

COMO MEDIR A VULNERABILIDADE AO CALOR URBANO? UM ESTUDO APLICADO À PORTO ALEGRE, RS (SESSÃO TEMÁTICA)

Carolina Cristófoli Falcão

E-mail carolinacristofoli@gmail.com

Eugenia Aumond Kuhn

Universidade Federal do Rio Grande do Sul | E-mail: eugenia.kuhn@ufrgs.br

Geisa Zanini Rorato

Universidade Federal do Rio Grande do Sul | E-mail: geisa.rorato@ufrgs.br

Sessão Temática 06: Natureza, crise ambiental e mudanças climáticas

Resumo: Este artigo propõe um método de IVC adaptado ao contexto de uma metrópole brasileira, utilizando Porto Alegre como objeto empírico. Com base na pesquisa construtiva, o método foi dividido em três etapas: (a) compreensão teórico-prática do problema, (b) desenvolvimento do IVC ajustado ao contexto brasileiro e (c) aplicação em Porto Alegre. Os bairros mais vulneráveis ao calor foram identificados como áreas de baixa renda, corroborando a visão de que a vulnerabilidade é uma construção social. Os resultados diferem daqueles obtidos no único estudo prévio sobre o tema no Brasil, ao identificar os bairros de menor renda como os mais vulneráveis ao calor. Essa divergência reflete diferenças metodológicas na composição dos IVCs e destaca a necessidade de pesquisas mais detalhadas para avaliar a validade dos métodos. Isso é particularmente importante no contexto nacional de crescente utilização de IVCs em ferramentas de planejamento urbano voltadas à adaptação climática.

Palavras-chave: Índice de Vulnerabilidade ao Calor; Adaptação climática; Planejamento Urbano.

HOW TO MEASURE URBAN HEAT VULNERABILITY? A STUDY APPLIED TO PORTO ALEGRE, RS.

Abstract: This article proposes an IVC method adapted to the context of a Brazilian metropolis, using Porto Alegre as the empirical object. Based on constructive research, the method was divided into three stages: (a) theoretical and practical understanding of the problem, (b) development of the IVC adjusted to the Brazilian context, and (c) application in Porto Alegre. The most vulnerable neighborhoods to heat were identified as low-income areas, corroborating the view that vulnerability is a social construct. The results differ from those obtained in the only previous study on the topic in Brazil, which identified lower-income neighborhoods as the most vulnerable to heat. This divergence reflects methodological differences in the composition of the IVCs and highlights the need for more detailed research to assess the validity of the methods. This is particularly important in the national context of the increasing use of IVCs in urban planning tools aimed at climate adaptation.

Keywords: Heat Vulnerability Index; Climate Adaptation; Urban Planning.

¿CÓMO MEDIR LA VULNERABILIDAD AL CALOR URBANO? UN ESTUDIO APLICADO A PORTO ALEGRE, RS.

Resumen: Este artículo propone un método de IVC adaptado al contexto de una metrópoli brasileña, utilizando Porto Alegre como objeto empírico. Basado en la investigación constructiva, el método se dividió en tres etapas: (a) comprensión teórica y práctica del problema, (b) desarrollo del IVC ajustado al contexto brasileño y (c) aplicación en Porto Alegre. Los barrios más vulnerables al calor fueron identificados como áreas de bajos ingresos, corroborando la visión de que la vulnerabilidad es una construcción social. Los resultados difieren de los obtenidos en el único estudio previo sobre el tema en Brasil, que identificó los barrios de menores ingresos como los más vulnerables al calor. Esta divergencia refleja diferencias metodológicas en la composición de los IVCs y destaca la necesidad de investigaciones más detalladas para evaluar la validez de los métodos. Esto es particularmente importante en el contexto nacional del creciente uso de IVCs en herramientas de planificación urbana orientadas a la adaptación climática.

Palabras clave: Índice de Vulnerabilidad al Calor; Adaptación Climática; Planificación Urbana.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e o consequente aumento das temperaturas globais intensificam os eventos de calor extremo, especialmente em ambientes urbanos. Esse fenômeno representa uma preocupação crescente devido aos seus efeitos negativos na saúde pública, como o aumento de doenças relacionadas ao calor e da mortalidade, na redução do conforto térmico dos habitantes e no impacto significativo sobre o consumo de energia, especialmente para refrigeração (Heaviside et al., 2017; Chapman et al., 2017).

No que se refere à saúde pública, segundo Carlos Nobre (SUL21, 2024), “a onda de calor eleva em mais de 50 vezes as mortes do que as chuvas”. Na América Latina, o Relatório The Lancet de 2022 apontou o aumento de mortes por calor nos últimos 20 anos na população com mais de 65 anos (Hartinger, et al. 2023).

No Brasil, Monteiro dos Santos et al (2024) estimaram que, entre 2000 e 2018, 48 mil pessoas morreram em decorrência do calor extremo durante as ondas de calor. O fenômeno das ondas de calor (OCs) tem se tornado cada vez mais intenso e frequente. No ano de 2023, foram registradas em território nacional nove OCs que somadas perduraram por 65 dias, o que representa 17% do ano (Ferreira et al, 2024). Segundo a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres - Cobrede (Brasil, 2020), onda de calor é:

É um período prolongado de tempo excessivamente quente e desconfortável, onde as temperaturas ficam acima de um valor normal esperado para aquela região em determinado período do ano. Geralmente é adotado um período mínimo de três dias com temperaturas 5 °C acima dos valores máximos médios.

É no ambiente urbano que as OCs, exacerbadas pelas mudanças climáticas, têm se tornado mais tangíveis para o grande público, assim como outros efeitos das mudanças climáticas (Ferreira et al, 2024). As áreas urbanas são particularmente vulneráveis ao calor extremo, devido ao efeito de ilha de calor urbana, onde a densidade de edifícios, a pavimentação, a falta de áreas verdes, aumento do fluxo de veículos, o aumento do uso de energia, entre outros, exacerbam o problema (EPA - United States Environmental Protection Agency, 2024). A concentração de pessoas em áreas urbanas cria um desafio adicional e estudos têm demonstrado um aumento nos riscos à saúde em populações urbanas em comparação com populações rurais ou suburbanas durante períodos de calor intenso, com um impacto desproporcional sobre os grupos sociais mais vulneráveis (Heaviside et al. 2017).

Um aspecto importante da problemática relacionada ao calor extremo e às OCs é a vulnerabilidade, ou seja, o quão suscetível ou exposta uma população está ao fenômeno. Isso significa que as populações não são atingidas da mesma maneira pelos eventos climáticos, assim como não reagem igualmente, em razão das suas diferentes capacidades adaptativas (Paz et al., 2022). Assim, a temperatura emerge como um dos indicadores a serem monitorados, porém, não o único. É necessário considerar diferentes indicadores e suas correlações para realizar uma leitura da vulnerabilidade urbana ao calor, e determinar os melhores locais para medidas de adaptação.

Se, por um lado, as cidades são espaços particularmente sensíveis aos desafios climáticos, elas também são espaços estratégicos para o seu enfrentamento, visto que concentram recursos financeiros, materiais e de recursos humanos (Paz, et al. 2022). Assim, os instrumentos de planejamento urbano precisam incorporar métodos e ferramentas que deem suporte à formulação de estratégias de mitigação e adaptação à mudança do clima (Stone et al., 2014; Oliveira et al., 2011). Há, portanto, demanda por métodos que identifiquem as áreas mais vulneráveis e, conseqüentemente, apoiem a definição de onde e como é mais estratégico atuar. As intervenções devem ser realizadas nas áreas em que forem mais efetivas, eficientes e equitativas (ARSET, 2022).

Uma das ferramentas mais utilizadas para identificar áreas vulneráveis e medir a vulnerabilidade ao calor extremo é o Índice de Vulnerabilidade ao Calor (IVC), que se baseia em métodos de análise multicritério, com a sobreposição de indicadores (Szagri; Nagy; Szalay, 2023). São utilizados dados atuais ou modelados para situações futuras, especializadas ou não.

Apesar da extrema relevância do tema, os índices de vulnerabilidade ao calor (ICV) ainda são escassos no contexto acadêmico brasileiro, enquanto são amplamente utilizados em países do norte global (Lapola et al., 2019). Em extensas revisões da literatura sobre o tema (Bao; Li; Yu, 2015; Wolf et al., 2015; Cheng et al., 2021; Ellena et al., 2020; Szagri; Nagy; Szalay, 2023), somente duas (Szagri et al., 2023; Ellena et al., 2020) identificaram apenas um estudo brasileiro sobre o tema (Lapola et al., 2019). Em síntese, identifica-se como lacuna, o fato que,

embora o tema da vulnerabilidade ao calor seja extremamente relevante, ele ainda é pouco explorado no contexto acadêmico brasileiro.

Como contraponto, grande parte dos planos municipais de ação climática e/ou de mitigação e/ou adaptação às mudanças do clima, desenvolvidos no Brasil nos últimos anos, incorporam IVCs na etapa de diagnóstico, os quais são uma das bases para a elaboração das propostas. Assim, essas cidades estão utilizando IVCs cujos métodos ainda não foram cientificamente testados quanto à validade e à adequação ao contexto nacional.

Diante da lacuna de conhecimento identificada e do contexto apresentado, este artigo tem como **objetivo** propor um método de IVC adaptado ao contexto de uma metrópole brasileira e discutir as repercussões das diferentes escolhas metodológicas. O município de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul, será utilizado como objeto empírico do estudo por dois motivos principais.

Primeiro, porque o debate sobre as medidas de mitigação e adaptação dos municípios às mudanças climáticas está na pauta urgente dos governos e da sociedade gaúcha desde as cheias históricas ocorridas em maio deste ano. Isso significa que o estado necessita urgentemente de apoio para a tomada de decisões em planejamento urbano.

Segundo, porque o estudo de Garcia (2021), ao relacionar episódios de OCs com alterações nas taxas e valores observados de mortalidade natural em 7 regiões metropolitanas (RMs) brasileiras, identificou que a RM de Porto Alegre foi a que teve os aumentos mais significativos na mortalidade, chegando a um incremento de 100% nas mortes da população idosa.

Como contribuição às práticas, espera-se que o estudo auxilie nas discussões que dão suporte ao planejamento urbano e ao desenvolvimento de ações de adaptação e mitigação climática das cidades brasileiras.

O artigo está organizado em cinco seções, além da introdução. A seção 1 oferece uma revisão bibliográfica abordando conceitos de vulnerabilidade ao calor, metodologias e aplicações dos IVCs para suporte à decisão. A seção 2 detalha o método de estudo e caracteriza Porto Alegre, objeto empírico do artigo. Na seção 3, apresenta-se a proposta do Índice de Vulnerabilidade ao Calor (IVC) e as escolhas metodológicas que o fundamentam. A seção 4 discute os resultados da aplicação do índice no município. Por fim, são apresentadas as considerações finais.

1. ÍNDICE DE VULNERABILIDADE AO CALOR: CONCEITOS, ABORDAGEM METODOLÓGICA E APLICAÇÕES

Conforme proposto pelo Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) em seu terceiro relatório de avaliação (AR3) (IPCC, 2001), a vulnerabilidade é grau que um sistema é suscetível ou capaz de lidar com os efeitos adversos da mudança climática, incluindo a variabilidade e extremos climáticos, sendo composto por três elementos:

Vulnerabilidade = Exposição + Sensibilidade + Capacidade Adaptativa

- a. Exposição: grau a que um sistema está exposto a um perigo;
- b. Sensibilidade: grau em um sistema é afetado;
- c. Capacidade adaptativa: habilidade de responder ou se adaptar ao perigo;

Um conceito tangente ao tema é o de risco. Proposto no quinto relatório do IPCC (AR5/IPCC, 2014), é a probabilidade de ocorrência e potencial impacto de um perigo, sendo composto por:

Risco = Vulnerabilidade + Exposição + Perigo

- a. Vulnerabilidade: predisposição ou propensão para ser negativamente afetado, englobando os concedido de sensibilidade e capacidade adaptativa.
- b. Exposição: Presença de pessoas, recursos, infraestruturas, que pode ser afetada
- c. Perigo: Probabilidade de ocorrência ou tendência de um evento natural ocorrer

Apesar das diferenças nos conceitos de risco e vulnerabilidade e nos seus enfoques de análise, o conceito de vulnerabilidade proposto no AR3 continua sendo o mais utilizado em análises de foco específico (Estoque et al., 2023), como é o caso de IVC, e sendo a mais utilizada na elaboração de IVC (Cheng et al., 2021).

A vulnerabilidade ao calor não é uma propriedade que pode ser diretamente medida, é um conceito teórico, criado a partir da complexa relação de diversos indicadores que estão relacionados/influenciam a mortalidade durante ondas de calor (Szagri; Nagy; Szalay, 2023). Vulnerabilidade não é simplesmente o resultado da temperatura, mas é uma condição produzida na e pela sociedade (Ellena et al., 2020).

Como todo índice, o IVC é formado por indicadores parciais. Diversos estudos (Bao et al., 2015; Wolf et al., 2015; Cheng et al., 2021; Ellena et al., 2020; Szagri; Nagy; Szalay, 2023) revisaram inúmeras metodologias e levantaram os variados indicadores que podem ser utilizados em sua elaboração. Os indicadores devem ser cuidadosamente selecionados, buscando-se representar o contexto que se pretende compreender.

Normalmente, os conjuntos de indicadores adotados buscam medir os elementos, apresentados no início desta seção, e que compõem os conceitos de vulnerabilidade e de risco. Por exemplo, a exposição a riscos externos, avaliada pela intensidade ou distribuição espacial do calor, pode incluir indicadores como temperatura superficial (LST), dias de ondas de calor, ou fatores que intensifiquem o calor, com indicadores como baixo índice de vegetação normalizada (NDVI) ou alta densidade habitacional. A sensibilidade, por sua vez, que diz respeito à capacidade inerente dos indivíduos de lidarem com o calor, pode ser analisada por meio de indicadores demográficos, como idade, gênero e presença de doenças. Já a capacidade adaptativa, que reflete a habilidade ativa de enfrentar o calor, geralmente considera indicadores ambientais, - como acesso à vegetação-, e sociais,- como renda e características das moradias (Cheng et al., 2021; Szagri; Nagy; Szalay, 2023).

Há também o desafio de se equilibrar o número de indicadores utilizados para compor o IVC. Utilizar indicadores demais pode ser inadequado por sua demanda de processamento ou cálculos muito complexos (Szagri; Nagy; Szalay, 2023), ou causar a sobreposição de indicadores correlatos e distorções na avaliação (Conlon et al., 2020).

Depois de realizados cálculos individuais, os valores dos indicadores, medidos em diferentes escalas ou unidades, precisam ser padronizados em uma escala comum (Szagri; Nagy; Szalay, 2023). Em estudos de IVC, esses procedimentos podem ser chamados de normalização ou harmonização de Dados.

No processo de avaliação, pesos podem ser aplicados para indicar que alguns fatores são mais importantes do que outros (Szagri; Nagy; Szalay, 2023). Esquemas de ponderação explícita ou estatística podem ser utilizados para criar o índice composto de vulnerabilidade, no entanto, ambos os métodos de ponderação possuem limitações, segundo Cheng et. al. (2021). Para os autores, ainda não há critérios consistentes ou medidas estatísticas padronizadas para avaliar essa eficiência.

Pode-se dizer que IVC é um método de análise multicritério, que consiste na decomposição e síntese das relações entre diferentes critérios até que se chegue a uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho (Saaty, 1991). No caso de estudos espacializados, a medição é feita a partir de uma determinada unidade espacial e a metodologia é baseada no Método Ecológico de Ian McHarg (1969), que interpreta a complexidade do território através de suas diversas camadas, amparando-se em softwares de geoprocessamento.

Uma crítica comum aos IVCs é que poucos apresentam validação com comparação com outros dados (comparação com taxas de mortalidade durante eventos de calor extremo, por exemplo), tão pouco há metodologia para validação dos estudos de IVC (Cheng et al., 2021). Nesse sentido, Bao, Li e Yu (2015) sugerem que dados de saúde relacionados ao calor são desenvolvimentos futuros importantes para se validar e otimizar os métodos.

Segunda metodologia apresentada por Fritzsche et al. (2014, apud Szagri; Nagy; Szalay, 2023), avaliação de vulnerabilidade, de diferentes escopos, é organizada em quatro etapas principais:

- a. Tópico: qual perigo que será avaliado;
- b. Escopo espacial: qual a unidade espacial (cidade, bairro, grade etc.) e a resolução da análise;
- c. Escopo temporal: definição se será avaliada vulnerabilidade atual ou futura;
- d. Métodos: definição por métodos quantitativos ou qualitativos e quais os inputs serão usados na análise;

Bao, Li e Yu (2015) apontam que, os estudos que avaliam a vulnerabilidade ao calor são realizados principalmente na Europa e nos Estados Unidos e podem não representar países e regiões em diferentes contextos. Um exemplo de desafio pode ser a escassez de dados.

Particularidades ambientais ou de infraestrutura podem ser relevantes para a adequação do método utilizado. Nesse sentido, Cheng et al. (2021), apontam que estudos de IVC devem ser conduzidos em países e regiões quentes e menos desenvolvidos de maneira a ampliar-se a discussão metodológica sobre IVCs.

No que se refere ao uso dos IVCs como suporte a decisão, é reconhecido que a ciência do mapeamento da vulnerabilidade às mudanças climáticas tem historicamente visto seus resultados serem efetivamente utilizados de forma prática ou adentrando políticas públicas, mesmo que inicialmente os estudos não tenham sido voltados para esse fim (Preston et al., 2011).

Wolf, et al. (2015), ao analisar a influência de IVC em políticas públicas, apontou que 86% dos artigos revisados tiveram algum nível de interação, alta ou baixa, com autoridades locais, embora não tenham influenciado de forma significativa na formulação de políticas ou ações preventivas. Outro exemplo é o estudo de Lapola (2019), único do tema no Brasil, que foi apresentado a stakeholders das capitais analisadas. Isso demonstra o grande potencial dos IVC como ferramenta de uso prático.

2. MÉTODO DE PESQUISA

A estratégia adotada neste artigo foi a pesquisa construtiva (Design Science Research - DSR), que se fundamenta no desenvolvimento de artefatos, como a criação de novos modelos, planos, estruturas organizacionais, ou a proposição de soluções para problemas existentes (Dresch et al., 2015). Esses artefatos têm como objetivo resolver problemas de relevância teórica, aprimorando conceitos e teorias, e prática, contribuindo para o mundo real (Kassanen et al., 1993). Neste estudo, o artefato desenvolvido é um IVC a ser utilizado em Porto Alegre.

Segundo Dresch et al. (2015), uma característica fundamental da pesquisa baseada na DSR é sua orientação para resolver problemas específicos. Em vez de buscar soluções ótimas, o foco está em encontrar soluções satisfatórias para a situação. Essas soluções, entretanto, devem ser passíveis de generalização para uma classe de problemas, permitindo que outros pesquisadores utilizem o conhecimento gerado. Nesse sentido, pretende-se com o desenvolvimento de um IVC para Porto Alegre, também discutir as repercussões das diferentes escolhas metodológicas e sua adequação ao contexto das metrópoles brasileiras.

Segundo March e Storey (2008), para que a DSR tenha uma contribuição teórica e prática adequada, é necessário cumprir alguns requisitos: a) identificar um problema relevante; b) demonstrar que não existem soluções suficientes para o problema; c) criar e apresentar um novo artefato que possa resolvê-lo; e d) avaliar os artefatos desenvolvidos quanto à sua utilidade e viabilidade.

A partir disso, a pesquisa foi dividida em três grandes etapas, comuns à DSR: a) compreensão do problema do ponto de vista teórico e prático; b) desenvolvimento da solução; c) avaliação.

A primeira etapa envolveu a revisão de literatura e a compreensão do contexto da pesquisa, apresentados na seção 1. A segunda etapa consistiu no desenvolvimento do IVC, adaptado especificamente ao contexto dos municípios de metrópoles brasileiras, conforme apresentado na seção 2. A metodologia utilizada para essa adaptação baseou-se na revisão realizada na etapa anterior e na análise de dados disponíveis relacionados ao contexto do estudo. Os resultados dessa etapa, aplicados à Porto Alegre, estão descritos na seção 3. Por fim, a etapa de avaliação foi realizada por meio do teste de aplicação a um objeto empírico. Essa é considerada uma das cinco formas de avaliar um artefato proposto em pesquisa de DSR (Dresch et al., 2015).

Pelos motivos apresentados na introdução, o município de Porto Alegre foi adotado como objeto empírico da pesquisa. Sua caracterização geral é apresentada na seguir.

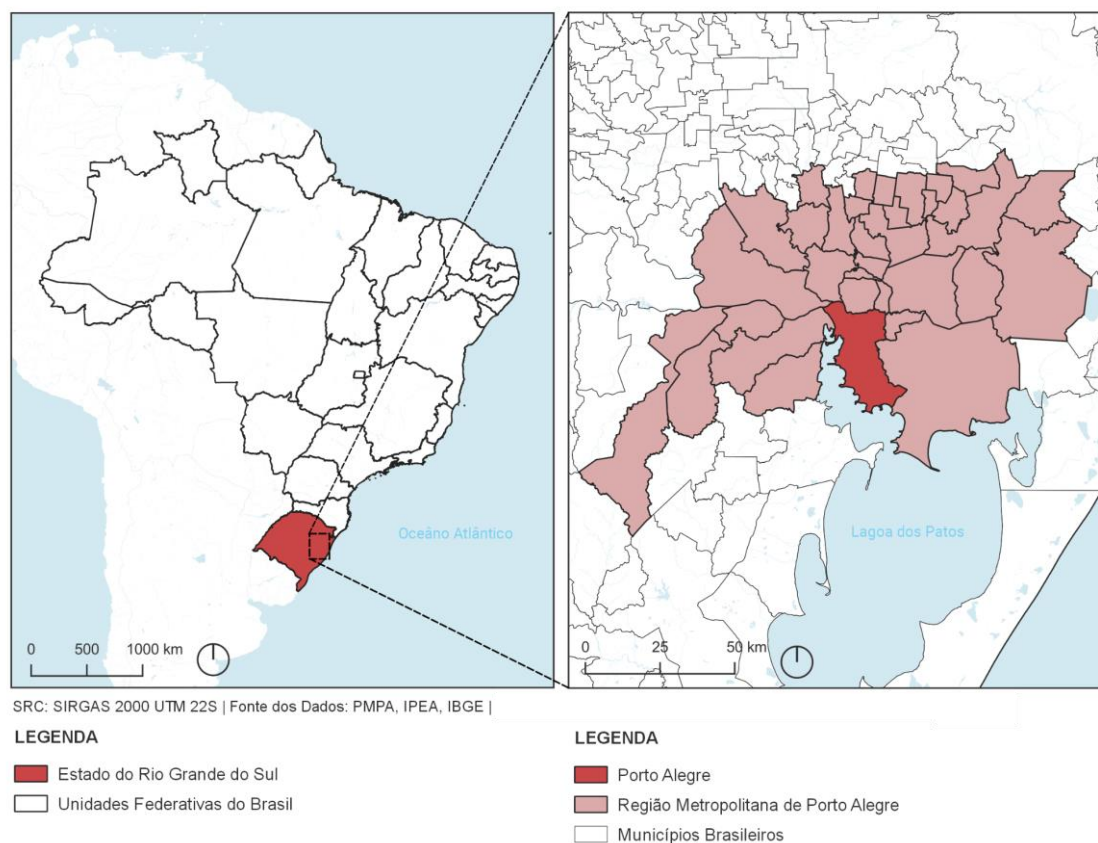
2.1 CASO DE ESTUDO: PORTO ALEGRE

Localizada no extremo sul do Brasil, Porto Alegre é a capital do estado do Rio Grande do Sul, Brasil (Figura 1). Porto Alegre destaca-se como a cidade com maior participação no PIB do Rio Grande do Sul (17,46%) e o maior PIB entre os municípios gaúchos (Rio Grande do Sul, 2020). Demograficamente, é a mais populosa do estado, com cerca de 1,404 milhões de habitantes, além de apresentar a maior densidade demográfica, de 3.004,1 hab./km² (IBGE, 2023).

O crescimento urbano de Porto Alegre ocorreu de forma concêntrica, com expansão a partir do centro para núcleos isolados ao longo das principais vias, especialmente nos sentidos leste e norte, que conectam a cidade aos principais pólos econômicos do estado. Esse modelo resultou em maior densidade populacional nas regiões central, norte e leste, enquanto a região sul permaneceu menos adensada (Rorato et al, 2023).

De acordo com o “Atlas Ambiental de Porto Alegre”, o clima da cidade é classificado como subtropical úmido, com características marcantes das estações do ano. As temperaturas médias variam de 17°C a 25°C, com os meses de janeiro e fevereiro sendo os mais quentes e julho o mais frio. Os invernos são moderadamente frios, com a ocorrência ocasional de geadas. O verão é quente e úmido, com episódios de chuvas intensas. Todavia, segundo a MetSul (2023), nos últimos 100 anos, Porto Alegre ficou mais quente e mais chuvosa. Em comparação com a série histórica de 1931-1960 e 1991 a 2020, a temperatura aumentou 0,4°C e média de precipitação anual, 178mm.

Figura 1: Mapa de situação de Porto Alegre.



Fonte: os autores.

3. PROPOSTA DE MÉTODO DE IVC ADAPTADO AO CONTEXTO DE UMA METRÓPOLE BRASILEIRA

A proposta de método de IVC seguirá a estrutura proposta por Fritzsche et al. (2014, apud Szagri; Nagy; Szalay, 2023), apresentada na seção 1. O **tópico** avaliado será a vulnerabilidade ao calor.

O **escopo espacial** do estudo será a cidade de Porto Alegre. Considerando que, para o suporte à tomada de decisão no planejamento urbano, é fundamental trabalhar com informações na menor unidade de planejamento possível, o bairro será adotado como unidade espacial de avaliação.

O **escopo temporal** da avaliação será o presente, sem modelar os dados para cenários futuros. Para dados espaciais, foram utilizados dados dos últimos 10 anos, já para dados demográficos utilizou-se o Censo de 2010, pois o estudo foi desenvolvido antes dos dados detalhados do Censo 2022 serem divulgados.

A definição e elaboração do **método** será descrita nos itens a seguir, acompanhados de uma discussão teórica e prática das implicações das escolhas realizadas. Primeiro, serão apresentados os indicadores escolhidos, com uma breve discussão da literatura, e, a seguir, os procedimentos adotados para harmonização dos indicadores.

3.1 DEFINIÇÃO DOS INDICADORES

A seleção dos indicadores foi baseada na abordagem conceitual da vulnerabilidade ao calor, em referências de outros métodos identificados na literatura e nas condições locais do estudo de caso, no que se refere à disponibilidade de dados e a outras características particulares.

INDICADORES DE EXPOSIÇÃO

Para o fator de Exposição, usualmente são utilizados indicadores representativos da temperatura/calor e da cobertura do solo.

No que se refere à temperatura/calor urbano, é considerado mais assertivo utilizar a temperatura do ar (TAR) (Voorhees et al., 2011). Todavia essa opção implica na perda do componente espacial, visto que a medição da temperatura do ar exige que haja dados medidos localmente. Além de ser caro e demandante se obter tais dados para o município como um todo, obtêm-se, como resultado, dados em forma de pontos e não de superfície.

Uma alternativa, então, é utilizar-se valores de temperatura superficial (LST), que é a média da temperatura de uma superfície, calculada através da sua radiação (Szagri; Nagy; Szalay, 2023)

É importante salientar que os valores de LST de uma área normalmente são diferentes dos valores de TAR. De qualquer forma, diversos estudos indicaram a correlação entre a temperatura superficial e do ar (Johnson et al., 2009). Dentre as revisões de literatura, o parâmetro de LST foi usado em mais da metade dos estudos analisados por Cheng et al. (2021) e Szagri; Nagy; Szalay (2023) e em 88% em Bao; Li; Yu (2015), logo pode se dizer que a utilização de LST é bem aceita na elaboração de IVC.

Pela existência de dados de temperatura do ar para a cidade de Porto Alegre em, apenas, poucos pontos, por não haver recursos para a realizar a medição no escopo deste estudo e pelo propósito de se obter resultados espacializados, optou-se por se utilizar a variável de Temperatura Superficial como indicador da neste estudo. As fontes de dados e procedimentos adotados para medição desse indicador são detalhados no item a), mais adiante.

No que se refere à cobertura do solo, ela é uma variável considerada na medição da exposição, pois tem influência no efeito da ilha de calor urbana. Em geral, a vegetação tende a estabilizar os efeitos do clima, reduzindo extremos a temperatura superficial (Cai et al., 2019).

Para especializar a vegetação urbana, foram gerados mapas de Índice de Vegetação da Diferença Normalizada. Conceitualmente, não é um mapeamento sobre a área verde em si, mas dão dimensão sobre a presença de vegetação e umidade por meio de um indicador numérico obtido por sensoriamento remoto.

Assim como o LST, o NDVI é amplamente utilizado na construção de IVC, estando presente em mais da metade dos estudos analisados por Cheng, (2021) e Szagri; Nagy; Szalay (2023), e menos presente em Bao; Li; Yu (2015) e Ellena et al. (2020).

- a. Temperatura Superficial: Um primeiro passo para compreender o fenômeno do aquecimento urbano é realizar o mapeamento da temperatura de superfície (Land Surface Temperature - LST), pois essa variável é indicativa da intensidade do calor ao qual a população está exposta.

Para esse estudo, a obtenção da temperatura de superfície foi realizada por meio do método de sensoriamento remoto, utilizando o script e equação sugeridas em ARSET (2020), obtidos a partir de imagens captadas pelos satélites Landsat 8, com resolução espacial de 30 metros, aproximadamente às 10h00 da manhã.

Arbitrou-se por imagens do período de verão (21 dezembro a 20 de março), entre 2013 e 2023, sendo descartadas aquelas que apresentavam cobertura de nuvens superior a 10%. No total, foram selecionadas 27 imagens, a partir das quais foi calculada a temperatura superficial média de cada pixel, excluindo os valores zerados. A maior temperatura encontrada foi 47.3°C, a menor de 27.8°C e a média foi 34.9°C.

- b. Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI): Para calcular o NDVI, é utilizado a diferença entre a reflectância da luz vermelha (RED) e a reflectância da luz infravermelha próxima (NIR) para estimar a quantidade e a condição da vegetação. O valor resultante do NDVI varia de -1 a 1. Quanto maior, mais densa e saudável está a vegetação. Já valores negativos indicam solo exposto ou outro tipo de coberturas.

Para essa análise, foram utilizados dados obtidos a partir de imagens do satélite CBERS4A em dezembro de 2022, com resolução espacial de 8 metros.

INDICADORES DE SENSIBILIDADE

Para o fator de Sensibilidade, foram escolhidos os indicadores de: população idosa, população infantil e população de rua.

A população idosa é particularmente vulnerável ao calor por diversos fatores, entre eles a capacidade de termorregulação afetada (Hansen et al., 2011), alteração na saciedade o que pode levar a desidratação (Farrell et al., 2008), por 80% dessa demografia apresentar, pelo menos, uma doença crônica (Szagri; Nagy; Szalay, 2023) e por sua maior dificuldade, por motivos psicológicos ou físicos, de responder em eventos de emergência (Aldrich and Benson, 2008 apud Szagri; Nagy; Szalay, 2023).

A utilização do indicador de idosos é o mais consolidado em todas as revisões de literatura ((Bao; Li; Yu, 2015; Cheng et al., 2021; Ellena et al., 2020; Szagri; Nagy; Szalay, 2023), aparecendo em quase que na totalidade dos estudos analisado, tendo somente uma variação entre a idade considerada em cada estudo, variando normalmente entre 60 a 65 anos.

A população infantil é tão vulnerável quanto a população idosa (Danks et al., 1962 apud Szagri; Nagy; Szalay, 2023), pois, devido a sua maior taxa metabólica e menor área corporal, têm mais dificuldade em realizar trocas de calor (Grubenhoff, 2007). Além disso, crianças são dependentes para serem levadas a ambientes mais frescos ou receberem líquidos (Szagri; Nagy; Szalay, 2023), logo tem menor capacidade adaptativa.

Dentre outros IVC, a população infantil é menos utilizada que a população idosa, variando de 46% (Szagri; Nagy; Szalay, 2023) a 20% (Ellena et al, 2020) dos estudos. Assim como nos idosos, não há consenso na idade utilizada para caracterizar esse grupo, tendo sido encontrado diferentes recortes, desde < 2 anos a < 18 anos.

A população de rua é outro grupo muito vulnerável ao calor por normalmente ser associada a outros fatores de risco (ex: doenças, baixa escolaridade, dependência química) e sua baixíssima capacidade adaptativa frente ao calor extremo. Porém, é um indicador que apareceu em somente um estudo (Rinner et al., 2010) das extensivas revisões da literatura. Isso acontece pela complexidade de captar essa população, tendo em vista a dificuldade de identificar seus locais de moradia (Szagri; Nagy; Szalay, 2023).

- a. População idosa: Para esse estudo, foram utilizados os dados do Censo 2010 de pessoas acima de 60 anos por setor censitário.
- b. População infantil: Para esse estudo, foram utilizados os dados do Censo 2010 de pessoas de até 11 anos por setor censitário.
- c. População de rua: O presente estudo considera o indicador de população de rua utilizando dados da "Pesquisa Perfil e o Mundo dos Adultos em Situação de Rua de Porto Alegre, 2016" (Porto Alegre, 2016).

INDICADORES DE CAPACIDADE ADAPTATIVA

Para o fator de capacidade adaptativa, foram escolhidos os indicadores de: disponibilidade de água potável, acesso a parques e praças e renda. A escolha dos indicadores também está relacionada às propostas que ele pode trazer (ARSET, 2020), dito isso, escolheu-se por indicadores de capacidade adaptativa mais relacionados à prática de planejamento urbano e do espaço público.

A renda atua como um papel central na capacidade adaptativa da população, sendo pessoas mais pobres, mais vulneráveis e com maior mortalidade em eventos de onda de calor (Yardley et al., 2011; Rey et al., 2009). Além disso, a renda muitas vezes está relacionada com outros indicadores de capacidades adaptativas, como acesso a ar-condicionado e qualidade construtiva da residência, porém de difícil espacialização e com poucos dados disponíveis.

Isso explica o porquê de, assim como a idade, o indicador de renda ser um dos mais utilizado em IVC (Cheng, (2021); Szagri; Nagy; Szalay (2023); Bao; Li; Yu (2015) e Ellena et al., 2020)), com diferentes dados e recortes sendo utilizados para indicar renda.

Dentre outras formas de lidar com o calor está o acesso à água. Além de ser um direito básico, o acesso à água é crucial durante períodos de altas temperaturas, pois a hidratação é

essencial para prevenir colapsos no organismo e a água pode ser utilizada para reduzir a temperatura corporal e do ambiente.

Apesar de Porto Alegre apresentar cobertura de 99% de acesso à água (Brasil, 2023), ela enfrenta um histórico recorrente de comprometimento no abastecimento (baixa vazão ou interrupção temporária) durante o verão, especialmente nas regiões periféricas.

Dentre outros IVC (Szagri; Nagy; Szalay, 2023; Cheng et al. 2021; Ellena et al., 2020), somente aqueles realizados em países do sul global (Paquistão, Índia, Chile, Vietnã e Bangladesh) e um na Romênia, consideraram indicadores de acesso à água ou disponibilidade à água. Demonstrando a importância do contexto local na escolha dos indicadores.

Outra forma de adaptação é procurar locais mais frescos. As praças e parques com boas quantidades de vegetação são importantes espaços para mitigar o calor urbano, apresentando temperaturas mais baixas que o entorno (Johnson et al., 2009). Logo, o acesso a praças e parques ou áreas verdes é considerado um indicador de capacidade adaptativa.

O uso desse indicador não é consolidado na literatura, variando de 18% (Cheng et al., 2021) a 10% (Ellena et al., 2020; Szagri; Nagy; Szalay, 2023) dos estudos analisados. Todavia, é um dos itens mais relacionados às práticas de planejamento urbano.

- a. Disponibilidade de água: Para esse indicador foi utilizado o mapa de “Áreas críticas de abastecimento de água”¹, disponibilizado pela Prefeitura de Porto Alegre, sobreposto com a população (Censo, 2010) da área incidente da marcha, tendo como resultado a quantidade de pessoas que têm o abastecimento comprometido.
- b. Acesso a parques e praças: Para esse indicador foi realizada a sobreposição da população dentro da área de abrangência de 400 metros de parques e praças de Porto Alegre.
- c. Renda: Para o presente trabalho, utilizou o dado de “domicílios com rendimento domiciliar per capita até 1/2 salário-mínimo” do Censo 2010, por entender que esses domicílios apresentam menores capacidade de adaptação, como acesso a climatização ou habitações de menor qualidade construtiva.

3.2 RESUMO DO INDICADORES E FONTE DOS DADOS

O quadro 1 resume as informações apresentadas na seção, elencados os indicadores, dado utilizado, fonte e unidade espacial bruta.

Dados sociodemográficos normalmente são normalizados pela quantidade de pessoas afetadas, fazendo desse dado uma métrica de densidade (Johnson et al., 2014). Logo, os dados em mancha foram sobrepostos com os setores censitários, classificando se aquela população tinha ou não acesso, sendo o valor bruto, a ser posteriormente normalizado e classificado a quantidade de pessoas com o serviço.

Quadro 1: Síntese dos indicadores utilizados, suas fontes de dados e unidade espacial.

FATOR	INDICADOR	UNIDADE DE GRANDEZA	FONTE	UNIDADE ESPACIAL
Exposição	Temperatura Superficial	Temperatura (°C)	Landsat 8	Raster - 30m
	NDVI	-1 - 1	CBERS4A	Raster - 8m
Sensibilidade	Idosos	Pessoas (n) acima de 60 anos	Censo 2010	Setor censitário
	Crianças	Pessoas (n) entre 0 - 11 anos	Censo 2010	Setor censitário
	População sem teto	Pessoas (n) em situação de rua	Pesquisa Perfil e o Mundo dos Adultos em Situação de Rua de Porto Alegre, 2016	Bairro
Capacidade adaptativa	Acesso à água potável	Pessoas (n) com falta d'água	Censo 2010 e Dado municipal	Mancha
	Acesso a parques e praças	Pessoas (n) fora da abrangência de parques/praças	Censo 2010 e Dado municipal	Mancha de 400m do equipamento
	Renda	Domicílios com rendimento domiciliar per capita até 1/2 salário-mínimo	Censo 2010 e ObervaPoa	Bairro

Fonte: os autores.

3.3 HARMONIZAÇÃO DOS INDICADORES

Como demonstra o Quadro 01, os indicadores têm unidades de grandeza e unidades espaciais distintas. Para os indicadores serem somados, eles devem estar na mesma unidade espacial de análise logo, cada indicador passou por um processo de harmonização. O processo de harmonização proposto é uma adaptação do treinamento virtual "Sensoriamento Remoto para Medir a Ilha de Calor Urbano e construir Índices de Vulnerabilidade ao Calor" elaborado pelo Programa de Treinamentos de Sensoriamento Remoto da NASA (ARSET, 2020).

O primeiro passo do processo foi agrupar os indicadores por bairro. Esse processo se deu de duas formas. Para os indicadores raster foi utilizada a ferramenta do software Qgis que calcula a média dos valores do raster para uma camada vetorial sobreposta. Já os indicadores no setor censitário foram agrupados por bairros², somando os valores dos setores.

Inicia-se então a etapa de padronização dos dados. Utilizou-se a metodologia "Z-Score", determinando o quanto um valor se afasta da média em termos de desvio padrão. Isso ajuda a determinar a vulnerabilidade relativa de cada indicador, ao colocá-los na mesma grandeza de valores. Para calcular o z-scores, utiliza-se a seguinte equação:

$$Escore(z) = \frac{(valor - média)}{desvio padrão}$$

A última etapa foi a classificação dos resultados do z-escores entre 1- 6, conforme limites do Quadro 02. Os resultados foram classificados para todos os valores serem positivos e inteiro, uniformizando a grandeza do z-score para assim serem postos na mesma equação. O Indicador NDVI teve os resultados uniformizados ao contrário, uma vez que valores altos indicam presença de vegetação, logo uma menor exposição.

Quadro 02: Classificação dos resultados do z-escores.

z-score	Pontuação
$-2 < z$	1
$-2 < z > -1$	2
$-1 < z > 0$	3
$0 < z > 1$	4
$1 < z > 2$	5
$z > 2$	6

Fonte: os autores.

3.4 CALCULANDO INDICADORES

Após a harmonização dos valores, os indicadores foram somados dentre dos seus fatores, conforme as seguintes equações:

$$Exposição = LST + NDVI$$

$$Sensibilidade = População idosa + População infantil + População sem teto$$

$$Capacidade Adaptativa = Renda + Disponibilidade de água + Acesso à parques e praças$$

Como o fator de exposição tem um indicador a menos do que os demais fatores, o que a levaria a ter menos peso se fosse seguida a equação onde todos os fatores são somando, optou-se por multiplicar a exposição pelos demais fatores, o que atenuaria a disparidade de indicadores entre os fatores. Dessa forma, a exposição acaba agindo como um ponderador das demais variáveis. Esta proposta de ICV seguiu a presente equação:

$$Vulnerabilidade = Exposição * (Sensibilidade + Capacidade Adaptativa)$$

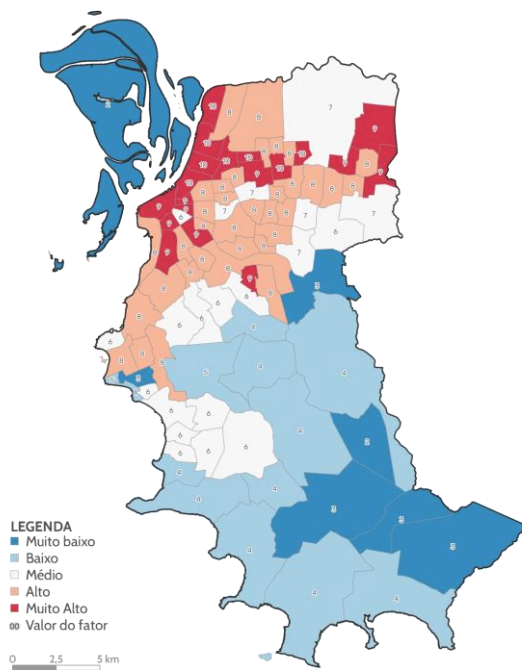
4. RESULTADOS DA APLICAÇÃO DO IVC EM POA

Esta seção traz os resultados do IVC aplicado à cidade de Porto Alegre. Primeiro será apresentado o resultado de cada fator e ao final o resultado do IVC. Os resultados e classificação dentro da matriz de risco, que vai de “Muito baixo” à “Muito alto”, foram realizados através do método de classificação de quebras naturais de Jenks, que agrupa os

dados visando reduzir a variação dentro de um mesmo grupo e aprofundar a variação entre grupos.

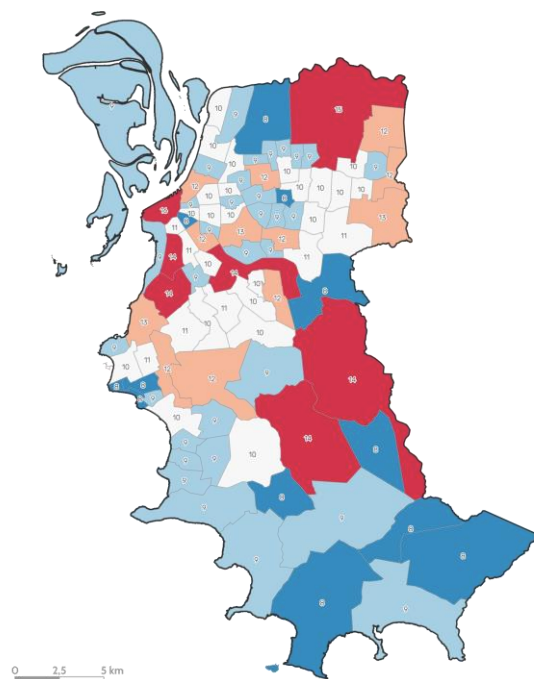
O fator de exposição (Figura 2) mostrou forte correlação com a ocupação urbana de Porto Alegre, apresentando maiores valores ao longo dos vetores de crescimento da cidade. As áreas mais urbanizadas e densas no centro exibem maior grau de exposição, que diminui gradativamente à medida que se afasta dessa região. Apenas dois bairros rompem esse padrão: Santa Rosa de Lima e Vila João Pessoa. Além disso, há um claro contraste entre o norte e o sul da cidade: enquanto a zona norte é mais urbanizada e frequentemente integrada aos centros de cidades vizinhas, a zona sul é mais arborizada e menos densamente ocupada, proporcionando um clima relativamente mais ameno.

Figura 2: Mapa do Fator de Exposição;



Fonte: os autores.

Figura 3: Mapa do Fator de Sensibilidade;



Fonte: os autores.

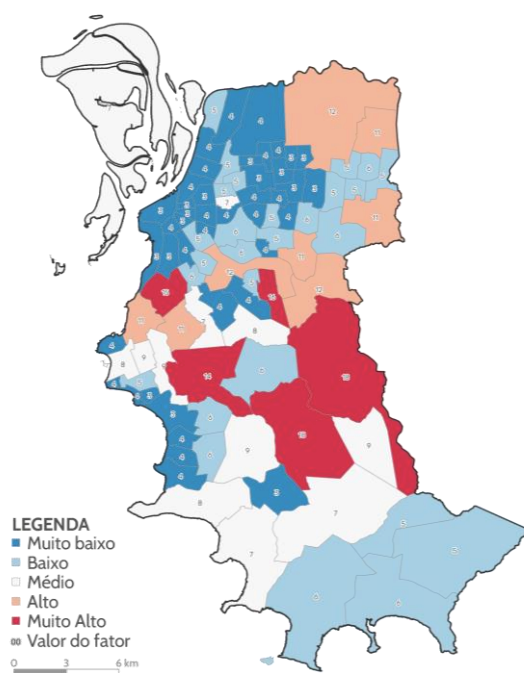
O fator de Sensibilidade (Figura 3) não apresenta padrão de distribuição homogêneo. Olhando os indicadores de forma individualizada é possível dizer que a população idosa é distribuída ao longo do território, a população infantil é maior em bairros mais periféricos e de menor renda, já a população sem teto concentra-se no bairro Centro Histórico e dispersa-se nos bairros adjacentes, ficando restrita a zona central. Logo, altos indicadores de sensibilidade foram encontrados em bairros que apresentavam indicadores individuais altos, sendo que esses seguiam distintos padrões de disposição.

O fator de Capacidade Adaptativa (Figura 4), embora não apresente uma distribuição homogênea no território, revela uma forte relação com a população de menor renda. Essas

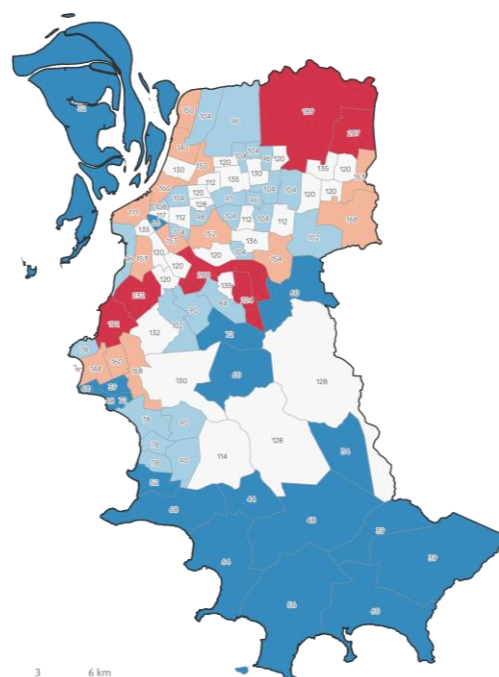
comunidades geralmente estão localizadas em áreas com menor oferta de serviços urbanos, possuem acesso limitado a áreas verdes de qualidade e enfrentam maiores dificuldades devido ao abastecimento de água intermitente, o que reduz significativamente sua capacidade de lidar com os impactos do calor extremo.

Figura 4: Mapa do Fator de Capacidade Adaptativa;

Figura 5: Mapa de IVC;



Fonte: os autores.



Fonte: os autores.

Como resultado do IVC (Figura 5), os bairros mais vulneráveis ao calor em Porto Alegre foram: Santa Tereza, Vila São José, Partenon, Santa Rosa de Lima, Cristal e Sarandi. Esses resultados são coerentes com o apontamento de Ellena et al. (2020), que reforça que a vulnerabilidade não é apenas um reflexo das condições climáticas, mas é produzida na e pela sociedade. Esse conceito é evidenciado nos seis bairros classificados com vulnerabilidade “Muito Alta”, nenhum dos quais possui padrões de renda alta ou média, reforçando a relação entre baixa renda e maior vulnerabilidade ao calor.

Comparando-se com o único estudo sobre o tema no Brasil (Lapola, 2019), que também calculou/aplicou um IVC em Porto Alegre e para outras cinco capitais brasileiras, verifica-se que os resultados obtidos com o IVC desenvolvido neste artigo foram significativamente diferentes daqueles encontrados pelos autores.

Lapola (2019) identificou, nos resultados, dois tipos diferentes de cidades: (1) cidades onde a maior vulnerabilidade está localizada, na maioria dos casos, em zonas abastadas (com Índice

de Desenvolvimento Humano relativamente alto) e áreas amplamente habitadas por idosos. Esse seria o caso de São Paulo, Curitiba, Porto Alegre e Vitória; e (2) cidades onde as zonas altamente vulneráveis são invariavelmente bairros pobres, geralmente locais de ocupação irregular antigos, que tiveram tempo para acumular uma população idosa considerável, como Manaus e Natal.

Os resultados de Lapopa (2019) não são corroborados pelos da presente pesquisa, que identificou que os bairros de menor renda são mais vulneráveis ao calor. Essa contradição de resultados, provavelmente, reflete as diferentes opções metodológicas para composição dos IVCs e, particularmente, os diferentes pesos atribuídos aos diferentes indicadores. Assim, ressalta-se a importância de se desenvolver mais estudos que discutam a validade e implicações dos diferentes métodos para composição de IVCs no contexto brasileiro. Isso é particularmente relevante tendo em vista que esses índices têm sido incorporados a ferramentas de planejamento urbano para adaptação às mudanças climáticas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo busca preencher a lacuna de conhecimento identificada e, à luz do contexto apresentado, propõe um método de IVC adaptado à realidade de uma metrópole brasileira, além de discutir as implicações decorrentes de diferentes escolhas metodológicas. O município de Porto Alegre, no Rio Grande do Sul, foi selecionado como caso empírico por dois motivos principais. A abordagem adotada baseia-se na pesquisa construtiva (Design Science Research - DSR) e segue um método dividido em três etapas. A primeira etapa envolve a compreensão do problema, tanto do ponto de vista teórico quanto prático, por meio de revisão bibliográfica e análise do contexto da pesquisa. A segunda etapa consiste no desenvolvimento do IVC, ajustado ao contexto específico dos municípios de metrópoles brasileiras. Por fim, na terceira etapa, o método é avaliado por meio da aplicação dos resultados obtidos anteriormente ao contexto de Porto Alegre (POA).

No que se refere aos resultados da aplicação do IVC em POA, os bairros identificados como mais vulneráveis ao calor em Porto Alegre foram aqueles padrões de renda baixa. Esses resultados estão alinhados com as observações de Ellena et al. (2020), que destacam que a vulnerabilidade não se limita às condições climáticas, mas é uma construção social.

Os resultados desta pesquisa diferem daqueles produzidos pelo único estudo sobre o tema no Brasil (Lapola, 2019), ao identificar os bairros de menor renda como os mais vulneráveis ao calor. Essa divergência reflete, possivelmente, diferenças metodológicas na composição dos IVCs, especialmente na atribuição de pesos aos indicadores. Assim, como desenvolvimentos futuros, destaca-se a necessidade de mais estudos sobre a validade e as implicações dos métodos utilizados, visto o uso crescente desses índices em ferramentas de planejamento urbano para adaptação às mudanças climáticas.

Em resumo, este estudo revelou que, apesar dos avanços na compreensão das dinâmicas entre a exposição ao calor e seus impactos na saúde, ainda é preciso aprofundar a pesquisa para integrar esses fatores às características do ambiente construído. As evidências levantadas podem subsidiar a criação de “conjuntos de indicadores prontos para uso” ou ferramentas que auxiliem políticas locais de adaptação, fornecendo suporte para análise de risco, definição de estratégias e monitoramento eficaz da implementação, desde que respeitem as especificidades locais e contem com dados adequados para os indicadores.

REFERÊNCIAS

ALDRICH, N.; BENSON, W. F. Disaster preparedness and the chronic disease needs of vulnerable older adults. *Preventing Chronic Disease*, v. 5, n. 1, 2008.

BAO, J.; LI, X.; YU, C. The Construction and Validation of the Heat Vulnerability Index, a Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, [s. l.], v. 12, n. 7, p. 7220–7234, 2015.

ARSET - Satellite Remote Sensing for Measuring Urban Heat Islands and Constructing Heat Vulnerability Indices. NASA Applied Remote Sensing Training Program (ARSET). 2022. Disponível em: <http://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/english/arset-satellite-remote-sensing-measuring-urban-heat-islands-and>. Acesso em: 20 out. 2024.

BRASIL. Ministério das Cidades. Diagnóstico Temático – Visão Geral do SNIS: Água e Esgoto 2023. Disponível em: https://www.gov.br/cidades/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/produtos-do-snis/diagnosticos/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2023.pdf. Acesso em: 20 out. 2024.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade). Brasília, DF: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2020.

CAI, Z.; TANG, Y.; CHEN, K.; HAN, G. Assessing the heat vulnerability of different local climate zones in the old areas of a Chinese megacity. *Sustainability*, v. 11, n. 7, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su11072032>.

CHAPMAN, S.; WATSON, J. E. M.; SALAZAR, A. et al. The impact of urbanization and climate change on urban temperatures: a systematic review. *Landscape Ecology*, v. 32, p. 1921–1935, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10980-017-0561-4>.

CHENG, W. *et al.* Approaches for identifying heat-vulnerable populations and locations: A systematic review. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 799, p. 149417, 2021.

CONLON, K. C. *et al.* Mapping Human Vulnerability to Extreme Heat: A Critical Assessment of Heat Vulnerability Indices Created Using Principal Components Analysis. **Environmental Health Perspectives**, [s. l.], v. 128, n. 9, p. 097001, 2020.

DANKS, D.M., WEBB, R.W., ALLEN, J., Heat illness in infants and Young children. *Br. Med. J.* 2 (5300), 287–293. 1962. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.2.5300.287>.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel P.; JÚNIOR, José A. V. A. **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Boookman Editora, 2015.

ELLENA, M.; BREIL, M.; SORIANI, S. The heat-health nexus in the urban context: A systematic literature review exploring the socio-economic vulnerabilities and built environment characteristics. **Urban Climate**, [s. l.], v. 34, p. 100676, 2020.

EPA (United States Environmental Protection Agency). Urban Heat Island Effect. Disponível em: <https://www.epa.gov/heatislands>.

ESTOQUE, R.C., et al. Has the IPCC's revised vulnerability concept been well adopted?. **Ambio** 52, 376–389. 2023. DOI: 10.1007/s13280-022-01806-z

FARRELL, M.J., ET AL. Effect of aging on regional cerebral blood flow responses associated with osmotic thirst and its satiation by water drinking: A PET study. **Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.** 105 (1), 382 –387. 2008. DOI: doi.org/10.1073/pnas.0710572105.

FERREIRA, L.; DUARTE, D.; GIULIO, G. Ondas de calor e adaptação: um alerta para os instrumentos de planejamento e ordenamento territorial. [s. l.], v. 7, p. 14–17, 2024.

FRITZSCHE, K et al. **The Vulnerability Sourcebook: Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments**. 2014.

GALLO, E.; QUIJAL-ZAMORANO, M.; MÉNDEZ TURRUBIATES, R. F. et al. Heat-related mortality in Europe during 2023 and the role of adaptation in protecting health. **Nature Medicine**, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41591-024-03186-1>.

GARCIA, Beatriz N. **Caracterização de ondas de calor no Brasil e seus impactos na saúde humana nas últimas décadas**. Monografia (Graduação em Meteorologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

GRUBENHOFF, J.A., DU FORD, K., ROOSEVELT, G.E., Heat-Related Illness. *Clin. Pediatr. Emerg. Med.* 8 (1), 59 –64. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cpem.2007.02.006>.

HANSEN, A., BI, P., NITSCHKE, M., PISANIELLO, D., NEWBURY, J., KITSON, A.,. Perceptions of heat-susceptibility in older persons: barriers to adaptation. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 8 (12), 4714–4728. 2011. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph8124714>.

HARTINGER, S. M. *et al.* The 2022 South America report of The Lancet Countdown on health and climate change: trust the science. Now that we know, we must act. **The Lancet Regional Health – Americas**, [s. l.], v. 20, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.lana.2023.100470>. Acesso em: 14 out. 2024.

HEAVISIDE, C.; MACINTYRE, H.; VARDOULAKIS, S. The Urban Heat Island: Implications for Health in a Changing Environment. **Current Environmental Health Reports**, v. 4, n. 3, p. 296–305, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40572-017-0150-3>.

IPCC. **Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, ed. J.J. McCarthy, et al.. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 2001.

IPCC. **Summary for Policymakers**. In *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, ed. C.B. Field, et al.. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. 2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2022** - Prévia da População dos Municípios com base nos dados do Censo Demográfico 2022. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

JOHNSON, D.P., WILSON, J.S., LUBER, G.C.,. Socioeconomic indicators of heat-related health risk supplemented with remotely sensed data. **Int. J. Health Geogr.** 8, 57. 2009. DOI: doi.org/10.1186/1476-072X-8-57.

JOHNSON, D.P., WEBBER, J.J., RAVICHANDRA, K. URS BEERVAL, LULLA, V., STANFORTH, A.C.,. Spatiotemporal variations in heat-related health risk in three Midwestern US cities between 1990 and 2010. **Geocarto Int.** 29 (1), 65 –84. 2014. DOI: doi.org/10.1080/10106049.2013.799718.

KASSANEN, E; LUKKA, K; SIITONEN, A. The Tonstructive Research approach in Management Accounting. *Journal of Management Accounting Research*. V. 5, 1993.

LAPOLA, D. M. *et al.* Heat stress vulnerability and risk at the (super) local scale in six Brazilian capitals. **Climatic Change**, [s. l.], v. 154, n. 3–4, p. 477–492, 2019.

MARCH, S.T. STOREY, V.C. Design Science in the Information Systems Discipline: An Introduction to the Special Issue on Design Science Research. **MISQuarterly**, 32(4), 725-730. 2008

METSUL METEOROLOGIA. Como o clima de Porto Alegre se transformou em 100 anos. Metsul, 15 set. 2023. Disponível em: <https://metsul.com/como-o-clima-de-porto-alegre-se-transformou-em-100-anos/>. Acesso em: 20 out. 2024.

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, p. e0295766, 24 jan. 2024.

McHARG, I. L. **Design with Nature**. New York: American Museum of Natural History, 1969.

OLIVEIRA, S.; ANDRADE, H.; VAZ, T. The cooling effect of green spaces as a contribution to the mitigation of urban heat: A case study in Lisbon. **Building and Environment**, [s. l.], v. 46, n. 11, p. 2186-2194, 2011.

PAZ, M. *et al.* Vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas em cidades brasileiras. *In*: CONSTRUINDO SUSTENTABILIDADE EM CONTEXTOS URBANOS. São Paulo, SP: Wanda Maria Risso Günther; Arlindo Philippi Jr, 2023. p. 27-54. Disponível em: DOI 10.11606/9786588304105.

PORTO ALEGRE. Cadastro e mundo da população adulta em situação de rua de Porto Alegre/RS – 2016. Porto Alegre: FASC, 2016. Disponível em: https://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/fasc/usu_doc/cadastro_e_mundo_da_populacao_adulta_em_situacao_de_rua_de_porto_alegre_rs_2016.pdf. Acesso em: 20 out. 2024.

PRESTON BL, YUEN EJ, WESTAWAY RM .. Putting vulnerability to climate change on the map: a review of approaches, benefits, and risks. **Sustain Sci** 6(2):177-202. 2011. DOI: 10.1007/s11625-011-0129-1

RIO GRANDE DO SUL. Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul. 5. ed. Porto

Alegre: Secretaria de Planejamento, Governança e Gestão, 2020.SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**. Tradução de Wainer da Silveira e Silva. São Paulo: McGraw-Hill, Makron, 1991.

REY, G., ET AL.,. Heat exposure and socio-economic vulnerability as synergistic factors in heat-wave-related mortality. *Eur. J. Epidemiol.* 24 (9), 495-502. 2009. DOI: doi.org/10.1007/s10654-009-9374-3.

RINNER, C., PATYCHUK, D., BASSIL, K., NASR, S., GOWER, S., CAMPBELL, M.,. The role of maps in neighborhood-level heat vulnerability assessment for the City of Toronto. *Cartogr. Geogr. Inf. Sci.* 37 (1), 31 –44. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1559/152304010790588089>.

STONE, et al., Avoided heat-related mortality through climate adaptation strategies in three US cities. **PLoS One** 9 (6). 2014. DOI: 10.1371/journal.pone.0100852.

SUL21. Carlos Nobre: “Não evoluímos para suportar o clima que estamos levando ao planeta”. Sul21, 16 ago. 2024. Disponível em: <https://sul21.com.br/noticias/meio-ambiente/2024/08/carlos-nobre-nao-evoluimos-para-suportar-o-clima-que-estamos-levando-ao-planeta/>. Acesso em: 11 nov. 2024.

SZAGRI, D.; NAGY, B.; SZALAY, Z. How can we predict where heatwaves will have an impact? – A literature review on heat vulnerability indexes. **Urban Climate**, [s. l.], v. 52, p. 101711, 2023.

VOORHEES, A. S. *et al.* Climate Change-Related Temperature Impacts on Warm Season Heat Mortality: A Proof-of-Concept Methodology Using BenMAP. **Environmental Science & Technology**, [s. l.], v. 45, n. 4, p. 1450–1457, 2011.

WOLF, T.; CHUANG, W.-C.; MCGREGOR, G. On the Science-Policy Bridge: Do Spatial Heat Vulnerability Assessment Studies Influence Policy?. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 12, n. 10, p. 13321–13349, 2015.

YARDLEY, J., SIGAL, R.J., KENNY, G.P.,. Heat health planning: The importance of social and community factors. *Glob. Environ. Chang.* 21 (2), 670–679. 2011. DOI: doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.11.010.

NOTAS DE FIM:

¹.https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1b75l4Em4iiL8ITvmQx7SSuxamg_thqj&ll=-30.08974802214401%2C-51.17379538908847&z=12

² Os setores censitários não respeitam os limites de todos os bairros de Porto Alegre. Para setores que estavam entre dois bairros, estipulou-se o bairro a que pertencia.