

Por que precisamos saber não apenas onde o calor vai chegar, mas quem ele vai atingir

Marcos Eduardo Miranda Santos

Camila Nascimento Ferreira

Kelly Fernanda de Sousa Santos

Liliane do Socorro Almeida Alves

Introdução

Entre 2015 e 2024, pessoas com mais de 65 anos na América Latina foram expostas a mais de dez vezes o número de dias de onda de calor registrado entre 1981 e 2000. No Brasil, a mortalidade associada ao calor permanece largamente invisível nas estatísticas oficiais. Este artigo apresenta os fundamentos e os resultados preliminares do projeto ClimaSênior, que propõe deslocar a pergunta central dos sistemas de alerta: em lugar de informar apenas onde e quando o calor chegará, estimar antecipadamente quem será desproporcionalmente afetado e qual demanda recairá sobre os serviços de saúde. Argumenta-se que a definição dos limiares de alerta não é decisão apenas técnica, mas escolha sobre o grau de precaução devido à população mais exposta.

Um desastre sem escombros

Desastres costumam ser reconhecidos pelo que deixam para trás: uma enchente deixa móveis na calçada, um deslizamento deixa uma encosta aberta. As ondas de calor não deixam nada. Chegam devagar, permanecem alguns dias e vão embora sem alterar a paisagem. E, ainda assim, matam.

A Organização Mundial da Saúde e a Organização Meteorológica Mundial deram nome a esse fenômeno: emergência silenciosa (WHO; WMO, 2015). O silêncio não é apenas figura de linguagem. Em análise recente sobre o caso brasileiro, Neves e colaboradores (2025) mostram que a mortalidade relacionada ao calor permanece largamente invisível nas estatísticas oficiais, e que a governança do tema é fragmentada. Os óbitos aparecem como infarto, acidente vascular cerebral ou descompensação respiratória. O calor não consta na certidão, ainda que tenha sido o gatilho.

Esse silêncio tem endereço preferencial: concentra-se entre as pessoas idosas. É essa concentração, e não a temperatura, o que este artigo examina.

A escala do problema, em números recentes

O relatório do Lancet Countdown para a América Latina, publicado em outubro de 2025, oferece a medida mais atualizada do fenômeno na região. Comparando o período de 2015 a 2024 com a linha de base de 1981 a 2000, a exposição de adultos com mais de 65 anos a dias de onda de calor aumentou mais de 1000%. No mesmo intervalo, a mortalidade regional associada ao calor cresceu 103%, o que corresponde a cerca de 13 mil mortes por ano. O Brasil registrou elevação de 1,2 °C na temperatura média de exposição da população (Hartinger *et al.*, 2025).

Esses números descrevem o presente; as projeções são igualmente instrutivas. Analisando 326 cidades latino-americanas, Bakhtsiyarava e colaboradores (2025) projetam que a proporção de mortes atribuíveis ao calor mais do que dobrará até a década de 2050. O achado decisivo, porém, é outro: ao decompor as causas desse aumento, os autores verificam que apenas a mudança na estrutura etária da população responde por elevação de 176% na taxa de mortalidade por calor em cenário moderado. Ainda que o clima se estabilizasse, o envelhecimento sozinho ampliaria o problema.

No Brasil, estudo que analisou mais de 1.800 cidades entre 2000 e 2015 estimou que cerca de 6% das internações nas estações quentes eram atribuíveis ao calor, com carga desproporcional entre pessoas idosas (Zhao *et al.*, 2019), padrão confirmado em contexto tropical pela análise de mais de 42 mil óbitos cardiorrespiratórios no Rio de Janeiro (Silveira *et al.*, 2023). O verão de 2024 para 2025 foi o mais quente registrado no país desde 1961 (Neves *et al.*, 2025).

Por que a idade importa tanto

Dizer que pessoas idosas são mais vulneráveis ao calor é verdadeiro, mas insuficiente, e se mal formulado sugere fragilidade individual onde há convergência de fatores distintos.

A dimensão fisiológica é a mais estudada. Em revisão sobre os fatores que tornam a pessoa idosa vulnerável ao calor, Meade e colaboradores (2020) descrevem a redução da capacidade de suor, a diminuição do fluxo sanguíneo cutâneo, a menor reserva cardiovascular e a atenuação da percepção de sede, que faz a pessoa beber menos água quando mais precisa. Nada disso é doença: é fisiologia do envelhecimento.

A dimensão social nada tem de biológica. Viver sozinho reduz a chance de que alguém perceba os primeiros sinais de que algo vai mal. Ventilador e ar-condicionado custam dinheiro para comprar e mais para manter ligados, o que transforma conforto térmico em questão de renda. E morar em bairro com pouca arborização e muito asfalto significa estar exposto a temperaturas superiores às registradas oficialmente, fenômeno conhecido como ilha de calor. Aqui, vulnerabilidade climática e desigualdade social são a mesma coisa vista de ângulos diferentes.

A dimensão clínica reúne a maior prevalência de doenças cardiovasculares, diabetes e problemas respiratórios, que o estresse térmico pode descompensar, e o uso

continuado de medicamentos que interferem na hidratação. Some-se a transição demográfica brasileira (IBGE, 2024): uma população que envelhece e um clima que se aquece não são dois problemas paralelos, mas um único problema tratado por políticas separadas.

Perigo não é o mesmo que vulnerabilidade

A distinção parece sutil e é decisiva. Perigo é o evento: a onda de calor prevista. Vulnerabilidade é a probabilidade de que aquele evento produza dano em determinada população e território. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023) trata a vulnerabilidade como resultado da interação entre exposição, que é a intensidade e a duração do estresse; sensibilidade, que é o quanto aquela população tende a adoecer; e capacidade de resposta, que são os recursos disponíveis para absorver o impacto, incluída a rede de saúde.

A consequência é que dois territórios sob a mesma temperatura podem ter vulnerabilidades distintas. Um bairro de clima ameno, com muitas pessoas idosas vivendo sozinhas e cobertura precária de atenção básica, pode ser mais vulnerável do que outro, mais quente e bem assistido. O termômetro, sozinho, não informa isso, e a análise de 326 cidades latino-americanas de Kephart e colaboradores (2022) confirma que o risco varia de forma acentuada entre cidades sob condições térmicas comparáveis.

O que o Brasil já faz, e o que ainda falta

Convém reconhecer o que existe antes de propor o que falta. O sistema Defesa Civil Alerta foi nacionalizado em 2025 e envia mensagens diretamente aos celulares em áreas de risco, sem exigir cadastro (BRASIL, 2025). O Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (Cemaden) monitora e emite alertas, o Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet, 2026) divulga avisos meteorológicos e o Ministério da Saúde mantém vigilância em saúde ambiental relacionada a desastres.

Esses instrumentos funcionam. A questão é o escopo da pergunta que respondem. Todos são orientados ao perigo e dirigidos à população em geral: informam o que vai acontecer e onde, mas não estimam, de forma antecipada e desagregada, quem será mais atingido nem quanta pressão o evento colocará sobre os serviços de saúde nos dias seguintes.

Essa limitação não é peculiaridade brasileira. Na *Nature Climate Change*, O'Connor e colaboradores (2025) argumentam que os sistemas de alerta de calor operam predominantemente em nível populacional e que estender proteção a quem mais precisa exige sistemas dirigidos a grupos específicos, sobretudo idosos com doenças crônicas sensíveis ao calor.

O ClimaSênior e o Índice de Vulnerabilidade Climática

É nesse espaço que se situa o projeto ClimaSênior. A proposta integra três conjuntos de dados hoje dispersos, quais sejam, os dados meteorológicos do Inmet, os atendimentos e internações do DataSUS e os dados demográficos do IBGE,

traduzindo-os em uma medida sintética por território: o Índice de Vulnerabilidade Climática, em escala de 0 a 100.

O índice operacionaliza os três componentes do IPCC, conforme o Quadro 1.

Quadro 1: componentes do Índice de Vulnerabilidade Climática

Componente	O que expressa	Como é medido
Exposição	Intensidade e persistência do calor previsto	Índice de calor, anomalia térmica, dias consecutivos acima do limiar local
Sensibilidade	Predisposição da população a adoecer	Proporção de pessoas de 60 anos ou mais, prevalência de comorbidades
Capacidade de resposta	Recursos para absorver a demanda	Cobertura de atenção básica, leitos e estabelecimentos de saúde

Fonte: elaboração dos autores, com base no referencial do IPCC (2023).

A escala de 0 a 100 foi escolhida por comunicabilidade, mas um número, sozinho, não protege ninguém. O decisivo é traduzir cada faixa em conduta: monitoramento de rotina nas faixas baixas; comunicação preventiva a idosos e cuidadores nas intermediárias; reforço de equipes e busca ativa de idosos em isolamento nas altas; e, nas mais elevadas, ativação de pontos de apoio e preparação de retaguarda hospitalar.

Vale destacar que em abril de 2026, Menezes e colaboradores publicaram um Índice de Vulnerabilidade Climática para pessoas idosas nos 17 Departamentos Regionais de Saúde do estado de São Paulo, construído sobre o mesmo referencial do IPCC e a partir das mesmas fontes públicas, com modelos de defasagem distribuída aplicados a internações e óbitos cardiorrespiratórios.

O trabalho é rigoroso e antecede o nosso. A diferença entre as propostas não está no mérito, mas na função. O índice paulista é retrospectivo e estrutural: caracteriza a vulnerabilidade acumulada de cada região sob condições recentes, servindo à priorização territorial no planejamento de saúde. Os próprios autores registram que a dimensão de exposição precisou ser excluída do cálculo, porque as ondas de calor se distribuíram de modo praticamente homogêneo pelo estado.

O ClimaSênior propõe algo distinto e complementar: um índice dinâmico, recalculado a partir da previsão meteorológica, cuja finalidade não é caracterizar territórios, mas disparar ação em janela de três dias. Onde o índice paulista responde a “onde devemos investir”, o nosso pretende responder “o que fazemos nesta semana”. São instrumentos que se somam.

Resultados preliminares

O projeto está em execução, e os resultados aqui relatados correspondem às duas primeiras fases, de natureza metodológica. Na constituição da base, foi integrada uma série diária de 2014 a 2025, reunindo dados climáticos, assistenciais e demográficos em arquitetura única. O trabalho produziu achados relevantes por si mesmos: a rede de estações de superfície tem cobertura espacial desigual, exigindo complementação

por reanálise; as bases assistenciais sofrem defasagem de consolidação e possível subnotificação, o que impõe restringir as análises a períodos consolidados; e a codificação de causas variou ao longo do tempo. Nenhuma dessas limitações inviabiliza o trabalho, mas todas precisam ser declaradas.

Na modelagem, construiu-se uma arquitetura de três componentes: previsão da demanda assistencial em horizonte de três dias, escolhido em razão da defasagem entre exposição e desfecho; classificação do nível de risco; e composição do índice. Adotou-se validação estritamente temporal, com treinamento até 2022, validação no biênio seguinte e teste em 2025, o que evita que informação do futuro contamine o aprendizado.

A execução da esteira confirmou sua integridade e produziu um achado metodológico digno de nota: medidas de acumulação temporal, como médias móveis e contagem de dias consecutivos de calor, mostraram-se mais informativas do que a temperatura instantânea isolada. O resultado é coerente com a literatura, pois o que adoece não é o pico de um dia, mas a ausência de alívio ao longo de vários dias seguidos.

Os valores obtidos até aqui decorreram de execuções destinadas a verificar o funcionamento do fluxo computacional e não constituem estimativas de desempenho em condições reais. As medidas válidas serão obtidas na terceira fase, sobre as bases reais consolidadas e com validação retrospectiva frente a eventos efetivamente ocorridos, e divulgadas com seus intervalos de confiança.

Onde colocar o limiar é uma decisão sobre cuidado

Há um aspecto desse trabalho que raramente aparece nas discussões técnicas e diz respeito a valores, não a estatística. Todo sistema de alerta erra de duas maneiras. Pode deixar de sinalizar um período perigoso, e então as medidas preventivas não são tomadas. Ou pode sinalizar perigo que não se confirma, e então recursos são mobilizados sem necessidade e, se o erro se repete, a credibilidade se desgasta e as pessoas deixam de responder aos avisos.

Esses erros não são equivalentes, e nenhum critério matemático determina qual preferir. Errar para menos custa vidas; errar para mais custa recursos e confiança. A escolha do ponto de corte é decisão sobre quanto de precaução uma sociedade considera devido à sua população mais exposta. Por isso o projeto prevê que os limiares sejam pactuados com gestores de saúde e de proteção e defesa civil: a etapa participativa não é consulta protocolar, mas componente metodológico.

Registre-se, na mesma direção, um limite interpretativo. O índice descreve territórios, não pessoas. Indica que determinada área concentra condições que elevam o risco médio, jamais que determinado indivíduo adoecerá. Confundir uma coisa com a outra é incorrer no que a epidemiologia chama de falácia ecológica, risco real quando resultados são apresentados em mapas coloridos, que sugerem precisão que os dados não têm.

Considerações parciais

Chamamos de gerontologia climática o campo que se abre quando envelhecimento e clima deixam de ser agendas separadas. Não se trata de rótulo novo, mas de reconhecer que a pergunta muda quando os dois temas se encontram: deixa de bastar saber quanto o planeta aquecerá e passa a importar quem sentirá esse aquecimento primeiro e com mais gravidade.

A projeção de que o envelhecimento, isoladamente, elevará em 176% a mortalidade por calor na região (Bakhtsiyarava et al., 2025) deveria bastar para deslocar o tema do campo ambiental para o centro da política de saúde da pessoa idosa. Os dados necessários já existem e são públicos. Falta a articulação entre eles com foco em quem envelhece, e essa ausência não é destino técnico, mas escolha institucional.

Prever não elimina o calor. Mas há diferença considerável entre recebê-lo sem preparo e recebê-lo com três dias de antecedência, com equipes reforçadas e pontos de apoio abertos. O ClimaSênior será entregue como código aberto a um órgão público, precisamente para que não dependa de quem o construiu: uma ferramenta de proteção que morre com o financiamento que a originou não protege ninguém no prazo em que a proteção importa.

Referências

BAKHTSIYARAVA, M. *et al.* Future temperature-related mortality in Latin American cities under climate change and population scenarios. **Environment International**, 2025. DOI: 10.1016/j.envint.2025.109694.

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. **Defesa Civil Alerta**. Brasília, DF: MIDR, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/protecao-e-defesa-civil/defesa-civil-alerta>. Acesso em: 26 jul. 2026.

HARTINGER, S. M. *et al.* The 2025 Lancet Countdown Latin America report: moving from promises to equitable climate action for a prosperous future. **The Lancet Regional Health – Americas**, 2025. DOI: 10.1016/j.lana.2025.101276.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Projeções da população: Brasil e Unidades da Federação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP)**. Brasília, DF: INMET, 2026. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 3 fev. 2026.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Genebra: IPCC, 2023.

KEPHART, J. L. *et al.* City-level impact of extreme temperatures and mortality in Latin America. **Nature Medicine**, v. 28, p. 1700-1705, 2022.

MEADE, R. D. *et al.* Physiological factors characterizing heat-vulnerable older adults: a narrative review. **Environment International**, v. 144, 105909, 2020.

MENEZES, T. P. *et al.* Vulnerability to heat effects and regional inequalities among older adults in the state of São Paulo, Brazil. **Journal of Ageing and Longevity**, v. 6, n. 2, 34, 2026. DOI: 10.3390/jal6020034.

NEVES, J. M.; GARCIA, K. K. S.; OLIVEIRA, B. F. A.; HORTA, M. A. Too hot to ignore: the escalating health impact of heatwaves in Brazil. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 22, n. 9, 1451, 2025. DOI: 10.3390/ijerph22091451.

O'CONNOR, F. K. *et al.* Promoting targeted heat early warning systems for at-risk populations. **Nature Climate Change**, v. 15, n. 8, p. 806-808, 2025. DOI: 10.1038/s41558-025-02374-2.

SILVEIRA, I. H.; CORTES, T. R.; BELL, M. L.; JUNGER, W. L. Effects of heat waves on cardiovascular and respiratory mortality in Rio de Janeiro, Brazil. **PLoS ONE**, v. 18, n. 4, e0283899, 2023.

WHO; WMO. World Health Organization; World Meteorological Organization. **Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development**. Genebra: WMO, 2015. (WMO-No. 1142).

ZHAO, Q. *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.

Data de recebimento: 30/08/2026; Data de aceite: 30/08/2026

Marcos Eduardo Miranda Santos - Pós-doutorando em Educação Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Doutor em Biodiversidade e Biotecnologia pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Mestre em Ambientometria pela Universidade Federal do Rio Grande (FURG). Mestre em Oceanografia pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Especialista em Análise de Dados e Inteligência Artificial pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Especialista em Docência para a Educação Profissional e Tecnológica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo (IFES). Especialista em Ciências Ambientais e Análises Ambientais pelo Instituto GraduarTE. Especialista em Gestão Ambiental pelo Centro Universitário Cidade Verde (FCV). Especialização em andamento em Geoprocessamento Aplicado pela Universidade Norte do Paraná (UNOPAR). Especialização em andamento em Gestão da Educação Profissional e Tecnológica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia

de Mato Grosso do Sul (IFMS). Graduado em Ciências Biológicas Licenciatura pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Graduação em Estatística pelo Centro Universitário FMU (Faculdades Metropolitanas Unidas). Pesquisador independente e consultor. E-mail: markoseduardo2008@hotmail.com

Camila Nascimento Ferreira - Licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Especialista em Docência para Educação Profissional e Tecnológica pela Faculdade Unihorizontes. Tem experiência com análise de dados. Será responsável pela análise dos dados de saúde, pela definição dos indicadores clínicos de vulnerabilidade e pela interface com os gestores de saúde. Nome: Me. Kelly Fernanda de Sousa Santos Contribuição: Doutoranda em Biodiversidade e Biotecnologia pela Universidade Federal do Amapá (UNIFAP). Mestra em Ecologia e Conservação da Biodiversidade (PPGECB/UEMA), Especialista em Gestão e Educação ambiental (UFMA/ Campus Grajaú). Graduada em Ciências Biológicas (Licenciatura) pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Tem experiência em Gestão Ambiental. Responsável pela coleta, tratamento e análise dos dados climáticos e ambientais, além de apoio na interpretação dos resultados e na validação do modelo.

Liliane do Socorro Almeida Alves - Doutoranda em Biodiversidade e Biotecnologia pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Mestra em Ecologia e Conservação da Biodiversidade (PPGECB/UEMA), Graduada em Ciências Biológicas (Licenciatura) pela Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Têm experiência na área de Ecotoxicologia e em Educação Ambiental em ambientes formais e não-formais de ensino. Responsável pela coleta, tratamento e análise dos dados climáticos e ambientais, além de apoio na interpretação dos resultados e na validação do modelo.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que a obra original seja devidamente citada.