. Acesso em: 01 set. 2020.

- KENNEY, W. L. et al. Decreased active vasodilator sensitivity in aged skin. **American Journal of Physiology-Heart and Circulatory**, v. 272, p. H1609-14, 1997.
- KENNY, G. P. et al. Heat stress in older individuals and patients with common chronic diseases. **Canadian Medical Association Journal**, v. 182, p. 1053-60, 2010.
- KJELLSTROM, T. Impact of climate conditions on occupational health and related economic losses: a new feature of global and urban health in the context of climate change. **Asia Pacific J Public Health**, v. 28, p. 285-375, 2016.
- KJELLSTROM, T. et al. The direct impact of climate change on regional labor productivity. **Archives of Environmental & Occupational Health**, v. 64, p. 217-227, 2009.
- LEMKE, B.; KJELLSTROM, T. Calculating workplace WBGT from meteorological data: a tool for climate change assessment. **Industrial Health**, v. 50, p. 2012.
- LEYK, D. et al. Health Risks and Interventions in Exertional Heat Stress. **Deutsches Arzteblatt International**, v. 116, p. 31-32, 2019.
- LILJEGREN, J. C. et al. Modeling the Wet Bulb Globe Temperature Using Standard Meteorological Measurements. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 5, p. 645-55, 2008.
- LOZANO, R. et al. Global and regional mortality from 235 causes of death for 20 age groups in 1990 and 2010: a systematic analysis for the global burden of disease study 2010. **Lancet**, v. 380, p. 2095-2128, 2013.
- LUCAS, R. A. I.; EPSTEIN, Y.; KJELLSTROM, T. Excessive occupational heat exposure: a significant ergonomic challenge and health risk for current and future workers. **Extreme Physiology & Medicine**, v. 3, p. 1-8, 2014.
- LUCENA, R. L. et al. The Brazilian World Cup: too hot for soccer? **International Journal of Biometeorology**, v. 61, p. 2195-2203, 2017.
- MARANDOLA, J. R.; HOGAN, D. J. Vulnerabilidade do lugar vs. vulnerabilidade sociodemográfica: implicações metodológicas de uma velha questão. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 26, p. 161-81, 2009.
- MULLER, V.; GRAY, C.; KOSEC, K. Heat stress increases long-term human migration in rural Pakistan. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 182-185, 2014.
- NASSIS, G. P. et al. The association of environmental heat stress with performance: analysis of the 2014 FIFA World Cup Brazil. **British Journal of Sports Medicine**, v. 49, p. 609-13, 2015.
- PARSONS, K. **Human Thermal Environments: the effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance**. London and New York: Taylor & Francis, 2003.
- PRADHAN, B. et al. Heat stress impacts on cardiac mortality in Nepali Migrant workers in Qatar. **Cardiology**, v. 143, p. 37-48.
- TENNIS AUSTRALIA LIMITED. **AO Heat Stress Scale a Grand Slam first**. Disponível em: <[www.ausopen.com/articles/news/ao-heat-stress-scale-grand-slam-first](http://www.ausopen.com/articles/news/ao-heat-stress-scale-grand-slam-first)>. Acesso em: 01 set. 2020.
- TUSTIN, A. W. et al. Evaluation of Occupational Exposure Limits for Heat Stress in Outdoor Workers – United States, 2011-2016. **MMWR Morb Mortal Wkly Rep**, v. 67, p. 733-737, 2019.
- WORLD ORGANIZATION HEALTH (WHO). **Climate and Health Country Profiles – Brazil – 2015**. United Nations: Framework Convention on Climate Change, 2015.
- WORLD ORGANIZATION HEALTH (WHO). **Ten threats to global health 2019**. Disponível em: <<https://www.who.int/news-room/spotlight/ten-threats-to-global-health-in-2019>>. Acesso em: 01 set. 2020.
- ZHANG, Y. Diurnal Temperature Range in Relation to Daily Mortality and Years of Life Lost in Wuhan, China. **International Journal Environment Research and Public Health**, v. 14, p. E891, 2017.
- ZHANG, Y. et al. The burden of ambient temperature on years of life lost: a multi-community analysis in Hubei, China. **Science Total Environment**, v. 621, p. 1491-1498, 2018.