

CLIMA EM SÍNTESE:

*Estudos sobre saúde e
ondas de calor no Brasil (2015-2025)*

CLIMA EM SÍNTESE:

*Estudos sobre saúde e ondas de
calor no Brasil (2015-2025)*

Brasília/DF
2025

©2025 – Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)

Os textos contidos nesta publicação poderão ser reproduzidos, armazenados ou transmitidos, desde que citada a fonte.

B823c Brasil. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação.

Clima em síntese: estudos sobre saúde e ondas de calor no Brasil (2015–2025) / Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. -- Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, 2025.

58 p.

ISBN: 978-65-87432-99-1

1. Ondas de calor – Saúde pública. 2. Mudanças climáticas – Brasil. 3. Clima – Brasil. I. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. II. ProAdapta. III. Ciência&Clima. IV. Título.

CDU 551.583(81)

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente

LUIZ INÁCIO LULA DA SILVA

Vice-Presidente

GERALDO ALCKMIN

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Ministra de Estado

LUCIANA BARBOSA DE OLIVEIRA SANTOS

SECRETARIA-EXECUTIVA

Secretário-Executivo

LUIS MANUEL REBELO FERNANDES

SECRETARIA DE POLÍTICAS E PROGRAMAS ESTRATÉGICOS

Secretária

ANDREA BRITO LATGÉ

DEPARTAMENTO PARA O CLIMA E SUSTENTABILIDADE

Diretor

OSVALDO LUIZ LEAL DE MORAIS

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE E MUDANÇA DO CLIMA

Ministra de Estado

MARINA SILVA

SECRETARIA-EXECUTIVA

Secretário-Executivo

JOÃO PAULO RIBEIRO CAPOBIANCO

SECRETARIA NACIONAL DE MUDANÇA DO CLIMA

Secretário

ALOISIO LOPES PEREIRA DE MELO

DEPARTAMENTO DE POLÍTICAS PARA ADAPTAÇÃO E RESILIÊNCIA À MUDANÇA DO CLIMA

Diretora

INAMARA SANTOS MÉLO

EQUIPE RESPONSÁVEL

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI)

Márcio Rojas da Cruz, Sávio Túlio Oselier Raeder.

Consultoria

Beatriz Fátima Alves de Oliveira, Fundação Oswaldo Cruz, Piauí.

Ismael Henrique Silveira, Universidade Federal da Bahia, Bahia.

APOIO TÉCNICO

Deutsche Gesellschaft Für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Ana Carolina Câmara, Marina Briant, Alexandre Ferreira.

Projeto Ciência&Clima (Projeto BRA/23/G31 – Quinta Comunicação Nacional, Relatório de Atualização Bienal e Relatórios Bienais de Transparência à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – GEF/PNUD/MCTI)

Mariana Gutierrez Arteiro da Paz, Natália Torres D'Alessandro,
Renata Patricia Soares Grisoli.

Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (PPGCC-UFRN)

Pablo Borges de Amorim

Projeto gráfico e diagramação

Vinicius Chozo Inoue

SUMÁRIO

Siglas.....	6
Apresentação.....	7
Introdução	9
<hr/>	
1. Aspectos conceituais e metodológicos.....	13
Principais conceitos e definições em saúde pública	13
Definindo calor extremo e ondas de calor	13
Estresse térmico	14
Risco relativo, eventos de saúde atribuíveis ao calor e excesso de ocorrências	15
Abordagens metodológicas sobre a exposição ao calor e os desfechos em saúde	16
Aspectos metodológicos para análises de saúde e ondas de calor	17
<hr/>	
2. Síntese de estudos sobre saúde e ondas de calor no Brasil	27
Panorama dos estudos revisados.....	27
Critérios de definição de ondas de calor.....	28
Desfechos e grupos avaliados.....	30
Desenhos e métodos estatísticos aplicados	31
Convergências e lacunas	32
Convergências	32
Lacunas.....	32
<hr/>	
3. Procedimentos, vigilância e monitoramento	37
Antes do evento.....	37
Durante o evento.....	38
Após o evento	39
<hr/>	
Considerações finais	43
Referências	47
Glossário	53

SIGLAS

AIC	Akaike Information Criterion (Critério de Informação de Akaike)
AVC	Acidente Vascular Cerebral
BR-DWGD	Brazilian Daily Weather Gridded Data
C3S	Copernicus Climate Change Service
CAMS	Copernicus Atmosphere Monitoring Service
CDS	Climate Data Store
CID-10	Classificação Internacional de Doenças – 10ª Revisão
COE	Centro de Operações de Emergência
CPTEC-INPE	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
DAG	Directed Acyclic Graph (Diagrama Acíclico Direcionado)
DLNM	Distributed Lag Non-linear Models (Modelos Não Lineares de Defasagem Distribuída)
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
EHF	Excess Heat Factor
EHI_{accl}	Excess Heat Index acclimatization (Índice de Aclimação)
EHI_{sig}	Excess Heat Index significance (Índice de Significância)
ERA5	ECMWF Reanalysis 5th Generation
ERA5-Land	ECMWF Reanalysis 5th Generation – Land
HAAT	Heat Area Above a Threshold
HI	Heat Index (Índice de Calor)
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MP_{2,5}	Material Particulado Fino (diâmetro aerodinâmico $\leq 2,5 \mu\text{m}$)
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
SIH-SUS	Sistema de Informações Hospitalares do Sistema Único de Saúde
SIM	Sistema de Informação sobre Mortalidade
T_{max}	Temperatura Máxima
T_{med}	Temperatura Média
T_{min}	Temperatura Mínima
TMM	Temperatura de Mortalidade Mínima
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
UTCI	Universal Thermal Climate Index
WBGT	Wet Bulb Globe Temperature
WHO	World Health Organization (Organização Mundial da Saúde)

APRESENTAÇÃO

O Brasil vive uma emergência climática marcada por eventos extremos, como as ondas de calor, que estão cada vez mais frequentes, intensas e duradouras. O fortalecimento da resposta nacional e de governos subnacionais demanda uma compreensão aprofundada sobre como esses eventos afetam a saúde da população, permitindo o planejamento e a implementação de efetivas ações de adaptação.

Nesse contexto, o projeto ProAdapta, fruto da parceria entre o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima do Brasil (MMA) e o Ministério Federal do Meio Ambiente, Ação Climática, Conservação da Natureza e Segurança Nuclear (BMUKN) da Alemanha, no contexto da Iniciativa Internacional para o Clima (IKI, sigla em alemão) e implementado pela Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, e o projeto Ciência&Clima (BRA/23/G3I – Quinta Comunicação Nacional, Relatório de Atualização Bienal e Relatórios Bienais de Transparência do Brasil à Convenção do Clima), iniciativa executada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), com o apoio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD Brasil) e recursos do Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF), tem atuado na sistematização de estudos sobre impactos observados da mudança do clima no Brasil.

A publicação “Clima em síntese: Estudos sobre saúde e ondas de calor no Brasil (2015 – 2025)” é um dos resultados dessa iniciativa. O documento tem como objetivo orientar especialistas, técnicos e gestores públicos em seus esforços para lidar com os impactos das ondas de calor na saúde pública. Para isso, o documento está organizado em três partes: a primeira introduz aspectos conceituais e metodológicos que contribuem para a melhor apropriação do tema, a segunda apresenta uma revisão dos principais estudos realizados no país, destacando as diferentes abordagens metodológicas, resultados relevantes e, por fim, a terceira traz aspectos de vigilância e monitoramento para antes, durante e após os eventos de ondas de calor.

Este trabalho representa um avanço importante na construção de uma base técnico-científica sólida, capaz de subsidiar políticas públicas de adaptação, fortalecer a transparência climática e ampliar a resiliência do setor de saúde frente aos riscos climáticos.

INTRODUÇÃO

As ondas de calor estão se tornando mais frequentes, intensas e duradouras em diversas regiões do mundo, configurando-se como um dos principais riscos à saúde no contexto da mudança do clima (IPCC, 2022). Esses eventos extremos estão associados ao aumento da mortalidade e morbidade, sobretudo por doenças cardiovasculares, respiratórias e renais, além de repercutirem sobre a saúde mental, a produtividade laboral e a ocorrência de agravos relacionados à desidratação e ao estresse térmico (Liu et al., 2025; Bell; Gasparrini; Benjamin, 2024; Yang et al., 2024).

Diferentemente de dias isolados de calor, as ondas de calor caracterizam-se por períodos consecutivos de temperaturas excepcionalmente elevadas, capazes de sobrecarregar tanto a capacidade de adaptação fisiológica dos indivíduos quanto os sistemas de saúde (McGregor, Bessemoulin, 2015).

No Brasil, as ondas de calor vêm se intensificando nas últimas décadas. Entre 1970 e 2020, observou-se aumento do número de eventos em 14 capitais, especialmente em regiões de baixa latitude, com crescimento expressivo na região Norte a partir dos anos 2000 (Monteiro dos Santos et al., 2024).

O verão de 2024/2025 foi o mais quente desde 1961, com temperatura média de 26,2 °C, valor 0,73 °C acima da média histórica para o período de 1991 a 2020 (INMET, 2025). Esses episódios recentes têm ocorrido, em muitos casos, em sobreposição a outros extremos, como secas prolongadas, enchentes, queimadas e incêndios florestais, o que amplia os impactos sobre a saúde, os ecossistemas e a infraestrutura (Lancet, 2024; Ellwanger et al., 2025).

As ondas de calor intensificam as situações de vulnerabilidade, particularmente nos grandes centros urbanos, onde a elevada densidade populacional, a poluição atmosférica e a baixa cobertura vegetal potencializam os riscos à saúde. Ao mesmo tempo, populações rurais, povos indígenas e comunidades tradicionais enfrentam desafios específicos, como a exposição ocupacional ao calor extremo, a limitação do acesso a serviços de saúde e, em alguns contextos, a convivência com conflitos

ambientais (Moura Brito Júnior; Magalhães; Albuquerque, 2023; Ansah et al., 2024). Essa diversidade de vulnerabilidades territoriais reforça a necessidade de análises específicas e contextualizadas para a realidade brasileira.

A resposta a esse desafio não é apenas técnica, mas também política. A intensificação das ondas de calor mostra a urgência de fortalecer políticas públicas de adaptação e resiliência, articulando os setores de saúde, meio ambiente, trabalho e planejamento urbano (WHO, 2023). Embora o Brasil já desenvolva uma agenda nacional de adaptação às mudanças do clima, ainda carece de sistematização do conhecimento científico sobre os impactos observados na saúde. Essa lacuna limita a formulação de estratégias baseadas em dados robustos, reduz a capacidade de antecipação de riscos e fragiliza a produção de subsídios para relatórios nacionais e internacionais de transparência climática.

Diante do cenário de intensificação das ondas de calor e seus impactos na saúde, esta síntese tem como objetivo reunir e analisar a literatura científica sobre o tema, com foco na população brasileira, e sintetizar termos e conceitos relevantes para a compreensão do tema.

Em especial, buscam-se:

- As definições e conceitos relevantes para a compreensão da relação de ondas de calor e saúde;
- Os desfechos mais sensíveis para sua avaliação;
- As metodologias mais aplicadas para mensurar tais efeitos;
- As evidências já documentadas em estudos nacionais;
- Recomendações para vigilância e monitoramento em saúde.

Ao articular essas dimensões, o documento contribui não apenas para a consolidação do conhecimento científico existente, mas também para o fortalecimento das políticas públicas de adaptação. Além disso, alinha-se às metas globais de enfrentamento da crise climática, em especial ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 13, que ressalta a urgência de combater as mudanças climáticas e seus efeitos de longo alcance, e ao Objetivo Global de Adaptação, que apresenta o seguinte objetivo temático “Alcançar resiliência contra os impactos à saúde relacionados às mudanças do clima, promover serviços de saúde resilientes ao clima e reduzir significativamente a morbidade e mortalidade relacionadas ao clima, especialmente nas comunidades mais vulneráveis.” (UNFCCC, 2023).

Figura 1. Objetivos da publicação

DEFINIÇÕES E CONCEITOS

Apresentar definições, conceitos e elementos relevantes para a compreensão das abordagens metodológicas utilizadas e para a melhor compreensão da síntese apresentada.



DESFECHOS A SEREM AVALIADOS

Reunir e analisar informações sobre os impactos das ondas de calor na saúde da população brasileira, destacando os desfechos mais sensíveis para essa avaliação.



METODOLOGIAS DE ANÁLISE

Identificar e descrever as metodologias mais aplicadas para mensurar tais efeitos e as evidências já documentadas na literatura científica sobre como esses eventos têm afetado a saúde no país.



EVIDÊNCIAS NACIONAIS DOCUMENTADAS

Fornecer subsídios estratégicos para o fortalecimento das políticas públicas de adaptação e para a integração entre ciência, gestão e sociedade na construção de respostas mais eficazes aos riscos climáticos.



VIGILÂNCIA E MONITORAMENTO

Recomendar ações para o aperfeiçoamento dos procedimentos, vigilância e monitoramento para episódios de ondas de calor e seus impactos na saúde.

Fonte: Elaboração própria.





ASPECTOS CONCEITUAIS E METODOLÓGICOS

Principais conceitos e definições em saúde pública



DEFININDO CALOR EXTREMO E ONDAS DE CALOR

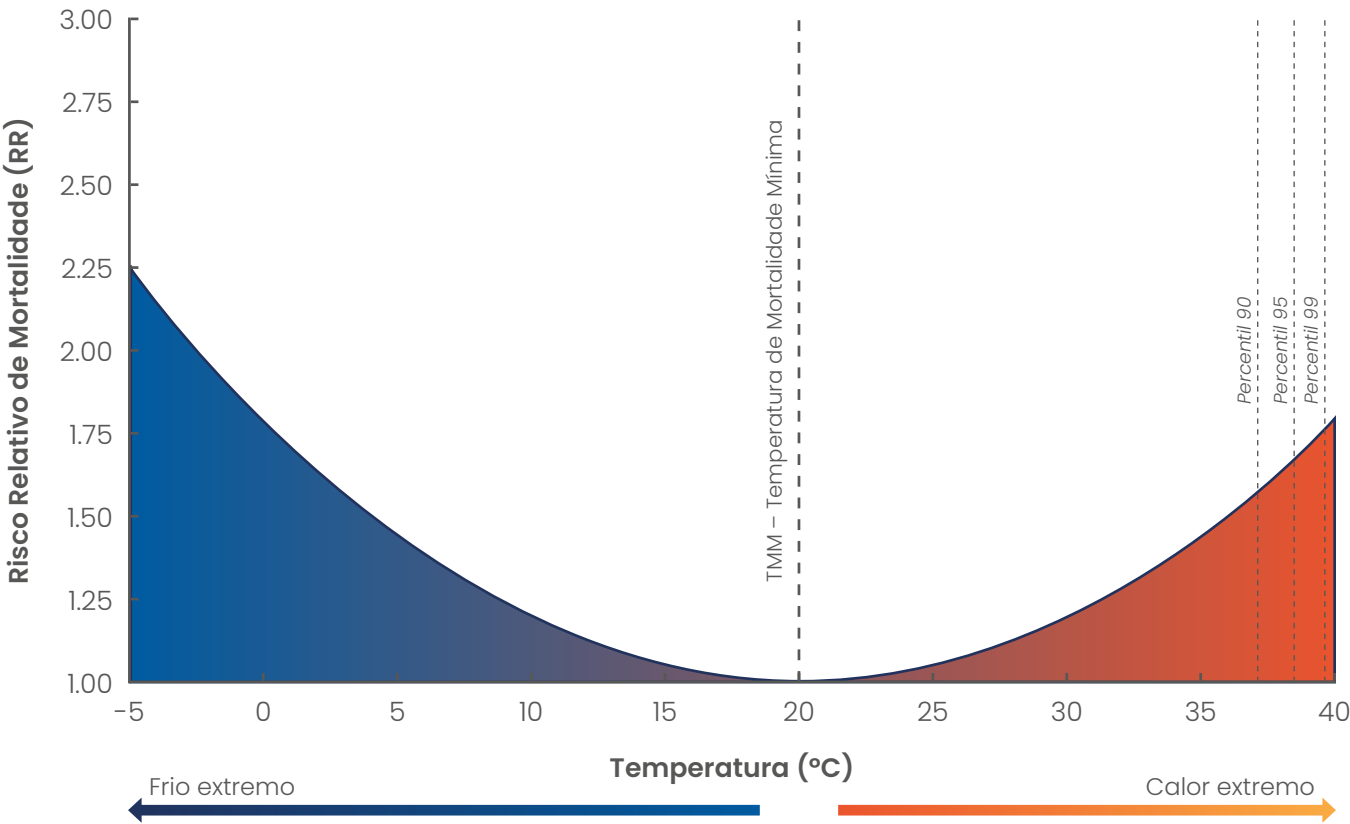
Geralmente, a relação entre temperatura ambiente e desfechos de morbimortalidade é descrita por curvas em formato de U ou J, cujo ponto de menor risco (risco relativo próximo ao valor nulo - 1) corresponde à Temperatura de Mortalidade Mínima (TMM). Esse parâmetro varia entre contextos climáticos, refletindo adaptações das populações às condições locais. Valores acima da TMM representam efeitos adversos do calor, que podem se manifestar tanto em exposições moderadas quanto em episódios mais intensos (Bouchama et al., 2025) (**Figura 2**).

Assim, o calor extremo refere-se a dias isolados em que a temperatura alcança valores particularmente elevados, situando-se nas faixas mais extremas da curva, ocorrendo com menos frequência. Nesse intervalo de temperaturas extremas de calor ocorrem as ondas de calor, definidas como sequências de dias consecutivos em que a temperatura excede determinados limiares, como os percentis entre 90º e 99º das temperaturas de um período climatológico (com série de 30 anos) ou de referência (McGregor, Bessemoulin, 2015).

No Brasil, o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) define ondas de calor como cinco ou mais dias consecutivos em que a temperatura máxima diária ultrapassa a média climatológica mensal em 5°C ou mais. No entanto, a aplicação dessa definição para estimar os impactos em desfechos de saúde foi pouco explorada em estudos nacionais. De um modo geral, segundo o guia da OMS/WMO – *Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development*, as ondas de calor são compreendidas como períodos de calor intenso e sustentado capazes de provocar

aumento da mortalidade, da morbidade e da demanda por serviços de emergência (Mcgregor, Bessemoulin, 2015). Os critérios de intensidade, duração e frequência desses eventos, assim como o grau de aclimação populacional podem influenciar seus impactos. Portanto, a formulação de definições e critérios para a vigilância deve considerar o contexto climático local e as respostas dos sistemas de saúde diante das diferentes expressões do calor extremo.

Figura 2. Modelo conceitual da curva de exposição–resposta entre temperatura ambiente e mortalidade, destacando o efeito do calor.



Fonte: Adaptado de Bouchama, Mündel e Laitano (2024).



ESTRESSE TÉRMICO

O estresse térmico é uma condição fisiopatológica em que a produção de calor supera a capacidade de dissipação do organismo, levando ao aumento da temperatura corporal central e à sobrecarga fisiológica (Parsons, 2014). Seus efeitos podem variar desde sinais e sintomas leves, como desidratação e câibras, até quadros graves de hipertermia, exaustão pelo calor e morte. Embora esses sinais clínicos sejam bem descritos, os óbitos diretamente atribuídos ao calor são raramente registrados como

causa básica, motivo pelo qual estudos epidemiológicos utilizam causas sensíveis ao calor, especialmente cardiovasculares e respiratórias, como desfechos substitutos. Em geral, as condições de estresse térmico são mensuradas por indicadores biometeorológicos que consideram, além da temperatura, fatores como umidade, radiação solar e vento. Entre eles, o WBGT e o UHCI destacam-se por oferecerem estimativas mais representativas da exposição térmica (Parsons, 2014).

Risco relativo, eventos de saúde atribuíveis ao calor e excesso de ocorrências

A mensuração dos impactos do calor sobre a saúde pode assumir diferentes abordagens metodológicas, que variam em grau de complexidade e aplicabilidade. Entre as principais medidas de associação e impacto utilizadas destacam-se:



RISCO RELATIVO

Mede a força da associação entre a temperatura (tanto frio quanto calor) e a ocorrência de desfechos em saúde, tendo como referência a a temperatura de risco mínimo ou outro valor, como a mediana. No caso do calor, para cada valor de temperatura acima do valor de referência, estima-se o quanto o risco de morte aumenta em comparação ao nível considerado ótimo. No caso das ondas de calor, não há utilização do valor de referência, e o risco relativo compara o risco de eventos de saúde em dias de ondas de calor, em relação aos dias sem ondas de calor (Armstrong, 2006; Gasparrini et al., 2010; Gasparrini; Leone, 2014).



EVENTOS DE SAÚDE ATRIBUÍVEIS AO CALOR

Medida de impacto que estima quantas mortes ou hospitalizações podem ser atribuídas à exposição ao calor ou a eventos de ondas de calor. De forma simplificada, parte-se dos riscos relativos para calcular a fração atribuível, que representa a proporção de casos devidos à exposição. Essa fração é, então, aplicada às taxas de mortalidade ou internações observadas, permitindo estimar diretamente o número de óbitos ou agravos em saúde atribuíveis ao calor (Gasparrini; Leone, 2014; WHO, 2014).



EXCESSO DE OCORRÊNCIAS

Número de ocorrências ou eventos de saúde observados além do esperado em um determinado período, calculado a partir da comparação com médias históricas. É uma medida de fácil aplicação e útil para o monitoramento em tempo real de ondas de calor (Checchi, Roberts, 2005; Fouillet et al., 2006, WHO, 2023).

Abordagens metodológicas sobre a exposição ao calor e os desfechos em saúde

A associação espaço-temporal entre a exposição ao calor e os desfechos em saúde é complexa, variando conforme a definição da exposição, o tipo de desfecho analisado e os contextos locais. Para investigar essa relação, diferentes abordagens e desenhos epidemiológicos têm sido empregados, incluindo estudos de séries temporais, de coorte, caso-controle e case-crossover (Hollander et al., 2021; Lawrence et al., 2021; Sun et al., 2021). A literatura internacional evidencia a heterogeneidade metodológica, ao mesmo tempo em que aponta para sub-representação de regiões como África e Oceania, em grande parte devido a barreiras relacionadas à disponibilidade de dados ambientais e de saúde (Graffy et al., 2024).

No Brasil, duas grandes abordagens metodológicas têm sido aplicadas. A primeira refere-se aos estudos descritivos, voltados à caracterização de padrões espaciais e temporais (Moraes et al., 2023) e, frequentemente, utilizados em análises exploratórias para o levantamento de hipóteses. Nesses casos, os impactos na saúde são, geralmente, estimados por meio do excesso de mortalidade, calculado como a razão entre os óbitos observados durante períodos de calor extremo e as médias históricas de referência (óbitos esperados). Apesar de fornecerem informações úteis para vigilância e monitoramento, esses estudos apresentam limitações para a realização de inferência causal, devido, por exemplo, à ausência de controle de variáveis de confusão, como poluição atmosférica e sazonalidade, além de não captarem efeitos não lineares ou defasados da exposição térmica.

A segunda corresponde aos estudos analíticos ou clássicos de associação, considerados a estratégia mais apropriada para investigar relações causais. No Brasil,

destacam-se as análises de séries temporais diárias combinadas a modelos não lineares de defasagem distribuída (DLNM), que permitem estimar os efeitos não lineares e acumulados da exposição ao calor (Graffy et al., 2025). O delineamento case-crossover, também aplicado em estudos nacionais (Silveira et al., 2023a, Silveira et al., 2023b), tem sido utilizado em conjunto com o DLNM, possibilitando a comparação da exposição entre períodos em que ocorreram os desfechos, em relação à períodos controles, com ajuste para sazonalidade e tendências de longo prazo. Essas metodologias permitem estimar curvas exposição–resposta, identificar a TMM e avaliar riscos associados a dias isolados de calor extremo ou a ondas de calor. Em conjunto, fornecem maior robustez estatística, favorecem análises estratificadas por subgrupos e fortalecem a vigilância em saúde diante do aumento projetado na frequência e intensidade desses eventos.

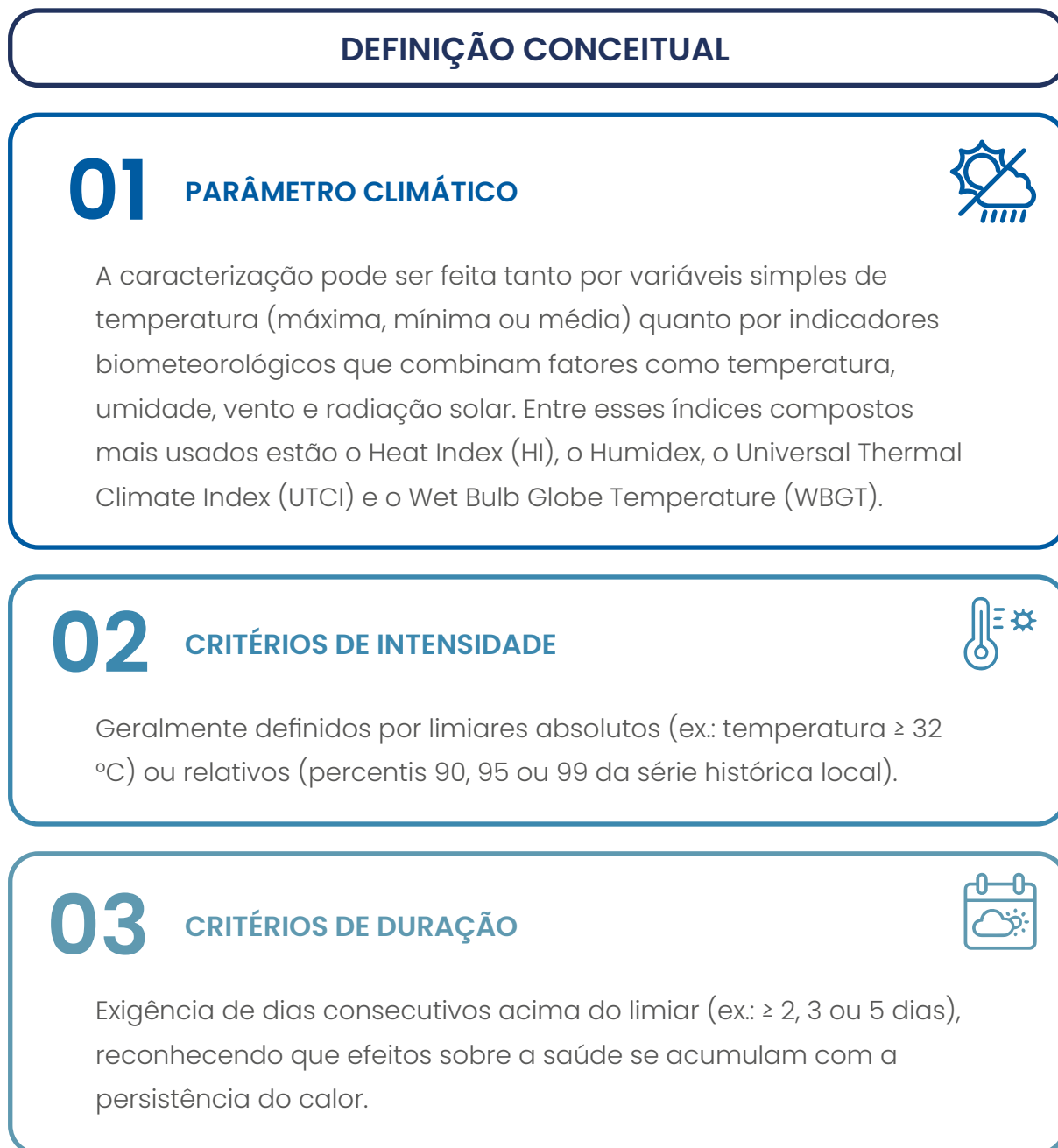
Aspectos metodológicos para análises de saúde e ondas de calor

A escolha metodológica para análises de saúde e ondas de calor depende de três elementos centrais: (i) definição do evento climático, (ii) definição dos desfechos de saúde e (iii) procedimentos de vigilância e monitoramento, voltados à implementação de sistemas de alerta que identifiquem áreas e grupos vulneráveis, incluindo fatores ambientais e sociais relevantes ao contexto brasileiro. A revisão das métricas e critérios de definição de ondas de calor baseou-se no guia *Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development* (McGregor, Bessemoulin, 2015) e em revisões recentes sobre sistemas de alerta de calor.



DEFINIÇÃO DO EVENTO CLIMÁTICO

Ondas de calor são episódios de calor intenso e prolongado, sem limite universal de temperatura, cuja definição varia conforme o contexto climático local. Representam ameaça crescente à saúde e aos ecossistemas e, em análises epidemiológicas, exigem tanto uma definição conceitual dos critérios de ocorrência quanto a avaliação da aplicabilidade dos indicadores utilizados.

Figura 3. Definição conceitual do evento climático

Fonte: Elaboração própria.

Uma vez definidos os parâmetros e os critérios de intensidade e duração, é necessário avaliar a viabilidade de aplicação do indicador, de acordo com o contexto local. Seu uso e aplicação em saúde envolve, especialmente no desenvolvimento do sistema de alerta, a disponibilidade de dados históricos, a capacidade de captar efeitos sobre desfechos de saúde e a possibilidade de previsão de eventos e emissão de alertas de risco em caso de ocorrência. No contexto do Brasil, operacionalmente, sua seleção envolveria três dimensões principais.

- **Fonte e disponibilidade dos dados:** considera se as variáveis climáticas necessárias podem ser obtidas a partir de redes nacionais de monitoramento, como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), ou por meio de reanálises climáticas globais. Entre estas, destacam-se o ERA5, desenvolvido pelo European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), com resolução espacial de aproximadamente 20 km, e o ERA5-Land, uma versão refinada voltada para variáveis de superfície, com resolução de cerca de 9 km. Ambos oferecem séries históricas contínuas, atualizadas quase em tempo real, com cobertura para todo território brasileiro e facilidade de acesso por meio da plataforma Copernicus Climate Data Store (CDS), que disponibiliza dados em diferentes formatos e com suporte a extrações customizadas. Recentemente, o Copernicus Climate Change Service (C3S) disponibilizou o Thermal Trace, baseado no Universal Thermal Climate Index (UTCI) derivado do ERA5. A ferramenta reúne séries históricas globais de estresse térmico e dados quase em tempo real (até cinco dias de atraso), constituindo um recurso complementar para aplicações em saúde pública. Outra fonte é o conjunto de dados interpolados do Brazilian Daily Weather Gridded Data (BR-DWGD), ajustados às particularidades do território brasileiro (Xavier et al., 2022).
- **Viabilidade de coleta e processamento:** refere-se à complexidade dos cálculos necessários para obtenção do indicador. Algumas medidas como temperatura máxima, média, mínima e Heat Index (HI) exigem menor capacidade computacional e podem ser facilmente aplicados em escala nacional, enquanto indicadores mais sofisticados como Wet Bulb Globe Temperature (WBGT) e UTCI requerem múltiplas variáveis, algoritmos complexos e maior poder de processamento, o que pode limitar sua adoção em sistemas operacionais de vigilância em alguns territórios do Brasil. Além disso, o país ainda não conta com bases nacionais integradas que disponibilizem rotineiramente índices de estresse térmico para uso direto em saúde pública. Nesse sentido, produtos globais como o Thermal Trace podem reduzir barreiras técnicas, ao fornecer indicadores já calculados, embora sua adaptação ao contexto local continue sendo necessária.
- **Aplicação em saúde pública:** avalia a capacidade do indicador de captar de forma sensível os impactos sobre a saúde, em especial sobre desfechos de morbimortalidade. Para uso nos serviços de saúde de vigilância, o indicador deve demonstrar associação consistente com desfechos em saúde, possibilitando a identificação de limiares críticos de risco e fornecendo subsídios para a implementação de sistemas de alerta precoce direcionados a grupos populacionais vulneráveis.

Figura 4. Critérios de operacionalidade para as análises



Fonte: Elaboração própria.

Esse conjunto de fatores assegura que o indicador e a definição selecionada sejam tecnicamente aplicáveis e, ao mesmo tempo, relevantes para a saúde pública, contribuindo para a construção de evidências científicas e para a formulação de estratégias de vigilância e adaptação frente ao aumento da frequência e da intensidade das ondas de calor.

Indicadores de exposição usados nos principais sistemas de vigilância no mundo






A **Tabela 1** sintetiza os principais indicadores empregados em sistemas de alerta para ondas de calor, considerando sua disponibilidade, viabilidade operacional e aplicação em saúde pública.

Destacam-se como mais factíveis para o Brasil os indicadores baseados em parâmetros simples, como temperatura do ar e, em alguns casos, sua combinação com umidade, por apresentarem fácil acesso aos dados e menor exigência computacional.

Indicadores mais complexos, como a Temperatura Efetiva, a Temperatura Percebida, o Airmass, o UTCI e o WBGT, demandam múltiplas variáveis e processamento sofisticado, o que pode limitar sua adoção em escala nacional. Ainda assim, métricas como o WBGT têm aplicação consolidada em saúde ocupacional e podem se tornar relevantes para monitorar riscos associados a extremos térmicos em grupos específicos. Evidências disponíveis sugerem que, independentemente do indicador utilizado, há associação consistente entre ondas de calor e aumento da mortalidade (McGregor, Bessemoulin, 2015).

Tabela 1. Variáveis climáticas e indicadores biometeorológicos utilizados nos principais sistemas de alerta para ondas de calor no mundo

INDICADOR	PAÍSES/CIDADES	FONTE DE DADOS	PROCESSAMENTO	APLICAÇÃO EM SAÚDE
Temperatura (Tmed, Tmax, Tmin)	Belarus, Bélgica, França, Grécia, Letônia, Holanda, Espanha, Inglaterra, Polônia, Canadá (Montreal), Budapeste		Requer apenas um parâmetro climático, com cálculos simples e ampla viabilidade em escala nacional.	Temperaturas média, máxima e mínima associadas a morbimortalidade; amplamente utilizadas em sistemas de alerta.
Heat Index (HI)	Estados Unidos	Estações nacionais, conjunto de dados	Combina dois parâmetros (temperatura e umidade), com algoritmos de fácil implementação	Associado a efeitos de morbimortalidade e utilizado em diversos sistemas de alerta.
Humidex	Canadá (diversas regiões)	Brazilian Daily Weather Gridded Data (BR-DWGD) e reanálises globais e dados de satélites	Requer temperatura e umidade relativa; processamento simples.	Utilizado em sistemas de alerta no Canadá; associado a desconforto térmico e desfechos em saúde
Índice Temperatura-Umidade (ITU)	Romênia		Exige temperatura e umidade; ausência de métodos padronizados de cálculo limita sua aplicação.	Estudos indicam associação com morbimortalidade, mas pouco usado em sistemas de alerta.
Temperatura Efetiva (NET)	China (Hong Kong)		Combina três variáveis (temperatura, umidade e vento), com algoritmos de fácil implementação.	Usado em sistemas de alerta para frio e calor extremos; limiares definidos por percentis (ex.: <2,5 e >97,2).

 INDICADOR	 PAÍSES/CIDADES	 FONTE DE DADOS	 PROCESSAMENTO	 APLICAÇÃO EM SAÚDE
Temperatura Percebida (PMV/PT)	Alemanha	Estações nacionais e reanálises globais.	Incorpora variáveis climáticas e modelos de troca de calor com adaptação (vestimentas).	Empregado em sistemas de alerta na Alemanha; complexidade limita sua aplicação no Brasil
Airmass	Canadá (Toronto), China (Shanghai), Itália, Coreia do Sul, Estados Unidos	Requer múltiplas variáveis, incluindo pressão e cobertura de nuvens; coleta limitada no Brasil.	Modelo complexo de troca de calor, com fluxos latentes e adaptação.	Utilizado em sistemas de alerta (ex.: Alemanha); sua complexidade representa limitação prática no Brasil.
UTCI (Universal Thermal Climate Index)	Europa (Portugal, Alemanha, outros países)	Reanálises globais (ERA5/ERA5-Land) ou produto Thermal Stress (C3S).	Considera múltiplas variáveis (temperatura, umidade, vento, radiação), além da termorregulação humana; cálculo complexo.	Aplicável a diversos climas; usado em alguns países europeus; potencial para o Brasil, mas exige alta capacidade computacional.
WBGT (Wet Bulb Globe Temperature)	Estados Unidos (Oklahoma), Nova Zelândia	Estações nacionais, conjunto de dados Brazilian Daily Weather Gridded Data (BR-DWGD) e reanálises globais e satélites	Combina quatro variáveis (temperatura, umidade, vento, radiação); processamento mais complexo.	Ampla aplicação em saúde ocupacional (atletas, trabalhadores); regulamentado pela ISO 7243; potencial para uso em sistemas de alerta.

Fonte: Adaptado de McGregor, Bessemoulin (2015).

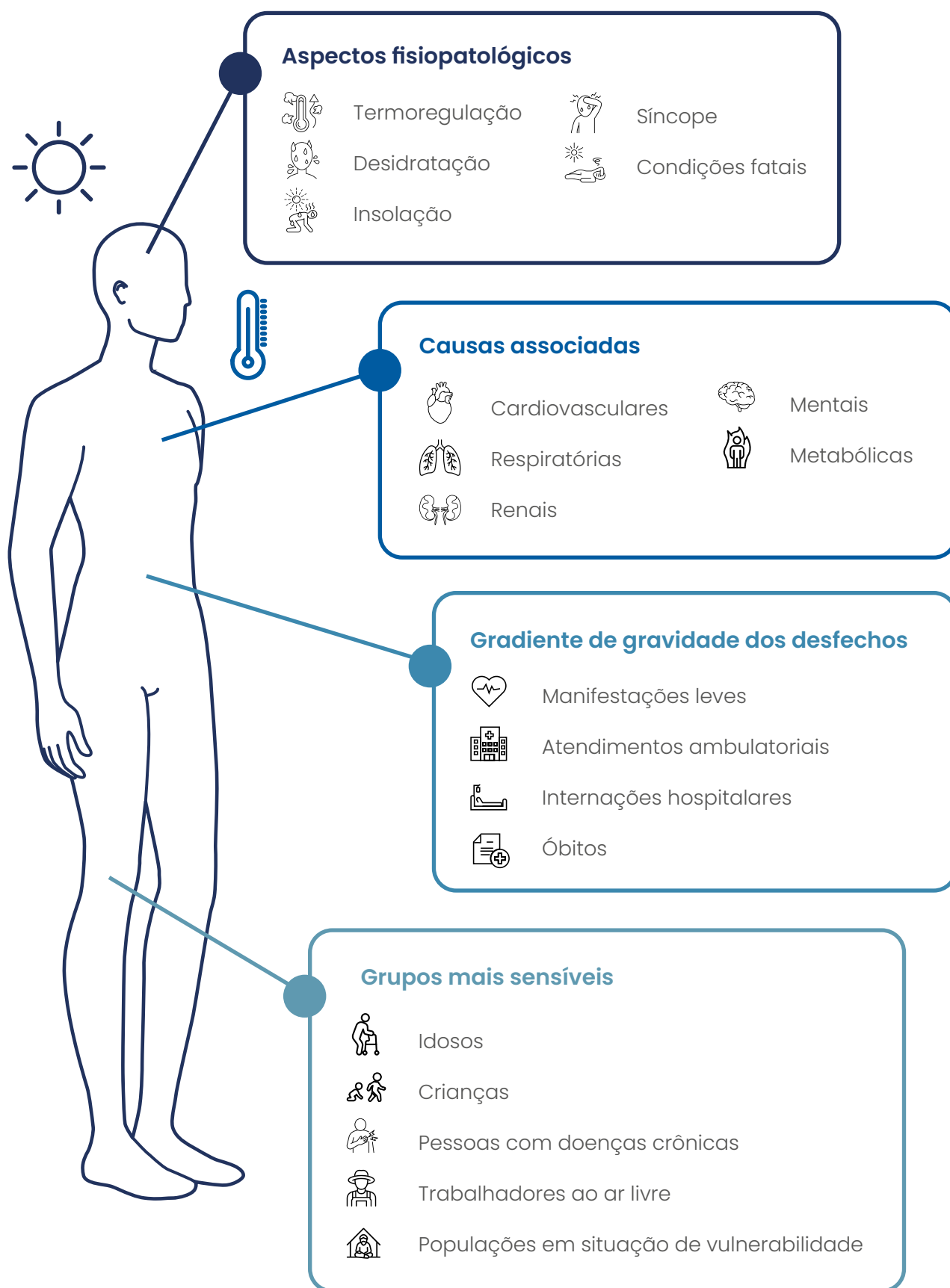
Seleção dos desfechos de saúde

Além da definição de indicadores climáticos e dos critérios de intensidade e duração mínima dos eventos, a seleção de desfechos em saúde sensíveis constitui um componente metodológico central, sobretudo para o desenvolvimento de sistemas de alerta em saúde. A escolha desses desfechos deve estar ancorada em limiares de exposição capazes de refletir de forma mensurável a deterioração do estado de saúde da população. Tal processo requer uma abordagem integrada que considere os mecanismos fisiopatológicos subjacentes, as principais causas

clínicas associadas, a hierarquia de gravidade dos efeitos e a identificação de grupos populacionais mais suscetíveis (**Figura 5**).

- **Aspectos fisiopatológicos:** a exposição prolongada ao calor compromete os mecanismos fisiológicos de termorregulação, como a sudorese e a vasodilatação periférica. Quando a produção de calor excede a dissipação, ocorre o aumento da temperatura corporal central, podendo evoluir de desidratação, síncope e exaustão térmica até hipertermia grave e insolação, condições potencialmente fatais que demandam intervenção imediata (Parsons et al., 2014; Ebi et al., 2021).
- **Causas associadas:** os efeitos do calor se manifestam em múltiplos sistemas, com destaque para os desfechos cardiovasculares (infarto agudo do miocárdio, insuficiência cardíaca, acidente vascular cerebral), respiratórios (doença pulmonar obstrutiva crônica, asma, infecções respiratórias), renais (lesão renal aguda associada à desidratação), metabólicos (diabetes, obesidade) e mentais (ansiedade, depressão, distúrbios do sono, ideação suicida) (Speakman, 2018; Kim et al., 2019; Thompson et al., 2020; Liu et al., 2021; Sampath et al., 2023; Nawaro et al., 2023).
- **Gradiente de gravidade dos desfechos:** os efeitos do calor sobre a saúde podem ser descritos em uma escala de severidade, em que os óbitos constituem os desfechos mais graves, seguidos pelas internações hospitalares e, em menor intensidade, pelos atendimentos ambulatoriais e manifestações clínicas leves, como mal-estar, câibras e fadiga. Essa gradação reflete tanto a intensidade da exposição térmica quanto as condições de vulnerabilidade individual e coletiva que modulam a suscetibilidade aos impactos do calor.
- **Grupos mais sensíveis:** idosos, devido à menor capacidade de termorregulação (Kenny et al., 2010); crianças, especialmente lactentes, pela imaturidade fisiológica e dependência de cuidados (Tsuzuki et al., 2023); pessoas com doenças crônicas cardiovasculares ou metabólicas, que podem ter sua resposta ao calor agravada pelo uso de medicamentos (Sampath et al., 2023); trabalhadores expostos ao ar livre, que enfrentam riscos ocupacionais e maior carga térmica (Roscani, Maia, Monteiro, 2019); e populações em situação de vulnerabilidade social, como moradores de assentamentos informais, comunidades indígenas, quilombolas e populações da Amazônia, que frequentemente enfrentam sobreposição de fatores de risco, como más condições habitacionais, falta de acesso à água potável, ausência de áreas verdes e sobrecarga de poluição atmosférica devido a queimadas (Ottoni et al., 2023; Grande et al., 2024; Santos et al., 2024).

Figura 5. Seleção dos desfechos de saúde



Fonte: Elaboração própria.

20

2

SÍNTESE DE ESTUDOS SOBRE SAÚDE E ONDAS DE CALOR NO BRASIL

Esta é uma seção dedicada a descrever as principais publicações que investigaram ondas de calor e suas implicações diretas em saúde pública no Brasil. Para tanto, foi realizada uma busca direcionada por publicações do período de 2015 a 2025 que avaliaram a associação entre este evento extremo e desfechos de morbimortalidade no Brasil em escala nacional e regional. Foram incluídos todos os estudos, mesmo aqueles de caráter exploratório ou descritivo, levantando a hipótese de relação entre exposição a ondas de calor e impactos à saúde.

Ao final da revisão bibliográfica, foram identificados 12 artigos científicos e 1 preprint, que variaram em abrangência territorial, indicador climático de exposição, desfechos de saúde analisados e método de análise utilizado (**Tabela 2**).

Panorama dos estudos revisados

Em sua maioria, os estudos incluíram nas análises as capitais brasileiras, em especial São Paulo e Rio de Janeiro. Essa predominância se explica por fatores estruturais: nas capitais, os sistemas de notificação de mortalidade apresentam maior completude e qualidade de preenchimento, o que facilita a condução de análises robustas.

Além disso, são contextos com elevada densidade populacional e com estruturas urbanas complexas, características que favorecem a formação de ilhas de calor e aumentam a magnitude dos impactos à saúde associados a eventos extremos de temperatura, como as ondas de calor.

Foram encontrados outros estudos que consideraram como exposição a temperatura ambiente (frio e calor), apenas altas ou apenas baixas temperaturas, calor ou calor extremo, sem se referirem a ondas de calor (períodos prolongados com temperaturas acima de um determinado limiar). Esse panorama é sintetizado na **Figura 6**.

Figura 6. Síntese do panorama dos estudos



Fonte: Elaboração própria.

Critérios de definição de ondas de calor

Nesta subseção são descritos os critérios empregados pelos estudos revisados para a definição de ondas de calor, incluindo os parâmetros climáticos utilizados e os indicadores de intensidade e duração do evento. A definição de ondas

de calor variou entre os estudos revisados, refletindo tanto a disponibilidade de dados climáticos quanto os objetivos analíticos de cada investigação. A métrica mais utilizada foi a temperatura média diária, frequentemente aplicada em análises com limiares baseados em percentis da distribuição histórica da série em análise (percentis entre 90° – 99°), em diferentes durações mínimas do evento (≥ 2 , ≥ 3 ou ≥ 4 dias consecutivos).

A temperatura média diária também foi utilizada, sobretudo nos estudos que aplicaram o *Excess Heat Factor (EHF)* (Nairn e Fawcett, 2015) ou alguma adaptação do EHF. Trata-se de um indicador que combina o Índice de Significância (EHIsig), relativo à climatologia histórica, e o Índice de Aclimação (EHlaccl), que reflete as condições recentes dos últimos 30 dias. Essa métrica classifica os eventos em moderados, severos ou extremos, permitindo comparações entre diferentes contextos regionais (Monteiro dos Santos et al., 2024; Fernández-Medina et al., 2025).

Os que compararam diferentes critérios de intensidade e duração na definição de ondas de calor mostraram um padrão consistente: o **risco de mortalidade aumenta de forma significativa à medida que a intensidade do evento se eleva**, refletindo a magnitude da anomalia em relação à climatologia de referência.

Por outro lado, a duração das ondas de calor não apresentou efeito adicional relevante sobre os desfechos de saúde. De maneira geral, os riscos estimados permaneceram semelhantes entre eventos de 2, 3 ou mais dias consecutivos avaliados sob o mesmo limiar de intensidade, indicando que, no contexto brasileiro, a intensidade constitui o principal indicador, enquanto a persistência temporal exerce influência limitada sobre os desfechos de saúde analisados (Guo et al., 2017; Silveira et al., 2023a).

Em relação ao uso de indicadores compostos que combinam múltiplas variáveis climáticas, a aplicação e os estudos ainda são escassos no contexto brasileiro. Não foram encontrados estudos nacionais que tenham utilizado métricas amplamente empregadas, como o *Wet Bulb Globe Temperature (WBGT)* ou a temperatura aparente, associando-as a desfechos de saúde.

A única exceção foi o estudo conduzido no município do Rio de Janeiro (Morais et al., 2025), que empregou o *Heat Index (HI)* em conjunto com uma métrica inovadora, o *Heat Area Above a Threshold (HAAT)*. Esse trabalho demonstrou que o HAAT, especialmente em limiares de 32°C e 36°C, apresentou um desempenho melhor para explicar a mortalidade quando comparado ao HI isolado, e à temperatura média com suas definições clássicas de ondas de calor baseadas em

percentis. Além disso, o estudo avaliou o acúmulo do HAAT em janelas de 3, 5 e 7 dias, encontrando forte associação com mortalidade por causas naturais, cardiovasculares, metabólicas e renais, sobretudo em idosos.

Desfechos e grupos avaliados

Os desfechos mais investigados nos estudos brasileiros sobre ondas de calor foram a mortalidade por todas as causas, exceto externas, e a mortalidade por causas específicas, com ênfase em doenças cardiovasculares e respiratórias. Em estudos comparando diversas regiões do mundo, a mortalidade por todas as causas, exceto causas externas, sobretudo em estudos em escala global em razão da sua disponibilidade e qualidade do preenchimento das causas de óbitos (Guo et al., 2017; 2018; Zhao et al., 2024).

A associação com óbitos por doenças cardiovasculares se destacou particularmente para doenças isquêmicas do coração e acidentes vasculares cerebrais (AVC), cuja plausibilidade biológica está relacionada ao estresse térmico, desidratação e sobrecarga hemodinâmica induzidos pelo calor (Moraes et al., 2022; 2023; 2025). Alguns resultados adicionais apontam associações com mortes por causas específicas, como doenças renais e urinárias, metabólicas (diabetes mellitus), neurodegenerativas e transtornos mentais (Alzheimer e demência), embora essas relações ainda estejam menos consolidadas na literatura nacional (Moraes et al., 2025).

Um único estudo avaliou internações hospitalares totais e causas específicas (cardiovasculares, respiratórias, metabólicas, perinatais, geniturinárias, entre outras), em todo o Brasil, a partir de mais de 58 milhões de registros provenientes do Sistema Único de Saúde (SUS) de 1814 cidades.

Os resultados mostraram diferenças geográficas, demográficas e por causas específicas na associação entre ondas de calor e hospitalizações, além de alterações temporais nos padrões de risco (Zhao et al., 2019). O maior incremento de risco de hospitalização foi observado na região Sudeste e para causas perinatais, endócrinas, metabólicas, de pele e geniturinárias. Apesar de limitações relacionadas à ausência de dados individuais de exposição ao calor, sem cobertura de base populacional e de medições locais de poluição do ar, o estudo sugere que os eventos de ondas de calor podem sobrecarregar a demanda por serviços hospitalares.

Alguns estudos brasileiros também identificaram maior vulnerabilidade às ondas de calor entre idosos, devido à menor capacidade de termorregulação e à presença de comorbidades, e mulheres, em diferentes contextos, possivelmente por fatores fisiológicos e sociais (Fernández-Medina et al., 2025; Monteiro dos Santos et al., 2022, 2024; Silveira et al., 2023a, 2023b; Son et al., 2016).

Crianças, de 0 a 9 anos, apresentaram risco aumentado de hospitalizações em eventos de ondas de calor de maior intensidade, enquanto a baixa escolaridade foi consistentemente associada a maior risco de morte em São Paulo, Rio de Janeiro e nas regiões metropolitanas (Son et al., 2016; Silveira et al., 2023b; Monteiro dos Santos et al., 2024).

Desenhos e métodos estatísticos aplicados

A revisão identificou diferentes abordagens metodológicas aplicadas nos estudos brasileiros. Parte dos trabalhos utilizou métodos descritivos, baseados no excesso de mortalidade durante períodos de calor. Embora úteis para monitoramento imediato e comunicação em saúde pública, esses métodos apresentam limitações na identificação de relações causais.

Em contrapartida, estudos com delineamentos analíticos recorreram a modelos de regressão de poisson ou quasi-poisson e, sobretudo, aos modelos não lineares de defasagem distribuída (DLNM), que permitem avaliar efeitos defasados e não lineares da exposição, adequados para estimar os efeitos da temperatura e de ondas de calor. Mais recentemente, o delineamento *case-crossover* tem sido empregado, destacando-se por controlar variações sazonais e tendências de longo prazo, sendo particularmente adequado para investigar efeitos agudos de eventos de ondas de calor.

Em síntese, os métodos mais apropriados para avaliar os impactos das ondas de calor na saúde no Brasil são aqueles capazes de capturar a complexidade da exposição (intensidade e duração), incorporar variáveis de confusão relevantes (como poluição do ar, umidade e outros fatores meteorológicos, sazonalidade, dia da semana e tendências de longo prazo) e permitir análises estratificadas por subgrupos populacionais, de modo a identificar vulnerabilidades específicas e apoiar estratégias de vigilância e adaptação em saúde pública.







CONVERGÊNCIAS

Os estudos brasileiros apresentam resultados consistentes em alguns pontos-chave. Há convergência na identificação da mortalidade por todas as causas e por doenças cardiovasculares e respiratórias como os principais desfechos associados às ondas de calor. Os achados também são uniformes ao apontar idosos, mulheres, crianças e populações em situação de vulnerabilidade socioeconômica como os grupos mais sensíveis. Em termos metodológicos, observa-se convergência no uso de modelos de séries temporais e, mais recentemente, de DLNM e case-crossover, considerados mais adequados para capturar efeitos agudos e defasados de variáveis ambientais. Há ainda consenso de que a intensidade das ondas de calor é o principal fator determinante do efeito, enquanto a duração exerce papel secundário.

LACUNAS

Apesar dos avanços, persistem lacunas relevantes. Do ponto de vista territorial, há concentração de estudos em capitais e regiões metropolitanas, com escassez de análises em áreas rurais, cidades médias e regiões Norte e Nordeste. Em termos de desfechos, permanecem pouco exploradas as associações com doenças renais, metabólicas, neurodegenerativas e transtornos mentais, apesar da plausibilidade biológica e de resultados preliminares sugerirem relevância. Do ponto de vista metodológico, há uso restrito de indicadores compostos (como Heat Index, WBGT e UTCI), com apenas um estudo testando métricas inovadoras no Brasil. Além disso, a integração de dados ambientais adicionais, como poluição do ar, ainda é limitada, assim como a incorporação sistemática de determinantes sociais no desenho analítico. Essas lacunas evidenciam a necessidade de estudos multicêntricos e de longo prazo que ampliem a diversidade territorial, testem métricas biometeorológicas mais complexas e explorem desfechos ainda pouco avaliados.

Tabela 2. Síntese de estudos sobre saúde e ondas de calor no Brasil

 REFERÊNCIA	 LOCAL / PERÍODO	 PARÂMETRO / DEFINIÇÃO	 DESFECHOS/ GRUPOS	 DESENHO/ MÉTODO	 PRINCIPAIS ACHADOS
Morais et al., 2025	Cidade do Rio de Janeiro (2012–2024)	Heat Index (HI) média diária e horária; HAAT (Heat Area Above a Threshold), limiares de 32°C e 36°C, e Tmed ≥90°–97,5°p, ≥2–4 dias)	Mortalidade por causas não acidentais, cardiovasculares, respiratórias, geniturinário, metabólicas, nervoso e neoplasias	Análíticos: (GAM e DLNM)	HAAT apresentou melhor desempenho do que temperatura, HI e definições clássicas; associado a 10 de 17 causas específicas de morte, sobretudo em idosos
Fernández-Medina et al., 2025	Rio de Janeiro, nov/2023	Fator de Calor Extremo (EHF)	Mortalidade por todas as causas; idosos e mulheres, óbitos domiciliares	Descritivos de impacto (óbitos observados vs. esperados)	Risco desproporcional em idosos e mulheres; alta ocorrência em domicílio
Zhao et al., 2024	43 países, incluindo Brasil (1990–2019)	Temperatura média ≥95°p; duração ≥2 dias (12 definições testadas)	Mortalidade geral; estratos etários e sexo	Análíticos: (DLNM e meta-análise)	Maior risco em países tropicais; efeito imediato (0–3 dias) e evidência de ‘harvesting’
Monteiro dos Santos et al., 2024	14 regiões metropolitanas do Brasil 2000–2018 (para a série de saúde)	Fator de Calor Extremo (EHF: baixa, grave e extrema)	Diversas Causas (cardiovascular, respiratória etc) considerando diferenças por sexo, idade, raça/cor e escolaridade	Descritivos de impacto (óbitos observados vs. esperados)	Excesso de mortalidade concentrado em idosos, mulheres, pretos/pardos e baixa escolaridade, sobretudo por causas circulatórias e respiratórias
Moraes et al., 2023	Cidade de São Paulo 2006–2015	Temperatura média ≥90°p por ≥2 dias	Mortalidade cardiovascular total e causas específicas; idosos ≥65 anos	Descritivo (cluster espaço-temporal)	Clusters de mortalidade cardiovascular em distritos periféricos; calor associado a AVC
Silveira et al., 2023	32 cidades da Amazônia 2000–2019	Temperatura média ≥90°–99°p, ≥2–4 dias (15 definições)	Mortalidade geral, cardiovascular e respiratória; estratos de idade e sexo	Análíticos (case-crossover, DLNM e meta-análise)	Maior risco em idosos ≥65 anos, mulheres e causas cardiovasculares; risco cresce com intensidade
Silveira et al., 2023	Cidade do Rio de Janeiro 2012–2017	Temperatura média ≥90°–99°p, duração ≥2 (5 definições)	Mortalidade geral, cardiovascular e respiratória; estratos de idade e sexo	Análíticos (case-crossover, DLNM e meta-análise)	Maior risco de mortalidade, sobretudo respiratória; efeitos mais fortes em idosos e mulheres, com destaque para idosos em mortalidade cardiovascular
Morais et al., 2022	Cidade de São Paulo 2006–2015	Temperatura média ≥90°–97,5°p; ≥2–4 dias (12 definições)	Mortalidade cardiovascular total e causas específicas; idosos ≥65 anos	GLM quasi-poisson com DLNM)	Maior risco para AVC isquêmico em ondas ≥3–4 dias; efeitos significativos em doenças cardiovasculares e respiratórias, sobretudo em mulheres; homens mais vulneráveis a doenças cerebrovasculares e AVC isquêmico

REFERÊNCIA	LOCAL / PERÍODO	PARÂMETRO / DEFINIÇÃO	DESECHOS / GRUPOS	DESENHO / MÉTODO	PRINCIPAIS ACHADOS
Zhao et al., 2019	Brasil (1.814 municípios, cinco regiões: Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul) 2000–2015	Temperatura média $\geq 90^{\circ}$ – $97,5^{\circ}$ p, ≥ 2 dias (12 definições)	Hospitalizações totais e causas específicas (cardiovasculares, respiratórias, metabólicas, perinatais, geniturinárias, entre outras), estratificadas por sexo e idade	Analíticos (DLNM e meta-análise)	O risco de hospitalização aumentou durante ondas de calor, com maior vulnerabilidade em crianças e idosos. Os efeitos foram mais fortes nas regiões Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste, e em causas perinatais, endócrinas, metabólicas, de pele e geniturinárias.
Geirinhas et al., 2019	Região metropolitana Rio de Janeiro 2000–2015 (para a série de saúde)	Temperatura máxima $\geq 90^{\circ}$ p por ≥ 3 dias consecutivos, evento de 2010 durou 8 dias (T_{max} 39° C).	Mortalidade geral por causas não violentas; estratos de idade e sexo	Descritivos de impacto (óbitos observados vs. esperados)	O pico de mortalidade ocorreu logo após o pico de temperatura, indicando resposta rápida de doenças crônicas e condições pré-existent ao estresse térmico
Guo et al., 2018	12 comunidades em 20 países/ regiões, incluindo o Brasil	Temperatura média definidas $\geq 95^{\circ}$ p, ≥ 2 dias	Mortalidade geral por causas não violentas	Analíticos (DLNM e meta-análise) + Projeções futuras baseadas em cinco Modelos de Circulação Geral (CMIP5, ISIMIP)	As ondas de calor estão associadas a aumento significativo da mortalidade na maioria dos países, com projeções indicando forte crescimento até 2080, sobretudo em países tropicais como o Brasil. Mesmo com adaptação, os impactos permanecem substanciais.
Guo et al., 2017	18 países/ regiões (incluindo 18 cidades no Brasil); 1972–2012 (varia por país); no Brasil, 1997–2011	Temperatura média $\geq 90^{\circ}$ – $97,5^{\circ}$ p, ≥ 2 dias (12 definições)	Mortalidade geral por causas não violentas	Analíticos (DLNM e meta-análise)	No Brasil, as ondas de calor foram frequentes e associadas a maior mortalidade, com riscos mais evidentes em limiares extremos, sem efeito claro da duração. Os efeitos foram imediatos, duraram poucos dias
Son et al., 2016	Cidade de São Paulo 1996–2010	Temperatura média $\geq 90^{\circ}$ – 99° p, ≥ 2 –5 dias	Mortalidade total (todas as causas não externas), cardiovascular e respiratória, estratificada por nível educacional e estado civil em adultos ≥ 21 anos	Analíticos (GLM quasi-poisson)	As ondas de calor estiveram associadas a aumento da mortalidade, especialmente por causas respiratórias. Idosos, mulheres, pessoas com baixa escolaridade e viúvos foram mais vulneráveis, assim como óbitos fora do hospital. Ondas mais intensas e a primeira da estação tiveram maior impacto.

Fonte: Elaboração própria.

30

3

PROCEDIMENTOS, VIGILÂNCIA E MONITORAMENTO

O conjunto de elementos técnicos e metodológicos apresentados nas seções anteriores constitui componentes fundamentais para a vigilância em saúde relacionada às ondas de calor e o desenvolvimento de sistemas de alerta precoce, reconhecidos como estratégia de adaptação prioritária frente ao aumento projetado na frequência e intensidade de eventos extremos decorrentes da mudança do clima. Esses sistemas devem ser desenvolvidos como processos dinâmicos, com etapas antes, durante e depois dos eventos, integrando evidências epidemiológicas, variáveis meteorológicas e informações sobre fatores de populações sensíveis e em situação de vulnerabilidade. Nesse sentido, a vigilância dos efeitos das ondas de calor pode ser estruturada em três etapas:



Antes do evento

→ Identificação e caracterização das ondas de calor:

- Utilizar séries históricas de dados meteorológicos (INMET, CPTEC/INPE, ERA5, BR-DWGD) para mapear padrões de ocorrência;
- Integrar esses dados a séries históricas de mortalidade e internações (SIM, SIH/SUS), de modo a estabelecer relações entre ondas de calor e calor extremo e saúde;

→ Definição de limiares de impacto:

- Definir limiares climáticos específicos (percentis de Tmax, Tmin, Tmed ou índices biometeorológicos como HI, WBGT, UTCI) validados em relação aos desfechos de saúde, de modo a identificar pontos críticos de risco para a população;

- Ajustar os limiares de alerta conforme a vulnerabilidade local, reconhecendo que determinados grupos populacionais podem apresentar diferentes níveis de sensibilidade térmica;

→ **Seleção e padronização de indicadores de saúde:**

- Revisar e definir as causas mais sensíveis ao calor (causas naturais, cardiovasculares, respiratórias, metabólicas, renais, causas externas selecionadas), segundo a Classificação Internacional de Doenças;
- Estabelecer protocolos de notificação que incluam tanto desfechos de morbidade e mortalidade associados às ondas de calor quanto sinais e sintomas precoces, como exaustão pelo calor, desidratação, síncope e insolação;

→ **Integração com planos de ação e governança:**

- Incorporar mecanismos de atuação e cooperação nos Planos de Continência assegurando a intersetorialidade entre saúde, meteorologia, defesa civil e assistência social;
- Definir rotinas de comunicação de risco e acionamento de protocolos de ação, de acordo com nível local → regional → nacional;

→ **Capacitação e fortalecimento institucional:**

- Treinar profissionais de vigilância em saúde para detecção precoce e uso de ferramentas de notificação de desfechos e grupos mais sensíveis ao calor;



Durante o evento

- **Monitoramento em tempo quase real:** acompanhar internações hospitalares e óbitos por causas sensíveis ao calor (ex.: cardiovasculares, respiratórias, metabólicas), utilizando bancos de dados nacionais ou locais, quando disponíveis;
- **Detecção de clusters de risco:** aplicar métodos de análise espaço-temporal para identificar grupos sensíveis como idosos, crianças e grávidas, e em situação de vulnerabilidade como trabalhadores expostos ao ar livre e populações em situação de vulnerabilidade social e ambiental;
- **Emissão de alertas com a integração de dados meteorológicos de previsão e desfechos em saúde,** acionando protocolos intersetoriais para comunicação de risco e ativação de planos locais de resposta;

- **Na ausência de dados de saúde em tempo real, desenvolver modelos preditivos de alerta precoce** que combinem previsão climáticas e informações demográficas, priorizando estados e regiões historicamente mais vulneráveis às ondas de calor;



Após o evento

- **Validar a qualidade dos dados coletados:** revisar a consistência e completude das notificações de morbidade e mortalidade relacionadas ao calor nos sistemas de informação em saúde;
- **Investigar fatores de risco e perfis populacionais afetados:** conduzir análises epidemiológicas para caracterizar os grupos mais vulneráveis e os principais determinantes associados aos agravos durante a onda de calor.
- **Manter o monitoramento em coordenação intersetorial:** articular vigilância em saúde, Centros de Operações de Emergência (COE) e serviços meteorológicos para avaliar mudanças no impacto do calor sobre a saúde em função de novas condições climáticas;
- **Reavaliar os limiares climáticos:** analisar a adequação dos *thresholds* meteorológicos utilizados em relação aos efeitos observados na saúde e ajustar critérios para eventos futuros.
- **Avaliar a resposta e as medidas implementadas:** examinar a efetividade dos planos de contingência acionados, identificando lacunas em recursos humanos, disponibilidade de leitos, logística e comunicação de risco, de modo a fortalecer a preparação para os próximos eventos.
- **Considerar fatores ambientais adicionais:** incorporar na avaliação pós-evento o papel da exposição aos poluentes atmosféricos e à seca, como amplificadores dos efeitos do calor sobre a saúde, sobretudo em grandes centros urbanos e áreas de queimadas e incêndios florestais.

Figura 7. Síntese dos procedimentos, vigilância e monitoramento antes, durante e após o evento

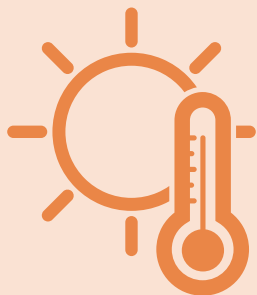


Fonte: Elaboração própria.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. A presente Síntese reúne resultados da literatura científica e um conjunto de elementos conceituais e metodológicos que subsidiam a análise dos efeitos das ondas de calor na saúde da população brasileira.
2. O documento destaca os principais estudos nacionais sobre a temática, com ênfase nos desfechos, nas metodologias aplicadas e nos impactos já observados. Entre os desfechos, a mortalidade geral (exceto causas externas) e por causas cardiovasculares se mostraram os indicadores mais sensíveis para captar os efeitos das ondas de calor.
3. Em relação à morbidade, as internações hospitalares emergem como um desfecho ainda pouco explorado, mas promissor, por possibilitar a avaliação tanto da sobrecarga aguda sobre os serviços de saúde quanto das vulnerabilidades específicas em grupos populacionais, como crianças e idosos. Entre os grupos mais sensíveis, sobressaem-se idosos e mulheres, que de forma consistente apresentam maior risco associado às ondas de calor.
4. Do ponto de vista metodológico, destacam-se os delineamentos analíticos baseados em séries temporais e o delineamento case-crossover, combinados com modelos não lineares de defasagem distribuída (DLNM), reconhecidos como métodos robustos para captar efeitos imediatos e acumulados/defasados das ondas de calor, ajustar variáveis de confusão e produzir estimativas comparáveis entre diferentes localidades.
5. Os métodos descritivos, como o cálculo de excesso de mortalidade, mantêm utilidade para fins de monitoramento e comunicação, mas apresentam limitações no que se refere à inferência causal. Publicações apontam ainda que a intensidade dos eventos constitui o principal determinante dos impactos, enquanto a duração exerce influência limitada nas estimativas de risco.
6. A revisão evidencia que os efeitos das ondas de calor já foram observados no Brasil, tanto em análises multicêntricas que incluíram cidades brasileiras quanto em estudos locais realizados em capitais, regiões metropolitanas e na Amazônia, abordando grupos populacionais mais vulneráveis.

7. Persistem, contudo, lacunas relevantes, sobretudo quanto ao uso de indicadores compostos que integrem múltiplas variáveis climáticas (temperatura, umidade, radiação e vento), cuja aplicação ainda é incipiente no país.
8. Outras limitações incluem a qualidade variável dos dados de saúde e a escassez de informações sistemáticas sobre poluição do ar, especialmente em áreas afetadas por queimadas, o que dificulta a avaliação de seu papel como potencial fator amplificador dos efeitos do calor extremo. Além disso, desafios metodológicos decorrem do uso de informações em nível municipal em um país caracterizado por grande número de localidades de pequeno porte.
9. Nesse cenário, os elementos apresentados nesta Síntese constituem uma base para avançar na análise dos impactos das ondas de calor sobre a saúde no Brasil. A proposta visa contribuir para reduzir a fragmentação atual e favorecer uma compreensão mais integrada entre fatores climáticos e saúde.



Espera-se, ainda, que o uso das bases nacionais de monitoramento em diferentes setores favoreça a construção de uma articulação sistemática, capaz de estabelecer vínculos evidentes entre clima e saúde. Assim, este documento oferece subsídios relevantes para orientar análises futuras, fortalecer a vigilância e apoiar políticas públicas adaptativas frente às mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

- ANSAH, Edward Wilson et al. Health systems response to climate change adaptation: a scoping review of global evidence. **BMC Public Health**, v. 24, n. 1, p. 2015, 2024.
- ARMSTRONG, B. Models for the relationship between ambient temperature and daily mortality. **Epidemiology**, v. 17(6), p. 624–631, 2006. DOI: [10.1097/01.ede.0000239732.50999.8f](https://doi.org/10.1097/01.ede.0000239732.50999.8f).
- BELL, Michelle L.; GASPARRINI, Antonio; BENJAMIN, Georges C. Climate change, extreme heat, and health. **New England Journal of Medicine**, v. 390, n. 19, p. 1793–1801, 2024.
- BOUCHAMA, A.; MÜNDEL, T.; LAITANO, O. Beyond heatwaves: A nuanced view of temperature-related mortality. **Temperature (Austin)**, v. 11, n. 3, p. 190–202, 2024. DOI: [10.1080/23328940.2024.2310459](https://doi.org/10.1080/23328940.2024.2310459).
- CHECCHI, F.; ROBERTS, L. Interpreting and using mortality data in humanitarian emergencies: a primer for non-epidemiologists. Humanitarian Practice Network (HPN), Paper number 52. **Overseas Development Institute**, 2005.
- EBI, Kristie L. et al. Hot weather and heat extremes: health risks. **The Lancet**, v. 398, n. 10301, p. 698–708, 2021. DOI: [10.1016/S0140-6736\(21\)01208-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)01208-3).
- ELLWANGER, J. H. et al. Environmental challenges in Southern Brazil: impacts of pollution and extreme weather events on biodiversity and human health. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 22, n. 2, p. 305, 2025. DOI: [10.3390/ijerph22020305](https://doi.org/10.3390/ijerph22020305).
- FERNANDEZ-MEDINA, R. D. F. et al. Excess mortality associated with extreme heat in Rio de Janeiro, Brazil, 2023. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 49, e76, 2025. DOI: [10.26633/RPSP.2025.76](https://doi.org/10.26633/RPSP.2025.76).
- FOUILLET, A.; REY, G.; WAGNER, V.; LAAIDI, K.; EMPEREUR-BISSONNET, P.; LE TERTRE, A.; FRAYSSINET, P.; BESSEMOULIN, P.; LAURENT, F.; DE CROUY-CHANEL, P.; JOUGLA, E.; HÉMON, D. Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. **International Journal of Epidemiology**, 37(2), 309–17, 2008. DOI: [10.1093/ije/dym253](https://doi.org/10.1093/ije/dym253).
- GASSPARRINI, A.; ARMSTRONG, B.; KENWARD, M. G. Distributed lag non-linear models. **Statistics in Medicine**, v. 29, n. 21, p. 2224–2234, 2010. DOI: [10.1002/sim.3940](https://doi.org/10.1002/sim.3940).

GASPARRINI, A.; LEONE, M. Attributable risk from distributed lag models. **BMC Medical Research Methodology**, p. 14–55, 2014 DOI: [10.1186/1471-2288-14-55](https://doi.org/10.1186/1471-2288-14-55).

GEIRINHAS, J. L. et al. Characterizing the atmospheric conditions during the 2010 heatwave in Rio de Janeiro marked by excessive mortality rates. **Science of the Total Environment**, v. 650, p. 796–808, 2019. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2018.09.060](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.060).

GRAFFY, P. M. et al. Methodological approaches for measuring the association between heat exposure and health outcomes: a comprehensive global scoping review. **GeoHealth**, v. 8, n. 9, e2024GH001071, 2024. DOI: [10.1029/2024GH001071](https://doi.org/10.1029/2024GH001071).

GRANDE, A. J. et al. Environmental degradation, climate change and health from the perspective of Brazilian Indigenous stakeholders: a qualitative study. **BMJ Open**, v. 14, n. 9, e083624, 2024. DOI: [10.1136/bmjopen-2023-083624](https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-083624).

GUO, Y. et al. Heat wave and mortality: a multicountry, multicomunity study. **Environmental Health Perspectives**, v. 125, n. 8, 087006, 2017. DOI: [10.1289/EHP1026](https://doi.org/10.1289/EHP1026).

GUO, Y. et al. Quantifying excess deaths related to heatwaves under climate change scenarios: a multicountry time series modelling study. **PLoS Medicine**, v. 15, n. 7, e1002629, 2018. DOI: [10.1371/journal.pmed.1002629](https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002629).

GUO, Y. et al. The association between heatwaves and risk of hospitalization in Brazil: a nationwide time series study between 2000 and 2015. **PLoS Medicine**, v. 16, n. 2, e1002753, 2019. DOI: [10.1371/journal.pmed.1002753](https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002753).

HOLLANDE, K. et al. Apparent temperature and heat-related illnesses during international athletic championships: a prospective cohort study. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 31, n. 11, p. 2092–2102, 2021.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Verão 2024–2025 foi o sexto mais quente no Brasil desde 1961. 20 mar. 2025. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/ver%C3%A3o-2024-2025-foi-o-sexto-mais-quente-no-brasil-desde-1961>.

IPCC. Climate change 2022: impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambridge University Press**, 2022. DOI: [10.1017/9781009325844](https://doi.org/10.1017/9781009325844).

LAWRENCE, W. R. et al. A population-based case-control study of the association between weather-related extreme heat events and low birthweight. **Journal of Developmental Origins of Health and Disease**, v. 12, n. 2, p. 335–342, 2021. DOI: [10.1017/S2040174420000392](https://doi.org/10.1017/S2040174420000392).

LIU, J. et al. Nonlinear exposure-response associations of daytime, nighttime, and day-night compound heatwaves with mortality amid climate change. **Nature Communications**, v. 16, n. 1, p. 635, 2025. DOI: [10.1038/s41467-025-56167-2](https://doi.org/10.1038/s41467-025-56167-2).

MCGREGOR, G. R.; BESSEMOULIN, P.; WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Heatwaves and health: guidance on warning-system development. Geneva: **WMO**, 2015. Disponível em: <https://www.who.int/publications/m/item/heatwaves-and-health--guidance-on-warning-system-development>.

MONTEIRO DOS SANTOS, D. et al. Twenty-first-century demographic and social inequalities of heat-related deaths in Brazilian urban areas. **PLoS ONE**, v. 19, n. 1, e0295766, 2024. DOI: [10.1371/journal.pone.0295766](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0295766).

MORAES, S. L.; ALMENDRA, R.; BARROZO, L. V. Space-time clusters of cardiovascular mortality and the role of heatwaves and cold spells in the city of São Paulo, Brazil. **Spatial and Spatio-temporal Epidemiology**, v. 47, 100620, 2023. DOI: [10.1016/j.sste.2023.100620](https://doi.org/10.1016/j.sste.2023.100620).

MORAES, S. L.; ALMENDRA, R.; BARROZO, L. V. Impact of heat waves and cold spells on cause-specific mortality in the city of São Paulo, Brazil. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 239, 113861, 2022. DOI: [10.1016/j.ijheh.2021.113861](https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113861).

MORAIS, J. H. A. et al. Quantifying heat exposure and its related mortality in Rio de Janeiro City: evidence to support Rio's recent heat protocol. **medRxiv**, 18 jan. 2025. Preprint. DOI: [10.1101/2025.01.17.25320740](https://doi.org/10.1101/2025.01.17.25320740).

MOURA BRITO JÚNIOR, V.; MAGALHÃES, H. F.; ALBUQUERQUE, U. P. Perception of health risks in contexts of extreme climate change in semiarid Northeastern Brazil: an analysis of the role of socioeconomic variables. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v. 19, n. 1, p. 24, 2023.

MUÑOZ-SABATER, J. et al. ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. **Earth System Science Data**, v. 13, p. 4349–4383, 2021. DOI: [10.5194/essd-13-4349-2021](https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021).

NAIRN, John R.; FAWCETT, Robert JB. The excess heat factor: a metric for heatwave intensity and its use in classifying heatwave severity. **International journal of environmental research and public health**, 2015, 12.1: 227–253.

NAWARO, J. et al. Heatwave definition and impact on cardiovascular health: a systematic review. **Public Health Reviews**, v. 44, 160626, 2023. DOI: [10.3389/phrs.2023.1606266](https://doi.org/10.3389/phrs.2023.1606266).

OTTONI, F. P. et al. Extreme drought threatens the Amazon. **Science**, v. 382, n. 6676, p. 1253, 2023. DOI: [10.1126/science.adm8147](https://doi.org/10.1126/science.adm8147).

PARSONS, K. **Human thermal environments**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2014. DOI: [10.1201/b16750](https://doi.org/10.1201/b16750).

ROSANI, R. C.; MAIA, P. A.; MONTEIRO, M. I. Sobrecarga térmica em áreas rurais: a influência da intensidade do trabalho. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 44, e14, 2019.

SAMPATH, V. et al. Acute and chronic impacts of heat stress on planetary health. **Allergy**, v. 78, n. 8, p. 2109–2120, 2023. DOI: [10.1111/all.15702](https://doi.org/10.1111/all.15702).

SANTOS DE LIMA, L. et al. Severe droughts reduce river navigability and isolate communities in the Brazilian Amazon. **Communications Earth & Environment**, v. 5, 370, 2024. DOI: [10.1038/s43247-024-01530-4](https://doi.org/10.1038/s43247-024-01530-4).

SILVEIRA, I. H. et al. Heat waves and mortality in the Brazilian Amazon: effect modification by heat wave characteristics, population subgroup, and cause of death. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 248, 114109, 2023a. DOI: [10.1016/j.ijheh.2022.114109](https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.114109).

SILVEIRA, I. H. et al. Effects of heat waves on cardiovascular and respiratory mortality in Rio de Janeiro, Brazil. **PLoS ONE**, v. 18, n. 3, e0283899, 2023b. DOI: [10.1371/journal.pone.0283899](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0283899).

SON, J. Y. et al. The impact of temperature on mortality in a subtropical city: effects of cold, heat, and heat waves in São Paulo, Brazil. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, n. 1, p. 113–121, 2016. DOI: [10.1007/s00484-015-1009-7](https://doi.org/10.1007/s00484-015-1009-7).

SPEAKMAN, J. R. Obesity and thermoregulation. In: **Handbook of Clinical Neurology**. Amsterdam: Elsevier, 2018. v. 156, p. 431–443. DOI: [10.1016/B978-0-444-63912-7.00026-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63912-7.00026-6).

SUN, S. et al. Ambient heat and risks of emergency department visits among adults in the United States: time stratified case crossover study. **BMJ**, v. 375, e065653, 2021. DOI: [10.1136/bmj-2021-065653](https://doi.org/10.1136/bmj-2021-065653).

THE LANCET REGIONAL HEALTH – AMERICAS. Burning Amazon: the dire consequences of climate inaction. **Lancet Regional Health – Americas**, v. 38, 100918, 2024. DOI: [10.1016/j.lana.2024.100918](https://doi.org/10.1016/j.lana.2024.100918).

THOMPSON, R. et al. Associations between high ambient temperatures and heat waves with mental health outcomes: a systematic review. **Public Health**, v. 161, p. 171–191, 2018. DOI: [10.1016/j.puhe.2018.06.008](https://doi.org/10.1016/j.puhe.2018.06.008).

TSUZUKI, K. Effects of heat exposure on the thermoregulatory responses of young children. **Journal of Thermal Biology**, v. 113, 103507, 2023. DOI: [10.1016/j.jtherbio.2023.103507](https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2023.103507).

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. **Decision CMA.5. Glasgow–Sharm el-Sheikh work programme on the global goal on adaptation referred to in decision 7/CMA.3.** United Arab Emirates: UNFCCC, 2023. Disponível em: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cma5_auv_8a_gga.pdf.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Methods for estimating the excess mortality associated with the COVID-19 pandemic. Geneva: **WHO**, 2023. Disponível em: <https://www.who.int/publications/m/item/methods-for-estimating-the-excess-mortality-associated-with-the-covid-19-pandemic>.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Operational framework for climate resilient and low carbon health systems. Geneva: **WHO**, 2023. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240081888>.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Quantitative risk assessment of the effects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s. Geneva: **WHO**, 2014. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241507691>.

XAVIER, A. C. et al. New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). **International Journal of Climatology**, v. 42, n. 16, p. 8390–8404, 2022. DOI: [10.1002/joc.7731](https://doi.org/10.1002/joc.7731).

YANG, X. et al. Heat exposure impacts on urban health: a meta-analysis. **Science of the Total Environment**, v. 947, 174650, 2024. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2024.174650](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174650).

ZHAO, Q. et al. Global, regional, and national burden of heatwave-related mortality from 1990 to 2019: a three-stage modelling study. **PLoS Medicine**, v. 21, n. 5, e1004364, 2024. DOI: [10.1371/journal.pmed.1004364](https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1004364).

GLOSSÁRIO

ÍNDICES BIOMETEOROLÓGICOS

Heat Area Above a Threshold (HAAT): Métrica que quantifica a área acumulada de calor acima de um limiar de temperatura ao longo de janelas temporais (3–7 dias), associada a variações de mortalidade por causas naturais e específicas.

Heat Index (HI): Métrica biometeorológica que combina temperatura do ar e umidade relativa para estimar a temperatura aparente percebida pelo corpo humano. Desenvolvido por Steadman (1979) a partir de princípios de regulação fisiológica do calor, o índice descreve como a umidade do ar interfere na dissipação térmica por evaporação do suor, aumentando a carga térmica efetiva sobre o organismo.

Índices biometeorológicos: Indicadores compostos que integram temperatura, umidade, radiação e vento, proporcionando estimativas mais realistas do estresse térmico humano.

Temperatura Máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed): Variáveis meteorológicas que representam, respectivamente, os valores máximos, mínimos e médios de temperatura do ar em um período (horas, dia, mês ou ano). São utilizadas como indicadores de exposição em estudos epidemiológicos, usados para definir eventos de calor e calcular limiares críticos.

Universal Thermal Climate Index (UTCI): Índice biometeorológico que expressa a resposta fisiológica humana ao ambiente térmico por meio de uma temperatura equivalente (°C). Considera o balanço de calor entre o corpo e o ambiente, integrando temperatura do ar, umidade, vento e radiação, além da adaptação do vestuário às condições climáticas. É amplamente utilizado para avaliar conforto térmico e estresse pelo calor em estudos de saúde ambiental e planejamento urbano.

Wet Bulb Globe Temperature (WBGT): Indicador que combina temperatura, umidade, radiação solar e velocidade do vento, fornecendo uma medida abrangente da carga térmica ambiental. É amplamente usado em contextos ocupacionais e militares para orientar limites de exposição ao calor.

CAUSAS DE MORTALIDADE E MORBIDADE SENSÍVEIS AO CALOR, SEGUNDO A CLASSIFICAÇÃO INTERNACIONAL DE DOENÇAS

Causas externas (Cap. XX – V01–Y98): Óbitos ou internações decorrentes de causas não naturais, como acidentes de trânsito, quedas, afogamentos e agressões físicas. São geralmente excluídos das análises de calor, por não refletirem os efeitos fisiológicos diretos da exposição térmica.

Causas não acidentais (Cap. I–XVIII – A00–R99, exceto V01–Y98): Óbitos ou internações que ocorrem por causas naturais, excluindo as causas externas. Essa categoria é amplamente utilizada como desfecho agregado em estudos sobre temperatura e saúde.

Causas cardiovasculares (Cap. IX – I00–I99): Corresponde aos óbitos ou internações registrados como causa básica as doenças do aparelho circulatório, abrangendo doenças isquêmicas do coração, insuficiência cardíaca e acidentes vasculares cerebrais (AVC). Essas causas são fortemente influenciadas pela sobrecarga térmica e pela desidratação, especialmente durante períodos de calor extremo.

Causas respiratórias (Cap. X – J00–J99): Corresponde aos óbitos ou internações registrados como causa básica as doenças do aparelho respiratório, como doença pulmonar obstrutiva crônica (DPOC), asma e infecções pulmonares, frequentemente exacerbadas por temperaturas elevadas e poluição atmosférica.

Causas metabólicas (Cap. IV – E00–E90): Corresponde aos óbitos ou internações registrados como causa básica as doenças endócrinas, nutricionais e metabólicas, como diabetes mellitus e distúrbios da tireoide, que podem ser agravadas pela exposição ao calor devido ao aumento do estresse fisiológico e da desidratação.

Causas perinatais (Cap. XVI – P00–P96): Compreendem óbitos fetais e neonatais precoces, bem como condições relacionadas à gestação e ao nascimento, como prematuridade, hipóxia neonatal, desidratação materna e baixo peso ao nascer.

Causas geniturinárias (Cap. XIV – N00–N99): Referem-se aos óbitos ou internações registrados como causa básica as doenças do aparelho geniturinário, frequentemente associadas à desidratação e à sobrecarga térmica, com impactos observados em hospitalizações e mortalidade durante ondas de calor.

Causas neurológicas (Cap. VI – G00–G99): Compreendem óbitos ou internações por doenças do sistema nervoso, como Alzheimer, demência e outras condições neurológicas degenerativas, que podem apresentar risco aumentado durante períodos de calor extremo, especialmente entre idosos e populações vulneráveis.

EPIDEMIOLOGIA, MODELOS E ABORDAGENS ESTATÍSTICAS

Case-crossover: Delineamento amplamente utilizado em epidemiologia ambiental para avaliar efeitos agudos de exposições transitórias, como o calor extremo, sobre desfechos em saúde. Compara-se a exposição de um mesmo indivíduo no dia do desfecho de saúde de interesse (período caso) com sua própria exposição em períodos controle, ajustando a influência de fatores individuais constantes no tempo. Quando os períodos de controle são estratificados por dia da semana, mês e ano, o método ajusta automaticamente para sazonalidade e tendências temporais, tornando-o adequado para investigar os efeitos de ondas de calor sobre mortalidade e internações hospitalares.

Caso-controle: Estudo observacional retrospectivo que compara a exposição de indivíduos com determinado desfecho (casos) e sem o desfecho (controles).

Coorte: Delineamento epidemiológico longitudinal que acompanha um grupo de indivíduos (coorte) ao longo do tempo, permitindo observar a ocorrência de desfechos de saúde em relação à exposição a determinados fatores.

Eventos de saúde atribuíveis ao calor: Estima a fração e o número de óbitos ou hospitalizações atribuíveis pela exposição ao calor ou a eventos de ondas de calor, a partir da curva exposição-resposta entre temperatura e mortalidade. Representa a proporção de mortes que não ocorreriam na ausência dessa exposição, sendo amplamente utilizada para quantificar a carga de mortalidade associada ao calor.

Excesso de ocorrências: Corresponde ao número de eventos observados acima do esperado em determinado período, podendo ser estimado pela comparação com médias históricas ou pela aplicação de modelos estatísticos que projetam o número esperado de mortes na ausência do evento. É amplamente utilizado em análises descritivas e sistemas de vigilância em saúde para identificar aumentos anormais de mortalidade durante eventos de calor extremo ou outras emergências.

Meta-análise: No contexto de estudos sobre temperatura e efeitos na saúde, combina resultados de múltiplas cidades para estimar efeitos agregados da temperatura sobre a mortalidade ou morbidade, ajustando variações regionais, climáticas e demográficas.

Modelos de Defasagem Distribuída Não Linear (DLNM): Modelos aplicados em séries temporais que permitem estimar efeitos não lineares e defasados de exposições ambientais, como temperatura, sobre desfechos em saúde. Captam tanto a forma da relação exposição–resposta quanto a distribuição temporal dos efeitos (lags), representando de forma flexível o impacto acumulado e diferido da exposição. São amplamente utilizados para investigar efeitos de calor e frio em estudos de mortalidade e morbidade

Regressão de Poisson e Quasi-Poisson: Modelos aplicados em séries temporais para desfechos de contagem (como óbitos ou internações diárias), úteis para estimar associações entre temperatura e desfechos em saúde, ajustando variáveis de confusão. O modelo de Poisson pressupõe igualdade entre média e variância, enquanto o quasi-Poisson corrige a superdispersão dos dados, mantendo a interpretação dos coeficientes como riscos relativos

Risco Relativo (RR): Mede a força da associação entre exposição térmica e desfechos em saúde em relação a uma referência (geralmente a TMM). Indica quantas vezes o risco de morte ou adoecimento aumenta sob determinada condição de exposição. *Exemplo:* um $RR = 1,10$ para temperaturas acima da TMM indica que há um aumento de 10% no risco de mortalidade em comparação à TMM.



On behalf of:



Federal Ministry
for the Environment, Climate Action,
Nature Conservation and Nuclear Safety



INTERNATIONAL
CLIMATE
INITIATIVE



GREEN
CLIMATE
FUND



Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH



PROADAPTA
Adaptação à Mudança do Clima

MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE E
MUDANÇA DO CLIMA



GOVERNO DO
BRASIL
DO LADO DO POVO BRASILEIRO

of the Federal Republic of Germany



CIÊNCIA & CLIMA



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO



GOVERNO DO
BRASIL
DO LADO DO POVO BRASILEIRO