Revista Brasileira de Climatologia
ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

AVALIAÇÃO DE TENDÊNCIA NAS ONDAS DE CALOR REGISTRADAS EM MANAUS/AM, BRASIL

MANDÚ, Tiago Bentes - tiagobentes1@gmail.com
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais / INPE

GOMES, Ana Carla dos Santos - anacarlasg02@gmail.com
Universidade Federal do Oeste do Pará / UFOPA

COSTA, Gabriel Brito - gabrielbritocosta@gmail.com
Universidade Federal do Oeste do Pará / UFOPA

NEVES, Theomar Trindade de Araujo Tiburtino - neves.theomar@gmail.com
Universidade Federal do Oeste do Pará / UFOPA

Submetido em: 21/05/2020
Aceito para publicação em: 11/06/2020
Publicado em: 17/08/2020
DOI: http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.73931

RESUMO: As Ondas de Calor (OC) são caracterizadas como um período prologado de calor excessivo, trata-se de evento climático extremo que representa elevados riscos a diversos segmentos da sociedade. Este trabalho teve como objetivo avaliar tendência nas características das OC registradas em Manaus/AM. Foram utilizados dados diários de temperatura máxima do ar para o período de 1970 a 2019, obtidos a partir da estação meteorológica convencional situada na região metropolitana do município. A identificação das OC foi realizada a partir dos índices CTX90pct e GDE, e os testes de Mann-Kendall (MK), teste de Pettitt (TP), e Estimador de Tendência de Sen (Se) foram empregados para avaliar as possíveis tendências. Os resultados apontam que as quatro características das OC apresentaram tendência de aumento com significância estatística a 1%, com os maiores valores observados na análise anual. O TP indica que esse aumento teve início entre 1996 e 2002, e o Se assinala diferença na magnitude tanto entre as características quanto entre as estações do ano. Constatou-se um aumento progressivo nas ondas de calor registradas em Manaus, o que ressalta a importância da implementação de políticas públicas que busquem reduzir os impactos deste aumento na população.

PALAVRAS-CHAVE: Amazônia, Eventos climáticos extremos, Estatística não paramétrica.

TREND ASSESSMENT OF HEATWAVES IN MANAUS, BRAZIL

ABSTRACT: Heatwaves (HW) are characterized as a period of excessive heat, it is an extreme climatic event that poses high risks to the various segments of society. This study aimed to evaluate trends in the characteristics of HW recorded in Manaus/AM. Daily data of maximum air temperature were used for the period from 1970 to 2019, obtained from the conventional meteorological station located in the metropolitan region of the municipality. The identification of the HW was performed from the CTX90pct and GDE indices, and the Mann-Kendall (MK), Pettitt test (PT), and Sen Trend Estimator (Se) tests were used to evaluate possible trends. The results indicate that the four characteristics of the HW presented an increase with statistical significance to 1%, with the highest values observed in the annual analysis. The PT indicates that this increase started between 1996 and 2002, with the Se pointing out a difference in magnitude both the characteristics and between the seasons. There was a progressive increase in the heat waves recorded in Manaus, which highlights the importance of implementing public policies that seek to reduce the impacts of this increase on the population.

KEYWORDS: Amazon rainforest, extreme weather events, non-parametric statistics

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

EVALUACIÓN DE TENDENCIAS EN OLAS DE CALOR REGISTRADAS EN MANAUS, BRASIL

RESUMEN: Las olas de calor (OC) se caracterizan como un período de calor excesivo, es un evento climático extremo que plantea altos riesgos para los diversos segmentos de la sociedad. Este estudio tenía como objetivo evaluar las tendencias en las características de los OC registrados en Manaos/AM. Los datos diarios de temperatura máxima del aire se utilizaron para el período de 1970 a 2019, obtenidos de la estación meteorológica convencional ubicada en la región metropolitana del municipio. La identificación de los OC se realizó a partir de los índices CTX90pct y GDE, y se utilizaron las pruebas Mann-Kendall (MK), Pettitt test (PT) y Sen Trend Estimator (Se) para evaluar posibles tendencias. Los resultados indican que las cuatro características de las OC presentaron un aumento con significancia estadística del 1%, con los valores más altos observados en el análisis anual. El PT indica que este aumento comenzó entre 1996 y 2002, con el Se señalando una diferencia de magnitud tanto entre las características como entre las estaciones. Hubo un aumento progresivo de las olas de calor registradas en Manaos, lo que pone de relieve la importancia de implementar políticas públicas que buscan reducir los impactos de este aumento en la población.

KEYWORDS: Amazon, eventos meteorológicos extremos, estadística no paramétrica

INTRODUÇÃO

Os eventos climáticos extremos são condições incomuns de tempo que causam vários impactos negativos aos ecossistemas marinhos e terrestres (STOTT et al., 2013; KONG et al., 2020). Dentre estes eventos, destacam-se as Ondas de Calor (OC) que de acordo com Perkins et al. (2012) não possuem uma definição universal, podendo ser caracterizadas como um período de alguns dias consecutivos onde a temperatura do ar é mais elevada do que o esperado. Atualmente, existe uma demanda local e global para entender e caracterizar as OC, uma vez que esse fenômeno exerce influência em diversos ramos da sociedade, como a saúde humana, economia, infraestrutura e atividades agrícolas (GEIRINHAS et al., 2017; SHIVA et al., 2019).

De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas, devido as mudanças climáticas (MC), em diversas regiões do planeta é possível observar que dias e noites quentes estão se tornando mais frequentes e intensos (IPCC, 2007). Segundo Rusticucci (2012), dentro da comunidade científica há um amplo consenso de que os efeitos mais perigosos das alterações no clima global estão relacionados aos eventos climáticos extremos. Estudos recentes mostram que as ondas de calor tem se tornado cada vez mais frequentes, intensas e duradouras em diversos países, esses autores assinalam que esse aumento pode estar relacionado com as MC, com o processo de urbanização e uso e cobertura do solo (RUSTICUCCI et al., 2016; SHIVA et al., 2019; QIU & YAN, 2020). No Brasil, Bitencourt et al. (2020) mostram que esse aumento já pode ser observado em todas as regiões do país, com o início concentrado após o início deste século.

Geirinhas et al. (2017) assinalam que enquanto no Hemisfério Norte (HN) existem diversos estudos que abordam a caracterização e os impactos das ondas de calor, na América do Sul (AS), em particular no Brasil estas pesquisas ainda são escassas, não conseguindo abranger a larga extensão territorial do país. Rusticucci et al. (2016) apontam que estudos emergentes que busquem entender os mecanismos dinâmicos e termodinâmicos das mudanças em extremos de temperatura são vistos no HN, pesquisas similares ainda são poucas na AS. Segundo Kirtman et al. (2013), mudanças na ocorrência, duração e intensidade das OC na AS ainda são incertas principalmente pela ausência de

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

estudos e disponibilidade de dados, no entanto, os modelos climáticos mostram que esse aumento já pode ser observado.

De acordo com Yevjevich (1972), tendência em uma série temporal de dados pode ser definida como uma mudança contínua e sistemática nos parâmetros de uma amostra, onde se exclui mudanças periódicas e quase periódicas, para estudos em séries temporais climáticas recomenda-se que o conjunto de dados tenha no mínimo 30 anos consecutivos. A análise de tendências permite avaliar se é observada alteração diferente da variabilidade natural do clima, indicando mudança temporal (BACK, 2001). Essa analise pode ser realizada a partir de testes estatísticos de hipótese, que visam avaliar se os resultados apresentam significância estatística a fim de validar os resultados obtidos (LEVINE & WILKS, 2000).

O efeito das ondas de calor é muito maior em grandes cidades, uma vez que a urbanização muitas vezes substitui áreas vegetadas por superfícies rígidas como concreto, que faz com que haja diminuição na evapotranspiração, o que reduz o resfriamento natural do solo (GHOBADI et al., 2018). Oliveira et al. (2008) assinalam que o efeito da alteração na cobertura do solo por urbanização e desmatamento na variabilidade da temperatura do ar em Manaus foi superior ao causado por oscilações como o El-Niño Oscilação Sul. Mandú & Gomes (2019) observaram um progressivo aumento no desconforto térmico humano na cidade de Manaus, e pode estar relacionado a umidade e a precipitação, fatores também mencionados por Oliveira et al. (2008).

Nessa perspectiva, o presente estudo tem como objetivo avaliar a tendência anual e sazonal das características das ondas de calor registradas na cidade de Manaus nos últimos 50 anos. Este município foi escolhido por ser o maior centro urbano da região Norte e um dos maiores do Brasil, além de se ter observado a ausência de estudos sobre a temática na região.

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi conduzido na cidade de Manaus, capital do estado do Amazonas, cujo a localização geográfica é apresentada na Figura 1. De acordo com as estimativas populacionais realizadas em 2019 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Manaus possui população superior a 2,1 milhões de habitantes, o que faz com que ela seja a cidade com maior contingente populacional da região Norte do Brasil, representando mais de 11% da população da região (IBGE, 2020). O regime pluviométrico de Manaus é dividido em dois períodos, um chuvoso que compreende os meses de dezembro a abril, e outro menos chuvoso de junho a outubro, com maio e novembro demarcando as transições (FISCH et al., 1998).

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

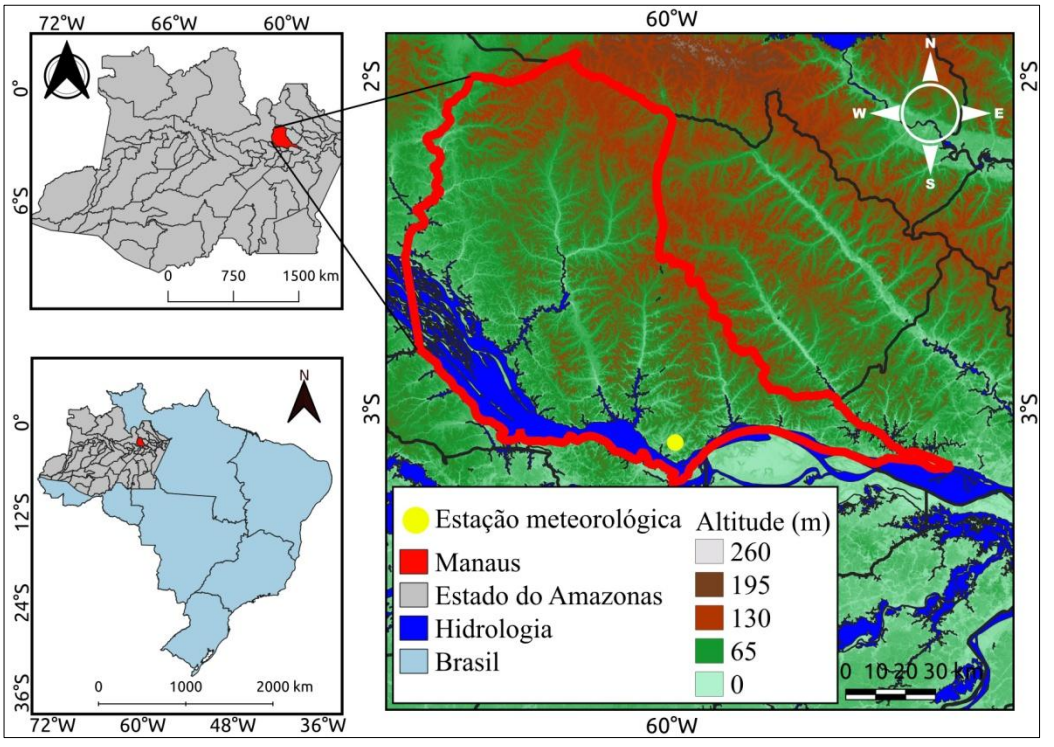

Figura 1 – Localização geográfica da área de estudo. Fonte: IBGE (2020), adaptado pelos autores. O mapa de elevação foi criado a partir da versão 4 do banco de dados CGIAR-CSI SRTM.

DADOS

Utilizou-se dados diários de temperatura máxima do ar, disponibilizados pelo Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Esses registros foram obtidos a partir de medições da estação meteorológica convencional número 82331 situada na região metropolitana de Manaus (60,01W, 3,1°S). A operação desta estação teve início em janeiro de 1910 e ela segue em operação até os dias de hoje, com registros disponíveis no BDMEP a partir de 1961. No presente estudo, considerou-se o período de 01 de janeiro de 1970 a 31 de dezembro de 2019, totalizando 18.262 dias, ou seja, 50 anos. Destes, 702 dias apresentam ausência de dados, representando 3,8% do total de registros. Destaca-se que as estações do ano consideradas neste estudo foram definidas para o intervalo de dias de cada estação para cada ano.

IMPUTAÇÃO MÚLTIPLA VIA MICE

Diante da ausência dos dados mencionada anteriormente, foi realizada a imputação múltipla via *Multivariate Imputation by Chained Equations* (MICE) para preencher estes registros faltantes. O MICE é uma metodologia estatística baseada no amostrador de Gibbs, uma técnica de simulação Bayesiana onde as distribuições condicionais dos dados são utilizadas para obter amostras de distribuição conjunta a fim de gerar múltiplas imputações para inferir dados onde anteriormente haviam falhas (VAN BUUREN & GROOTHUIS-OUDSHOORN,

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

2011). A escolha desta metodologia é baseada no desempenho satisfatório que o MICE apresentou na imputação de registros meteorológicos, observada em estudos anteriores como o de Moura et al. (2014), Cabral-Júnior et al. (2019), e Alves & Gomes (2020).

Dentre as técnicas de imputação disponíveis no MICE, optou-se pelo método da Média Preditiva Correspondente (MPC). De acordo com Li et al. (1991) é uma alternativa do modelo de regressão linear, que determina um valor a partir do modelo de regressão mais próximo do valor observado, utilizando os registros existentes. Vink et al. (2014) assinalam que a MPC é uma abordagem estatística robusta, uma vez que combina elementos da regressão linear, reduzindo assim a variabilidade e melhora as estimativas. O cálculo da MPC para cada dado faltante *i* em *Y* pode ser obtido a partir da equação 1 contida em Lopo et al. (2014).

$$\hat{Y}^{obs}=\{Y_i^{obs}=X'_i\beta^*;i\in obs(Y)\} \quad (1)$$

Onde X é a variável sem ausência de dados, $\hat{Y}^{obs}$ o grupo de valores observados, e $Y_i^{obs}=X'_i\beta^*$ que obtém Y_i^{obs} como observação mais próxima.

IDENTIFICAÇÃO DAS ONDAS DE CALOR

A identificação das ondas de calor será realizada a partir do índice CTX90pct, metodologia que já foi anteriormente utilizada no Brasil por Geirinhas et al. (2018). No CTX90pct, os eventos de OC são considerados quando 3 dias consecutivos ou mais apresentam temperatura máxima do ar acima do percentil 90, onde se calcula um percentil 90 para cada dia do ano, centrado o dia em questão em uma janela temporal (média móvel) de 15 dias. Assim, se tem um valor de percentil diferente para todos os dias do ano, considerando assim o ciclo sazonal (PERKINS et al., 2012). O CTX90pct não fornece informações de intensidade das OC, por isso o índice Graus-Dias de Excedência (GDE) será utilizado para avaliar essa característica. De acordo com Díaz et al. (2006), o GDE expressa a soma de temperatura excedente baseada no CTX90pct durante a duração do episódio de OC. No presente estudo, serão avaliados de forma anual e sazonal, considerando as estações austrais do ano, para os quatro aspectos principais das OC segundo Steffen et al. (2014), i) Ocorrência: número total de OC registradas, ii) Frequência: quantidade de dias do ano/estação que estiveram em OC, iii) Duração: quantidade de dias que durou cada OC, e iv) Intensidade: soma da temperatura do ar que esteve acima do esperado durante a OC.

TESTES DE MANN-KENDALL, PETTITT E ESTIMADOR DE TENDÊNCIA DE SEN

A avaliação estatística da tendência das características das ondas de calor, foi realizada pelos testes de Mann-Kendall, Pettitt e Estimador de Tendência de Sen, conforme metodologia adotada por Mandú & Gomes (2019).

Teste de Mann-Kendall (MK) – A análise de possíveis tendências foi realizada a partir do teste estatístico de Mann-Kendall (MK) que é um teste não paramétrico que não exige pressupostos sobre a distribuição dos dados utilizados, o que faz com essa metodologia seja constantemente utilizada em

estudos meteorológicos (MANN, 1945; KENDALL, 1957). Neste estudo, o MK será utilizado para avaliar alterações na ocorrência, frequência, duração e intensidade média das OC anual e sazonal. Shadmani (2012) descrevem o MK baseado na estatística S obtida a partir das equações 2, 3, 4, 5 e 6.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} \text{sgn}\ (X_j - X_i) \tag{2}$$

$$\text{sgn}\ (X_j - X_i) = \begin{cases} +1 \text{ se} (X_j - X_i) > 0 \\ 0 \text{ se} (X_j - X_i) = 0 \\ -1 \text{ se} (X_j - X_i) < 0 \end{cases} \tag{3}$$

$$\text{Var}(S) = \frac{1}{18}\left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^{1} t_p(t_p - 1)(2t_p+5) \right] \tag{4}$$

q é o número de grupos ligados; t_p é o número de dados no grupo p. Considerando a hipótese nula (H_o) e a ausência de q, Var(S) pode ser escrita como:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \tag{5}$$

A estatística S se aproxima a uma distribuição normal, permitindo utilizar uma transformação Z:

$$Z_{mk} = \begin{cases} \dfrac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \text{se } S > 0 \\ 0 \text{ se } S = 0 \\ \dfrac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \text{se } S > 0 \end{cases} \tag{6}$$

Em que X_ie $X_j$são os valores sequenciais da série temporal nos anos i e j, e n expressa o comprimento da série temporal. Considerando o intervalo de confiança de 1% (α<0,01), o MK aponta uma tendência estatisticamente significativa quando -2,576 ≤ Z_{mk} ≥ 2,576, onde Z_{mk} positivo indica um aumento e Z_{mk} negativo aponta uma redução temporal (SILVEIRA et al., 2017).

Teste de Pettitt (TP) – O teste de Pettitt (TP) é um teste não paramétrico que é utilizado para detectar o momento em que uma série temporal apresenta mudança caso seja verificada a presença de tendência (PETTITT, 1979). No presente estudo o TP será adotado para avaliar o ano de alteração na análise anual e sazonal quando MK apontar tendência estatisticamente significativa, considerando o nível de significância de 1%. De acordo com Liu & Zhang (2013), o TP é baseado na estatística de Mann-Whitney ($U_{t,\,N}$, onde duas amostras x_1,..., x_te x_{t+1},..., x_N, são testadas a fim de verificar se elas são ou não oriundas da mesma população. A estatística $U_{t,\,N}$ é definida pelas equações 7, 8 contidas em Uliana et al. (2015).

$$U_{t,\,N} = U_{t\,-\,1,\,N} + \sum_{j=1}^{N} \text{sgn}\ (X_i - X_j) \tag{7}$$

Para t = 1, 2, 3, ..., N:

$$sgn = (x)\begin{cases}1 \text{ se } x > 0\\ 0 \text{ se } x=0\\ -1 \text{ se } x<0\end{cases} \quad (8)$$

A estatística do teste conta o número de vezes que o valor da primeira amostra excede o valor da segunda, considerando como hipótese nula (H_1) a ausência de ponto de mudança no decorrer da série de dados. O $k_{(T)}$ é o ponto de mudança t significativo, o valor de $|U_{t,N}|$ é o máximo que está associado a um nível de significância p obtido a partir das equações 9 e 10.

$$k_{(T)} = máx_{1 \le t \le N} |U_{t,N}| \quad (9)$$

$$p \cong 2\exp\left(\frac{-6(K_N)^2}{N^3+N^2}\right) \quad (10)$$

p = nível de significância;

K_N = valor crítico;

N = número de registros da série histórica considerada.

Estimador de Tendência de Sen (Se) – A magnitude das tendências foi avaliada a partir do Estimador de Tendência de Sen (Se), um teste não-paramétrico que permite avaliar a inclinação baseado na mediana de uma série de dados univariados (SEN, 1968). Se pode ser calculado para n pares de dados utilizando as equações 11 e 12 contidas em Natividade et al. (2017):

$$f_t = Q_t + B \quad (11)$$

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j-k} \quad (12)$$

Onde i = 1, ..., n, x_j e x_k são os valores dos dados nos tempos j e k (j > k). Ordenando os valores de Q_i do maior para o menor, Se é calculado por $Q_{med} = Q_{i[(n+1)/2]}$ quando n é um número ímpar e $Q_i = \frac{Q_{[n/2]} + Q_{[(n+2)/2]}}{2}$ quando n é par. De acordo com Salmi et al. (2002), a unidade de medida do Se pode ser expressa na unidade na origem, sendo adimensional para a ocorrência, dias para frequência e duração média, e graus Celsius (°C) para a intensidade média.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As características decenais das ondas de calor analisadas durante os 50 anos de estudo estão contidas na Tabela 1. Foram registrados 225 episódios, nota-se que nas duas últimas décadas (2000-2009 e 2010-2019) em todos os anos foram observados eventos de ondas de calor, com 87,8% do número total de eventos registrados neste período. Referente a frequência, foi constatada uma diferença de 567 dias entre a primeira (1970-1979) e a última (2010-2019), o que mostra um expressivo aumento no número de dias por década deste fenômeno. Também é possível observar este aumento na duração, com durabilidade superior a 4 dias e intensidade média decenal superior a 12 °C

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

somente nas décadas de 2000-2009 e 2010-2019.

Tabela 1 – Características decenais das ondas de calor observadas na cidade de Manaus.

Décadas	Quantidade de anos que registraram eventos	Ocorrência (% de eventos)	Frequência (dias)	Duração média (dias)	Intensidade média (°C)
1970-1979	2	3 (1,3%)	9	3,0	8,1
1980-1989	5	13 (5,8%)	58	3,8	11,4
1990-1999	5	12 (5,3%)	45	3,4	10,3
2000-2009	10	74 (32,9%)	334	4,3	12,8
2010-2019	10	123 (54,7%)	576	4,6	13,3

Na Figura 2A é ilustrado o comportamento anual das ondas de calor observadas em Manaus. Com 32 dos 50 anos com registros de OC, representando 64,0% dos anos analisados, o período de 23 anos (1997-2019) apresentando eventos em todos os anos, comportamento que não foi observado em nenhum outro momento do período em estudo. A duração média anual apresenta média de 4,5 dias, com 1971,1976, 1980-1981, 1985, 1987, 1992, 1995, 1998-1999, 2000 e 2003 registrando duração abaixo da média. Os anos de 1983, 1997-1998, 2005, 2010 e 2015 se destacam pelo elevado número de OC registradas quando comparado com os anos próximos. Em 2005, 2010 e 2015 foram registrados as três últimas maiores secas na região amazônica, que de acordo com os resultados de Gomes et al. (2018) acarretaram diversos efeitos negativos a população.

A análise sazonal (Figura 2B) aponta que durante o período de 1790 a 2000, os maiores número de eventos foram registrados no verão e outono, somente dois episódios no inverno, com o primeiro episódio na primavera visto somente em 1997, em 1998, 2000, 2003, 2008 e 2013 não foram detectadas ondas de calor nessa estação. Em 2005, 2010 e 2014-2018 foram registrados eventos em todas as estações do ano, com aumento observado no inverno que apresentou os maiores valores nos períodos de 2005-2008 e 2016-2018. Apesar dos anos sequentes 1980-1981, 1999-2000, 2006-2007, 2011-2012, 2016-2017 registrarem o mesmo número de episódios (Figura 2A) eles apresentam comportamento sazonal distinto.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

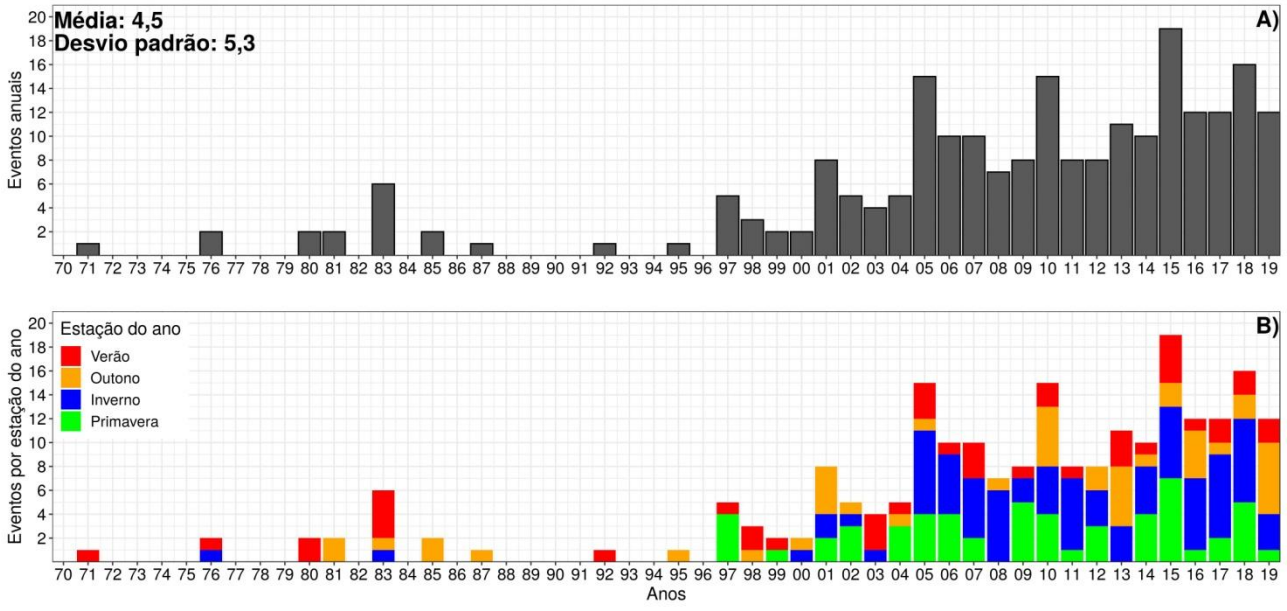

Figura 2 - Ocorrência A) anual, a média e o desvio-padrão dos eventos anuais e, B) sazonal dos eventos de ondas de calor registrados em Manaus.

A Tabela 2 apresenta os métodos estatísticos utilizados para avaliar a alteração temporal no comportamento das ondas de calor observadas no município em estudo. O teste de Mann-Kendall cujo a hipótese alternativa (H_1) é vista em todas as estações e no valor anual, mostrando que o teste sugere aumento no número de episódios de ondas de calor por ano e por estação. O teste de Pettitt aponta que no verão esse aumento iniciou em 2002, no outono e no inverno em 1999, na primavera e na escala anual em 1996, indicando que essa tendência de acréscimo teve início no final do século XX e início do XXI para o verão. O Estimador de Tendência de Sen mostra que esse aumento é maior em escala anual (0,29), seguido do inverno (0,23) e primavera (0,18).

Tabela 2 – Testes de Mann-Kendall, Pettitt e Estimador de Tendência de Sen aplicados à ocorrência das ondas de calor da cidade de Manaus.

	Teste Mann-Kendall		Teste de Pettitt		Estimador de Tendência de Sen (Se)	
	Z_{mk}	valor-p	Ano de mudança	valor-p	Magnitude	valor-p
Verão	3,76	< 0,001	2002	< 0,001	0,12	< 0,001
Outono	4,21	< 0,001	1999	< 0,001	0,11	< 0,001
Inverno	5,77	< 0,001	1999	< 0,001	0,23	< 0,001
Primavera	5,15	< 0,001	1996	< 0,001	0,18	< 0,001
Anual	6,14	< 0,001	1996	< 0,001	0,29	< 0,001

A Figura 3 apresenta a frequência das ondas de calor. O comportamento

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

anual e sazonal é semelhante ao observado na ocorrência (Figura 2), mostrado que na cidade de Manaus a quantidade de eventos apresenta similaridades com a frequência, o que evidência sinergia entre essas características. A frequência média anual é de 20,4 dias, onde 1983, 1997, 2001 e 2005-2019 apresenta valores acima desta média, o que mostra que nesses anos e nos últimos 16 anos se tem mais dias em OC do que o esperado, indicando alteração temporal do fenômeno. O maior valor da frequência anual foi observado em 2015 com 121 dias, equivalente à 33,2% dos dias desse ano, sendo esse o único ano apresentando registro superior à 100 dias. Chama a atenção que em 2010 registrou-se mais eventos do que em 2009 (Figura 2A), entretanto a frequência desses anos foi a mesma (56 dias), mostrando que mesmo que essas características apresentem semelhança, isso não é observado de maneira uniforme em todos os anos.

Referente ao verão (Figura 3B), em 1983 se teve a maior frequência sazonal observada de 27 dias, no outono em 2010 (23 dias), e em 2015 no inverno (39 dias) e na primavera (51 dias), o que indica que para as três últimas estações o maior registro foi visto na última década analisada, o que aponta que o aumento no número de dias em ondas de calor é diferente dentre as estações do ano, sendo este mais expressivo no inverno. Elevada variabilidade interanual é observada para todas as estações, sendo essa maior no inverno e primavera, especialmente nos últimos 10 anos.

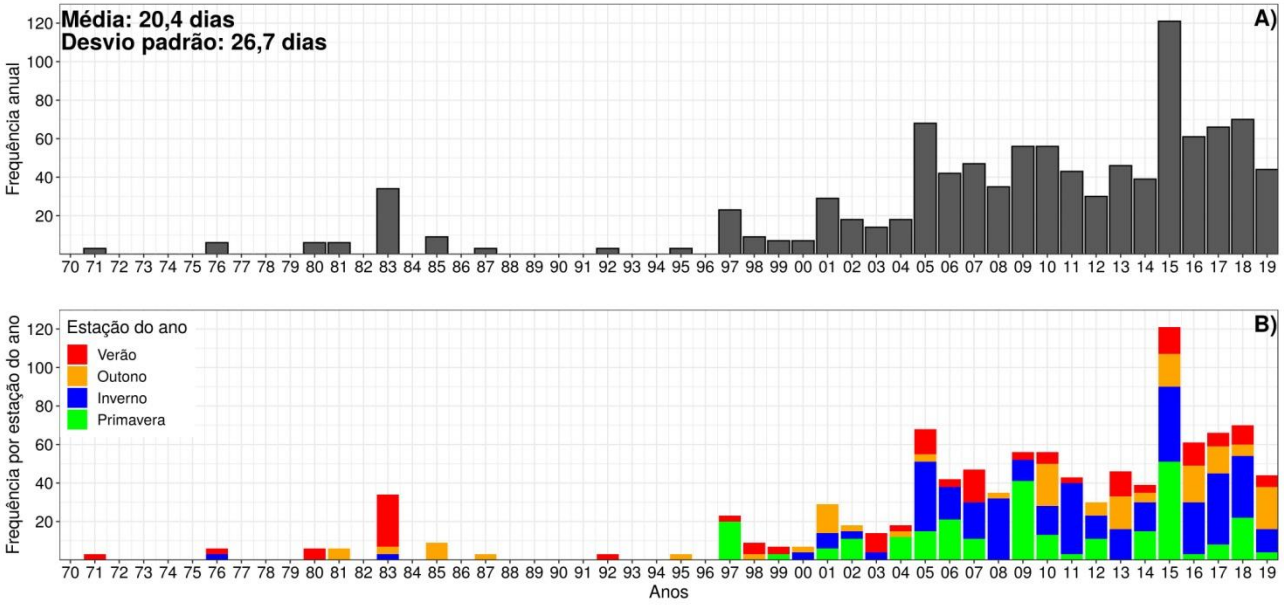

Figura 3 - Frequência A) anual, a média e o desvio-padrão dos eventos anuais e, e B) sazonal dos eventos de ondas de calor registrados em Manaus-AM.

Assim como o observado na ocorrência, o teste de Mann-Kendall (Tabela 3) sugere acréscimo na frequência no verão, outono, inverno, primavera e anualmente, todos com significância estatística, indicando que o número de dias em OC na cidade de Manaus vem aumentando nas últimas décadas. Referente ao ano em que esse aumento iniciou, são os mesmos anos observado na ocorrência, o que mostra que nos anos onde se aumentava o número de episódios de ondas de calor o número de dias também apresentou acréscimo. Por fim, o maior aumento sazonal foi observado no inverno (0,32 dias), seguido

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

do outono (0,10 dias), verão (0,09 dias) e primavera (0,08 dias), todos inferiores ao observado no incremento anual (1,13 dias) que é mais do que o triplo observado no inverno.

Tabela 3 – Testes de Mann-Kendall, Pettitt e Estimador de Tendência de Sen aplicados à frequência das ondas de calor da cidade de Manaus-AM.

	Teste Mann-Kendall		Teste de Pettitt		Estimador de Tendência de Sen (Se)	
	Z_{mk}	valor-p	Ano de mudança	valor-p	Magnitude (dias)	valor-p
Verão	4,00	< 0,001	2002	< 0,001	0,09	< 0,001
Outono	4,43	< 0,001	1999	< 0,001	0,10	< 0,001
Inverno	5,80	< 0,001	1999	< 0,001	0,32	< 0,001
Primavera	5,15	< 0,001	1996	< 0,001	0,08	< 0,001
Anual	6,33	< 0,001	1996	< 0,001	1,13	< 0,001

A partir da Figura 4A é possível verificar que a duração média apresenta comportamento temporal diferente do observado tanto na ocorrência quanto na frequência, sem expressiva alteração na duração dos eventos observados na década de 1980-1989 e 2010-2019, conforme é visto no baixo valor do desvio-padrão (1,1 dias). Foi 2009 o ano de maior duração média (7 dias), seguido de 2015 (6,4 dias) e 1983 (5,7 dias) apresentando durabilidade superior de 5 dias. Destaca-se os anos de 1971, 1976, 1980, 1981, 1987, 1992, 1995 e 1998, apresentaram média anual de 3 dias, a duração mínima possível a partir da metodologia adotada.

A Figura 4B permite observar a duração dos eventos para as quatro estações do ano, onde é possível verificar registros superiores a 7 dias em diversos anos, diferente do visto na análise anual (Figura 4A). A duração média no verão é de 4,2 dias, no outono de 4,3 dias, no inverno é de 4,5 dias e 4,4 dias na primavera, mostra que todas as estações apresentam duração média superior que a média anual (4 dias). No verão o evento de maior duração média foi em 2016 (12 dias), no outono foi em 2017 (14 dias), para o inverno em 2015 (≈7 dias) e para a primavera em 2009 (8 dias), o que evidencia que mesmo que em média os eventos sejam mais persistentes no inverno e primavera, as ondas de calor em média são mais duradoras no verão e outono.

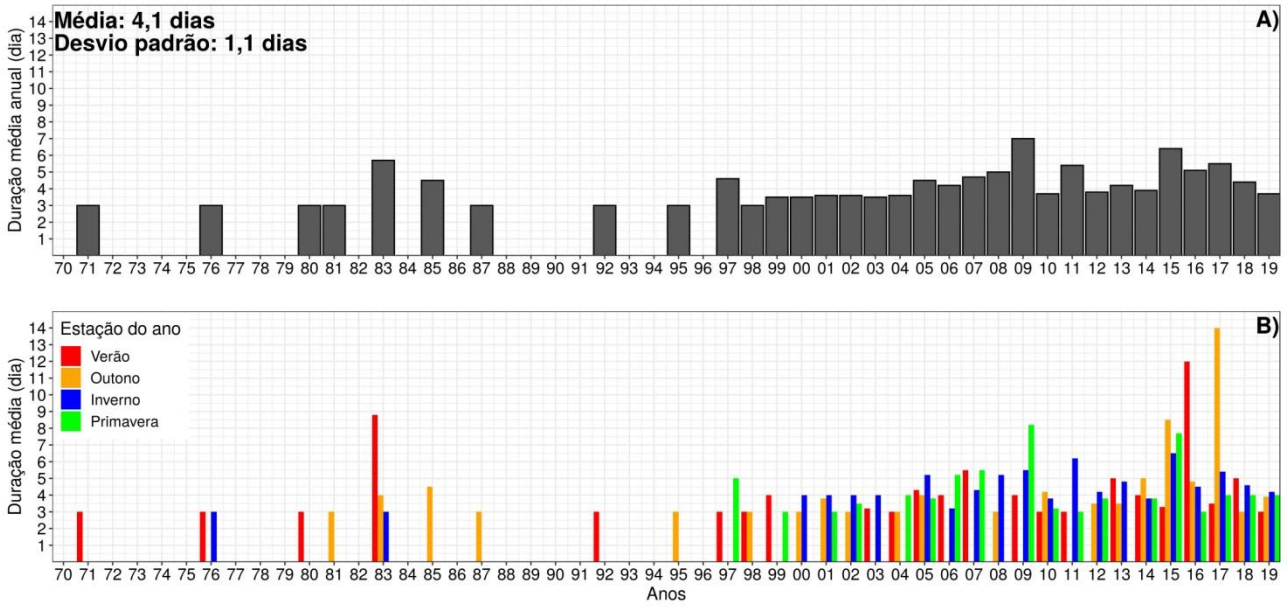

Figura 4 – Duração média A) anual, a média e o desvio-padrão dos eventos anuais e, e B) sazonal dos eventos de ondas de calor registrados em Manaus-AM.

De acordo com o teste de Mann-Kendall (Tabela 4) a duração média de OC também apresenta aumento com significância estatística, indicando que além de mais frequentes as ondas de calor na cidade de Manaus também estão se tornando mais duradouras. A partir do teste de Pettitt é possível observar que o ano de mudança na escala anual e sazonal é o mesmo do observado na ocorrência (Tabela 2) e frequência (Tabela 3), o que sugere uma sinergia entre essas três características das OC para o ano de mudança. De acordo com o Se, essa alteração é menor no outono (0,02 dias) e verão (0,03), com o mesmo valor de 0,10 dias observados no inverno e na escala anual.

Tabela 4 – Testes de Mann-Kendall, Pettitt e Estimador de Tendência de Sen aplicados à duração média das ondas de calor da cidade de Manaus-AM.

	Teste Mann-Kendall		Teste de Pettitt		Estimador de Tendência de Sen (Se)	
	Z	valor-p	Ano de mudança	valor-p	Magnitude (dias)	valor-p
Verão	4,10	< 0,001	2002	< 0,001	0,03	< 0,001
Outono	4,33	< 0,001	1999	< 0,001	0,02	< 0,001
Inverno	5,61	< 0,001	1999	< 0,001	0,10	< 0,001
Primavera	5,31	< 0,001	1996	< 0,001	0,05	< 0,001
Anual	5,64	< 0,001	1996	< 0,001	0,10	< 0,001

A Figura 5 apresenta a intensidade média das ondas de calor registradas.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

A média de excedência anual é de 12 °C, com os anos de 2009, 2015 e 1983 apresentaram as maiores intensidades, respectivamente, que coincide com os anos de maior durabilidade média, mostrando que em eventos longos é de esperar maior intensidade. A partir da análise sazonal (Figura 5B), é possível verificar que os eventos registrados no verão de 2005, 2006, 2013 e 2018 apresentam elevada intensidade, enquanto que os observados no outono de 1985, 2015 e 2010 são destacados, no inverno a intensidade foi maior em 2011, enquanto que na primavera foi vista em 1997, 2006 e 2007. Salientando a variabilidade interanual e sazonal das OC observadas durante os 50 anos de análise, que também foi observada na ocorrência, intensidade e duração média.

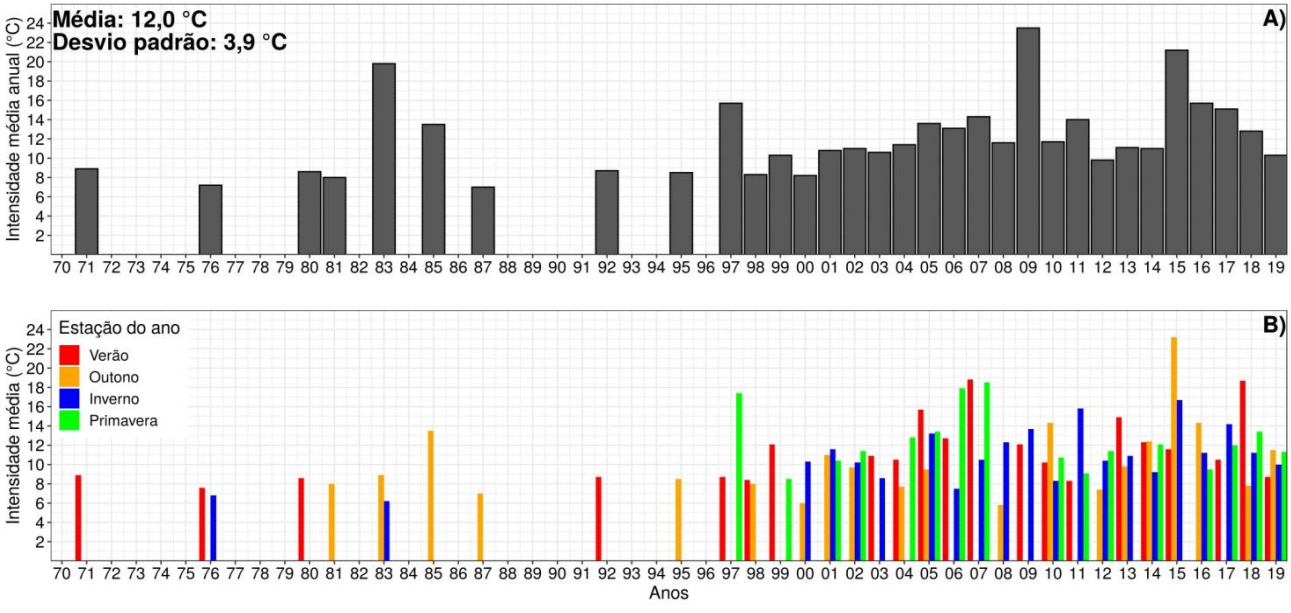

Figura 5 – Intensidade média A) anual, a média e o desvio-padrão dos eventos anuais e, e B) sazonal dos eventos de ondas de calor registrados em Manaus.

De acordo com a Tabela 5, o resultado do teste de MK, aponta que as OC registradas na cidade de Manaus estão se tornando mais intensas, tanto em escala anual quanto sazonal. As quatro características do fenômeno apresentam tendência positiva com significância estatística a 1%. O ano de mudança é o mesmo do observado na ocorrência, frequência e duração média, exceto no outono, onde nessa estação as ondas de calor tendem a ficar mais intensas a partir de 1997. Referente a intensidade, o Se indica que é maior em escala anual (0,29 °C), seguido do inverno (0,23 °C), com menor magnitude observada no verão e outono, igualmente do observado na ocorrência e duração média, sendo possível afirmar que em escala sazonal para características do fenômeno aqui avaliadas o maior aumento foi constatado no inverno.

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

Tabela 5 – Testes de Mann-Kendall, Pettitt e Estimador de Tendência de Sen aplicados à intensidade média das ondas de calor da cidade de Manaus-AM.

	Teste Mann-Kendall		Teste de Pettitt		Estimador de Tendência de Sen (Se)	
	Z	valor-p	Ano de mudança	valor-p	Magnitude (°C)	valor-p
Verão	4,02	< 0,001	2002	< 0,001	0,12	< 0,001
Outono	4,26	< 0,001	1997	< 0,001	0,11	< 0,001
Inverno	5,47	< 0,001	1999	< 0,001	0,23	< 0,001
Primavera	5,19	< 0,001	1996	< 0,001	0,18	< 0,001
Anual	5,15	< 0,001	1996	< 0,001	0,29	< 0,001

A análise decenal mostrou que mais de 50% dos eventos registrados ocorreram nos 10 últimos anos, indicando um aumento decenal no número de ondas registradas em Manaus. Ceccherini et al. (2016) e Rusticucci et al. (2016) mostram que tal aumento também pode ser observado em diferentes cidades da AS, assim corroborando com os resultados do presente estudo. Comparando a primeira (1980-1989) e a última década (2010-2019) observa-se um acréscimo de 120 eventos, mais de 550 dias na frequência, aumento de 1,6 dias na duração média e de 5,6 °C na intensidade média, o que deixa claro a mudança temporal nessas características das OC. De acordo com Feron et al. (2019), essa alteração também é vista em outras partes do Brasil, e projeções futuras indicam que esse aumento tende a ser muito maior até o final do século XXI. Ambas as décadas de 80 e 90 apresentaram 5 episódios de ondas de calor, entretanto os eventos observados na década de 1980 foram mais frequentes, duradouros e intensos, cujo impactos foram documentados em Buenos Aires no verão de 1980 por Campetella e Rusticucci (1998) que de acordo com esses autores o fenômeno causou fechamento de escolas e causou diversos outros transtornos, nessa mesma década em 1983 os impactos negativos observados na Europa foram descritos por Wheeler (1984), tanto o evento de 1980 quanto o de 1983, podem ter causados efeitos negativos na cidade de Manaus que ainda não foram catalogados.

Os resultados de Bitencourt et al. (2016) apontam que o número de eventos de ondas de calor aumentou consideravelmente em todo o território brasileiro desde o início do século XXI. Os resultados do presente estudo, mostram que esse aumento é claramente visto em Manaus, que a partir de 2005 mostra valores acima da média anual para todos os anos, com os últimos 23 anos apresentando consecutivamente eventos, comportamento que não foi observado nos demais anos analisados. A partir dos testes estatísticos empregados constatou-se que esse aumento apresenta significância estatística e teve início entre os anos de 1996 e 2002, apresentou variação entre as estações do ano, concordando com os resultados de Bitencourt et al. (2020) que apontam que essa referida tendência também é vista em outras regiões do Brasil. Shiva

et al. (2019) afirmam que esse aumento pode estar relacionado com os modos de variabilidade climática, urbanização e/ou mudanças climáticas.

Os anos de 1983, 1997-98, 2005 e 2015 se destacaram devido ao aumento expressivo no número de OC registradas. Em 1983, 1997-98, e 2015 o evento climático extremo El Niño-Oscilação Sul (ENOS) que em sua fase quente causou redução no volume de precipitação e nebulosidade, assim como aumento na temperatura do ar e do solo foi observado na região em estudo (KENYON & HEGERL, 2008; MARENGO & ESPINOZA, 2016; GOMES et al., 2018). De acordo com Firpo et al. (2012) e Miao et al. (2016), em períodos de El Niño se tem um aumento no número de OC. De acordo com Zeng et al. (2008), em 2005, um aquecimento anormal na temperatura da superfície do mar (TSM) no norte do oceano Atlântico subtropical ocasionou um aumento de temperatura na região Norte do Brasil, já em 2010 esse aquecimento foi na região tropical norte do oceano Atlântico (MARENGO et al., 2011). Segundo Pezza et al. (2012), alterações na TSM podem alterar a ocorrência de OC, fazendo que esse fator possa estar relacionado com os elevados números de eventos registrados na cidade de Manaus em 2005 e 2010.

Na perspectiva sazonal, também foram constatadas alterações, como OC na primavera vistas somente após 1997, assim como anos com episódios nas quatro estações simultaneamente observados após 2005. De acordo com Geirinhas et al. (2018), a gênese das ondas de calor na cidade de Manaus estão ligadas à condições de céu claro e déficit de umidade no solo, configuração que segundo Fisch et al. (1998) pode ser vista no município durante o ano inteiro devido a sua posição geográfica. De acordo com a análise estatística é no inverno o maior aumento na ocorrência, frequência, duração e intensidade das ondas de calor em Manaus, a mesma estação do ano que a partir dos resultados de Gomes et al. (2015) apresenta o maior aumento na temperatura máxima do ar na região oeste do Pará, sugerindo relação entre o aumento da temperatura do ar e as OC, que é plausível uma vez que o índice CTX90pct usa a temperatura máxima do ar para identificar as OC. Sendo nessa mesma estação do ano onde se tem o maior número de episódios em diversas regiões do Brasil, o que salienta a importância de maior atenção das OC registradas no inverno (REIS et al., 2019; SILVEIRA et al., 2019).

Analisando a frequência, notou-se que até o ano de 2004 somente 3 anos (1983, 1997 e 2001) apresentaram superior à média anual, enquanto que no período de 2005 a 2019 todos os anos exibiram valores acima da média. Geirinhas et al. (2018) e Rusticucci et al. (2016) mostram que esse contraste temporal também pode ser visto em outras regiões da AS, com as últimas décadas apresentando notável aumento na frequência. Os testes estatísticos mostram que a frequência anual é a que apresenta o maior aumento, resultados que concordam com os de Shiva et al. (2019). De acordo Zhao et al. (2019), elevado número de dias em OC podem causar um acréscimo no número de internamentos por doenças cardiovasculares e respiratórias, assim o aumento da frequência na cidade de Manaus pode ocasionar efeitos negativos à saúde e ao bem-estar da população.

Os resultados do presente estudo, assinalam de forma pontual que em Manaus as quatro principais características das OC apresentam expressivo aumento a partir do início do século XXI, que corrobora com estudos globais que apontam que esse aumento também é observado em outros países e

continentes (PERKINS et al., 2012; BRANDO et al., 2014). De acordo com Ceccherini et al. (2016) e Shiva et al. (2019), tal aumento pode ser causado pelo acréscimo na temperatura máxima do ar observado nas últimas décadas, assim como pelas Ilhas de Calor Urbano (ICU). Corrêa et al. (2016) apontam a presença de ICU em Manaus.

CONCLUSÕES

Conclui-se que nos últimos 50 anos ocorreu aumento anual expressivo nas características das ondas de calor. Em escala sazonal destaca-se que as características ocorrência e duração foram mais evidentes no inverno e na primavera, enquanto a intensidade e a frequência ocorreram mais no inverno. Os últimos 6 anos apresentaram eventos simultaneamente em todas as estações do ano, o que mostra que a população vem tornando-se suscetível a episódios de ondas de calor durante o ano inteiro, o que ressalta a importância da implementação de sistemas de alerta e de previsão das ondas de calor, que ainda não existe na cidade de Manaus.

O referido aumento pode estar ligado a elevação dos valores da temperatura do ar em Manaus, observado por outros estudos, que foi causado pelo uso da cobertura do solo, urbanização e/ou mudanças climáticas. Salienta-se que as ondas de calor representam um grande risco a saúde humana, como na ocorrência e agravamento de enfermidades, e a redução na produtividade, e o aumento observado nas características das OC podem intensificar esses efeitos.

Por fim, a principal contribuição da presente pesquisa consistiu na avaliação da alteração temporal da ocorrência, frequência, duração e intensidade das ondas de calor, o que permitiu salientar a importância de verificar as causas e os efeitos deste aumento. Pesquisas posteriores são necessárias para verificar se essas mudanças podem também ser vistas em outros centros urbanos e zonas rurais a fim de reforçar a necessidade de políticas públicas voltadas a redução dos impactos desses eventos.

REFERÊNCIAS

ALVES, L. E. R.; GOMES, H. B. Validação da Imputação Múltipla via Predictive Mean Matching para Preenchimento de Falhas nos Dados Pluviométricos da Bacia do Médio São Francisco. *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, Rio de Janeiro, v. 43, p. 199–206, 2019.

BACK, Á. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 5, p. 717–726, 2001.

BITENCOURT, D. P.; FUENTES, M. V.; MAIA, P. A.; AMORIM, F. T. Frequência, Duração, Abrangência Espacial e Intensidade das Ondas de Calor no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, v. 31, n. 4, p. 506–517, 2016.

BITENCOURT, D. P.; FUENTES, M. V.; FRANKE, A. E.; SILVEIRA, R. B.; ALVES, M. P. The climatology of cold and heat waves in Brazil from 1961 to 2016. *International Journal of Climatology*, Malden, v.40, n.4, p.2464-2478, 2020.

BRANDO, P. M.; BALCH, J. K.; NEPSTAD, D. C.; MORTON, D. C.; PUTZ, F. E.; COE, M. T.; SILVÉRIO, D.; MACEDO, M. N.; DAVIDSON, E. A.; NÓBREGA, C. C.; ALENCAR, A.; SOARES-FILHO, B.S. Abrupt increases in Amazonian tree mortality due to drought-fire interactions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,* Estados Unidos, v. 111, n. 17, p. 6347–6352, 2014.

CABRAL-JÚNIOR, J. B.; SILVA, C. M. S.; ALMEIDA, H. A.; BEZERRA, B. G.; SPYRIDES, M. H. C Detecting linear trend of reference evapotranspiration in irrigated farming areas in Brazil's semiarid region. *Theoretical and Applied Climatology*, Estados Unidos, v. 138, n. 1–2, p. 215–225, 2019.

CAMPETELLA, C.; RUSTICUCCI, M. Synoptic analysis of an extreme heat wave over Argentina in March 1980. *Meteorological Applications*, Estados Unidos, v. 5, n. 3, p. 217–226, 1998.

CECCHERINI, G.; RUSSO, S.; AMEZTOY, I.; ROMERO, C. P.; CARMONA-MORENO, C. Magnitude and frequency of heat and cold waves in recent decades: The case of South America. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Estados Unidos, v. 16, n. 3, p. 821–831, 2016.

CORRÊA, P. B.; CANDIDO, L. A.; SOUZA, R. A. F. D.; ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. Estudo do fenômeno da ilha de calor na cidade de Manaus/AM: Um estudo a partir de dados de sensoriamento remoto, modelagem e estações meteorológicas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, v. 31, n. 2, p. 167–176, 2016.

DÍAZ, GARCÍA-HERRERA.; TRIGO, R. M.; LINARES, C.; VALENTE, M. A.; VALENTE, J. M.; DE MIGUEL E HERNÁNDEZ, J. R. The impact of the summer 2003 heat wave in Iberia: how should we measure it? *Int J Biometeorol*, Alemanha, v. 50, p. 159–166, 2006.

FERON, S.; CORDERO, R. R.; DAMIANI, A.; LLANILLO, P. J.; JORQUERA, J.; SEPULVEDA, E.; LAROZE, A. D.; CARRASCO, L. J.; TORRES, G. Observations and Projections of Heat Waves in South America. *Scientific Reports*, Estados Unidos, v. 9, n. 1, p. 1–15, 2019.

FIRPO, M. Â. F.; SANSIGOLO, C. A.; ASSIS, S. V. DE. Climatologia e variabilidade sazonal do número de ondas de calor e de frio no Rio Grande do Sul associadas ao ENOS. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, v. 27, n. 1, p. 95–106, 2012.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. The climate of Amazonia - a review. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 28, n. 2, p. 101–126, 1998.

GEIRINHAS, J. L.; TRIGO, R. M.; LIBONATI, R.; COELHO, C. A.; PALMEIRA, A. C. Climatic and synoptic characterization of heat waves in Brazil. *International Journal of Climatology*, Estados Unidos, v. 38, n. 4, p. 1760–1776, 2017.

GEIRINHAS, J. L.; TRIGO, R. M.; LIBONATI, R.; PERES, L. D. F. Caracterização Climática de Ondas de Calor no Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, Rio de Janeiro v. 41, n. 3, p. 333–350, 2018.

GHOBADI, A.; KHOSRAVI, M.; TAVOUSI, T. Surveying of Heat waves Impact on the Urban Heat Islands: Case study, the Karaj City in Iran. *Urban Climate*, Estados Unidos, v. 24, n.1, p. 600–615, 2018.

GOMES, A. C. S.; DA SILVA COSTA, M.; COUTINHO, M. D. L.; VALE, R. S.; DOS SANTOS, M. S.; DA SILVA, J. T.; FITZJARRALD, D. R. Análise Estatística das Tendências de Elevação nas séries de Temperatura média Máxima na Amazônia Central: Estudo de Caso para a Região do Oeste do Pará, *Revista Brasileira de Climatologia,* Curitiba, v.17, 2015.

GOMES, A. C. S., COSTA, G. B.; SILVA, J. T.; COUTINHO, M. D. L.; DA SILVA COSTA, M.; FITZJARRALD, D. R. Seca e a Saúde das populações residentes em regiões da Amazônia Brasileira nos anos de 2005, 2010 e 2015. *Revista Brasileira de Climatologia*, Curitiba, v.23, 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. < https://www.ibge.gov.br/estatisticas>. Acesso em 28 de março de 2020.

IPCC. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment, Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, p.996, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 2007.

KENDALL, M. G. Rank Correlation Methods. *Biometrika*, Estados Unidos, v. 44, n. 1/2, 1957.

KENYON, J.; HEGERL, G. C. Influence of modes of climate variability on global temperature extremes. *Journal of Climate*, Estados Unidos, v. 21, n. 15, p. 3872–3889, 2008.

KIRTMAN, B.; POWER, S. B.; ADEDOYIN, A. J.; BOER, G. J.; BOJARIU, R.; CAMILLONI, I.; ...; PRATHER, M. Near-term climate change: Projections and predictability. *Climate Change 2013 the Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Genebra, v. 9781107057, p. 953–1028, 2013.

KONG, Q.; GUERREIRO, S. B.; BLENKINSOP, S.; LI, X. F.; FOWLER, H. J. Increases in summertime concurrent drought and heatwave in Eastern China. *Weather and Climate Extremes*, Estados Unidos, v. 28, p. 100242, 2020.

LEVINE, R. A.; WILKS, D. S. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. *Journal of the American Statistical Association*, Estados Unidos, v. 95, n. 449, p. 344, 2000.

LI, K. H.; RAGHUNATHAN, T. E.; RUBIN, D. B. Large-sample significance levels from multiply imputed data using moment-based statistics and an F reference distribution. *Journal of the American Statistical Association*, Estados Unidos, v. 86, n. 416, p. 1065–1073, 1991.

LIU, X.; ZHANG, D. Trend analysis of reference evapotranspiration in Northwest China: The roles of changing wind speed and surface air temperature. *Hydrological Processes*, Estados Unidos, v. 27, n. 26, p. 3941–3948, 30 dez. 2013.

LOPO, A. B.; SPYRIDES, M. H. C.; LUCIO, P. S.; SIGRÓ, J. UV Index Modeling by Autoregressive Distributed Lag (ADL Model). *Atmospheric and Climate Sciences*, Estados Unidos, v.4, p. 323-233, 2014.

MANDÚ, T. B.; GOMES, A. C. D. S. Identificação De Tendências No Conforto Térmico Na Região Norte Do Brasil: Estudo De Caso Em Manaus-AM. *Revista Geonorte*, Manaus, v. 10, n. 34, p. 63–81, 2019.

MANN, H. B. Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, Estados Unidos, v. 13, n. 3, 1945.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; ALVES, L. M.; SOARES, W. R.; RODRIGUEZ, D. A. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. *Geophysical Research Letters*, Alemanha, v. 38, n. 12, 2011.

MARENGO, J. A.; ESPINOZA, J. C. Extreme seasonal droughts and floods in Amazonia: Causes, trends and impacts. *International Journal of Climatology*, Estados Unidos, v. 36, n. 3, p. 1033–1050, 2016.

MIAO, C.; SUN, Q.; KONG, D.; DUAN, Q. Record-breaking heat in Northwest China in July 2015: Analysis of the severity and underlying causes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Estados Unidos, v. 97, n. 12, p. S97–S101, 2016.

MOURA, R. G.; ARAVÉQUIA, J. A.; LOPO, A. B. Preenchimento de Falhas em Dados de Correlação de Anomalia do Geopotencial (500 hpa). *Ciência e Natura*, Santa Maria, v.36 n.2, 503-509, 2014.

NATIVIDADE, U. A.; GARCIA, S. R.; TORRES, R. R. Tendência dos índices de extremos climáticos observados e projetados no estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos v. 32, n. 4, p. 600–614, 2017.

OLIVEIRA, F. M.; ARAÚJO, R. L.; CARVALHO, J. S.; COSTA, S. S. Determinação da variação no microclima de Manaus-AM por atividades antropogênicas e modulações climáticas naturais. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 38, n. 4, p. 687–699, 2008.

PERKINS, S. E.; ALEXANDER, L. V.; NAIRN, J. R. Increasing frequency, intensity and duration of observed global heatwaves and warm spells. *Geophysical Research Letters*, Alemanha, v. 39, n. 20, p. 1–5, 2012.

PETTITT, A. N. A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. *Applied Statistics*, Estados Unidos, v. 28, n. 2, p. 126, 1979.

PEZZA, A. B.; VAN RENSCH, P.; CAI, W. Severe heat waves in Southern Australia: Synoptic climatology and large-scale connections. *Climate Dynamics*, Estados Unidos, v. 38, n. 1–2, p. 209–224, 2012.

QIU, W.; YAN, X. The trend of heatwave events in the Northern Hemisphere. *Physics and Chemistry of the Earth*, Estados Unidos, v. 116, p. 102855, 2020.

REIS, N. C. S.; BOIASKI, N. T.; FERRAZ, S. E. T. Characterization and spatial coverage of heatwaves in subtropical Brazil. *Atmosphere*, Estados Unidos, v. 10, n. 5, 2019.

RUSTICUCCI, M. Observed and simulated variability of extreme temperature events over South America. *Atmospheric Research*, Estados Unidos, v. 106, p. 1–17, 2012.

RUSTICUCCI, M.; KYSELÝ, J.; ALMEIRA, G.; LHOTKA, O. Long-term variability of heat waves in Argentina and recurrence probability of the severe 2008 heat wave in Buenos Aires. *Theoretical and Applied Climatology*, Estados Unidos, v. 124, n. 3–4, p. 679–689, 2016.

SALMI, T.; MÄÄTTÄ, A.; ANTTILA, P.; RUOHO-AIROLA, T.; AMNELL, T.; MAATTA, A. Detecting Trends of Annual Values of Atmospheric Pollutants by the Mann-

Kendall Test and Sen's Solpe Estimates the Excel Template Application MAKESENS. *Publications on Air Quality*, Finlandia, n.31, FMIAQ-31, FMI, 2002.

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, Estados Unidos, v.63, n.324, p.1379-1389, 1968.

SHADMANI, M.; MAROFI, S.; ROKNIAN, M. Trend analysis in reference evapotranspiration using Mann-Kendall and Spearman's Rho tests in arid regions of Iran. *Water resources management*, Estados Unidos, v.26, n.1, p.211-224, 2012.

SHIVA, J.; CHANDLER, D. G.; KUNKEL, K. E. Localized Changes in Heat Wave Properties Across the United States. *Earth's Future*, Estados Unidos, v. 7, n. 3, p. 300–319, 2019.

SILVEIRA, R. B.; ALVES, M. P.; BARREIRO, M.; BITENCOURT, D. P. Ondas de calor nas capitais do Sul do Brasil e Montevidéu – Uruguai. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Recife, v. 12, n. 4, p. 1259, 2019.

SILVEIRA, R. N. P. O.; FERNANDES, L. L.; DA SILVA, M. D. N. A. Tendência de precipitações pluviométricas e avaliação da influência dos ENOS no distrito de Abunã, Rondônia. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, Pombal, v.11, n.1, p.14-20, 2017.

STEFFEN, W.; HUGHES, L.; PERKINS, S. *Heatwaves: hotter, longer, more often*. Australia: Climate Council of Australia, 96p, 2014.

STOTT, P. A.; ALLEN, M.; CHRISTIDIS, N.; DOLE, R. M.; HOERLING, M.; HUNTINGFORD, C.; ...; STONE, D. Attribution of Weather and Climate-Related Events. *Climate Science for Serving Society*, Estados Unidos, p. 307–337, 2013.

ULIANA, E. M.; SILVA, D. D. D.; ULIANA, E. M.; RODRIGUES, B. S.; CORRÊDO, L. D. P. Análise de tendência em séries históricas de vazão e precipitação: uso de teste estatístico não paramétrico. *An Interdisciplinary Journal of Applied Science Rev. Ambient. Água*, Taubaté, v. 10, n. 1, p. 82–88, 2015.

VAN BUUREN, S.; GROOTHUIS-OUDSHOORN, K. mice: Multivariate imputation by chained equations in R. *Journal of Statistical Software*, Estados Unidos, v. 45, n. 3, p. 1–67, 2011.

VINK, G., FRANK, L. E., PANNEKOEK, J., & VAN BUUREN, S. Predictive mean matching imputation of semicontinuous variables. *Statistica Neerlandica*, México, v. 68, n. 1, p. 61–90, 2014.

WHEELER, D. A. the July 1983 'Heatwave' in North-East England. *Weather*, Estados Unidos, v. 39, n. 6, p. 178–181, 1984.

YEVJEVICH, V. Structural Analysis of Hydrologic Time Series. *Colo State Univ (Fort Collins), Hydrol Papers*, Estados Unidos, n. 56, 1972.

ZENG, N.; YOON, J. H.; MARENGO, J. A.; SUBRAMANIAM, A.; NOBRE, C. A.; MARIOTTI, A.; NEELIN, J. D. Causes and impacts of the 2005 Amazon drought. *Environmental Research Letters*, Estados Unidos, v.3, n.1, 014002, 2008.

ZHAO, Q.; LI, S.; COELHO, M. S.; SALDIVA, P. H.; HU, K.; HUXLEY, R. R.; ...; GUO, Y. The association between heatwaves and risk of hospitalization in Brazil:

ISSN: 2237-8642 (Eletrônica)

A nationwide time series study between 2000 and 2015. *PLoS Medicine*, Estados Unidos, v. 16, n. 2, p. 1–16, 2019