

## IDENTIFICAÇÃO DE TENDÊNCIAS NO CONFORTO TÉRMICO NA REGIÃO NORTE DO BRASIL: ESTUDO DE CASO EM MANAUS-AM

### Identification of thermal comfort trends in the region north do brazil: case study in Manaus-AM

Tiago Bentes Mandú  
Curso Ciências Atmosféricas, Universidade Federal do Oeste do Pará  
[tiagobentes1@gmail.com](mailto:tiagobentes1@gmail.com)

Ana Carla Dos Santos Gomes  
Professora Doutora do Curso Ciências Atmosféricas, Universidade Federal do Oeste do Pará.  
[anacarlasg02@gmail.com](mailto:anacarlasg02@gmail.com)

**RESUMO:** O conforto térmico é o parâmetro meteorológico que mensura o quão agradável são as condições térmicas levando em consideração fatores climáticos e biológicos. Modificações no ambiente ocasionados por ações antrópicas podem causar alterações significativas neste conforto e assim prejudicar a saúde e o bem-estar da população. O objetivo deste trabalho é identificar a ocorrência ou não de tendências no comportamento do conforto térmico em Manaus. Foram utilizados dados mensais de temperatura e umidade relativa do ar coletados pela estação N<sup>o</sup> 82331 pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia para o período de janeiro de 1986 a dezembro de 2017. Para representar o conforto térmico foi empregado o Índice de Calor que é um índice biometeorológico baseado no balanço de energia, o qual estima as condições térmicas do ambiente. Utilizou-se o teste de Mann-Kendall (MK) para detectar as tendências e os métodos de Pettitt e Estimador de Tendência de Sen para identificar seu possível ponto de mudança e magnitude, respectivamente. O MK identificou tendências positivas com significância estatística em todos os meses e o teste de Pettitt aponta que as mesmas ocorreram na primeira década desse século, com aumento que varia de 0,06 °C a 0,20 °C, enfatizando o período de agosto a outubro com as maiores magnitudes encontradas. Estes resultados podem ajudar no planejamento de estratégias que busquem proporcionar condições favoráveis de conforto térmico para a população residente de Manaus.

**Palavras-Chave:** Amazônia; Urbanização; Microclima; Teste de Mann-Kendall; Índice de calor.

**ABSTRACT:** Thermal comfort is the meteorological parameter that measures how pleasant thermal conditions are taking into account climatic and biological factors. Changes in the environment caused by anthropic actions can cause significant alterations in this comfort and thus impair the health and well-being of the population. The objective of this work is to identify the occurrence or not of trends in the behavior of thermal comfort in Manaus. Monthly data of temperature and relative humidity of the air collected by the station N<sup>o</sup> 82331 belonging to the Instituto Nacional de Meteorologia for the period from January 1986 to December 2017 were used. To represent thermal comfort, the heat index was used, which is a biometeorological index based on the energy balance, which estimates the thermal conditions of the environment. The Mann-Kendall (MK) test was used to detect the trends and methods of Pettitt and Sen trend Estimator to identify their possible point of change and magnitude, respectively. The MK identified positive trends with statistical significance in all months and the Pettitt test indicates that they occurred in the first decade of this century, with an increase ranging from 0.06 °C to 0.20 °C, emphasizing the period from August to October with the largest magnitudes found. These results can help in the planning of strategies that seek to provide favorable conditions of thermal comfort for the resident population of Manaus.

**Keywords:** Amazon; Urbanization; Microclimate; Mann-Kendall test; Heat index.

## INTRODUÇÃO

O Conforto térmico (CT) é uma condição psicológica que expressa satisfação com o ambiente onde o indivíduo está inserido, ou seja, é o que avalia o quão agradável ou desagradável são as condições térmicas do lugar. Existem seis fatores básicos que definem e avaliam o CT, destes, quatro são elementos meteorológicos: temperatura, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa do ar, e dois são biológicos: vestimentas e atividade metabólica (PARSONS, 2014). De acordo com Lima et al. (2019), estudos que abordam o CT são realizados para entender de forma mais precisa a dinâmica microclimática da interação dos diversos parâmetros climáticos e pessoais a fim de observar como eles afetam a saúde e bem-estar do ser humano.

O grande número de índices biometeorológicos que mensuram o conforto térmico criados nas últimas décadas ressalta a importância observada pela comunidade científica a respeito da necessidade de avaliar e quantificar o CT (DE FREITAS e GRIGORIEVA, 2017). O estudo realizado por De Freitas e Grigorieva (2015) tratou-se de uma busca detalhada destes índices, foram catalogados um total de 165 diferentes métodos utilizados para mensurar o conforto térmico. Maiores informações podem ser encontradas em De Freitas e Grigorieva (2015; 2017).

O Índice de Calor (IC) destaca-se entre esses 165 métodos, essa metodologia foi desenvolvida a partir de fundamentos e considerações do balanço de energia e determinado como resultado de diversos estudos biometeorológicos (FANGER 1970; STEADMAN 1979; PARSONS, 2014). De acordo com Ramirez-Beltran et al. (2017), o IC é uma combinação da temperatura com a umidade relativa do ar que busca estimar a temperatura sentida pelos seres humanos. Para a região Norte do Brasil, Silva Júnior et al. (2012) empregaram o IC para comparar as faixas do índice com a percepção da população de Belém do Pará e puderam observar que esse índice apresentou desempenho satisfatório.

Pesquisas voltadas ao entendimento do conforto térmico na região da Amazônia ainda são escassas, dos estudos realizados cita-se Costa et al. (2013) que utilizou o IC para observar suas variações sazonais em cidades de diferentes dimensões na região e constatou que o índice de calor consegue detectar interferências urbanas, Costa et al. (2016) mostram que ao longo da bacia amazônica, a localização geográfica e a sazonalidade não exercem influência no padrão de variação do conforto térmico e, Lobato et al. (2016) apontam que nessa região a vegetação atua como um importante agente para que o conforto térmico seja alcançado.

O crescimento urbano e o aumento populacional desordenado observado nas capitais brasileiras, sinaliza que urbanização e o aumento populacional impactam o meio ambiente, e afeta diretamente seus habitantes através do acréscimo da sensação térmica, dentre eles o acréscimo na sensação térmica que afeta de forma direta os habitantes (ALVES et al., 2017). Segundo Silva et al. (2015), a vegetação é um dos mais importantes componente microclimáticos, pois ajuda no aumento da umidade relativa do ar e no arrefecimento da temperatura, causando uma melhoria no conforto térmico em cidades tropicais. Pesquisas científicas que buscam identificar alterações no CT são essenciais na compreensão do impacto antrópico nas condições térmicas de áreas urbanas (ROSE, 2010).

Barbosa et al. (2015) afirmam que pesquisas têm sido realizadas para identificar os diversos impactos que a alta taxa de desmatamento observadas na região amazônica provocam, esses autores ainda assinalam que estudos voltados ao clima urbano só ganharam destaque recentemente. Devido a urbanização, Manaus apresenta condições térmicas diferentes de ambientes florestais próximos. O estudo de Carvalho et al. (2014) aponta que no município, a presença de vegetação mostra grande importância na diminuição da temperatura e no equilíbrio térmico.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) afirma que o termo mudanças climáticas se refere a qualquer modificação ocorrida no clima ao longo do tempo, devido à variabilidade natural ou em decorrência de ações antrópicas. A Convenção do Clima define o mesmo termo como uma alteração atribuída de forma direta ou indireta a atividades humanas, que ocasionam mudanças na composição da atmosfera global. Em Manaus, o aumento de temperatura oriunda do efeito estufa antrópico seria suficiente para prejudicar a saúde da população, aumentando a morbimortalidade principalmente na área urbana (FEARNSIDE, 2008).

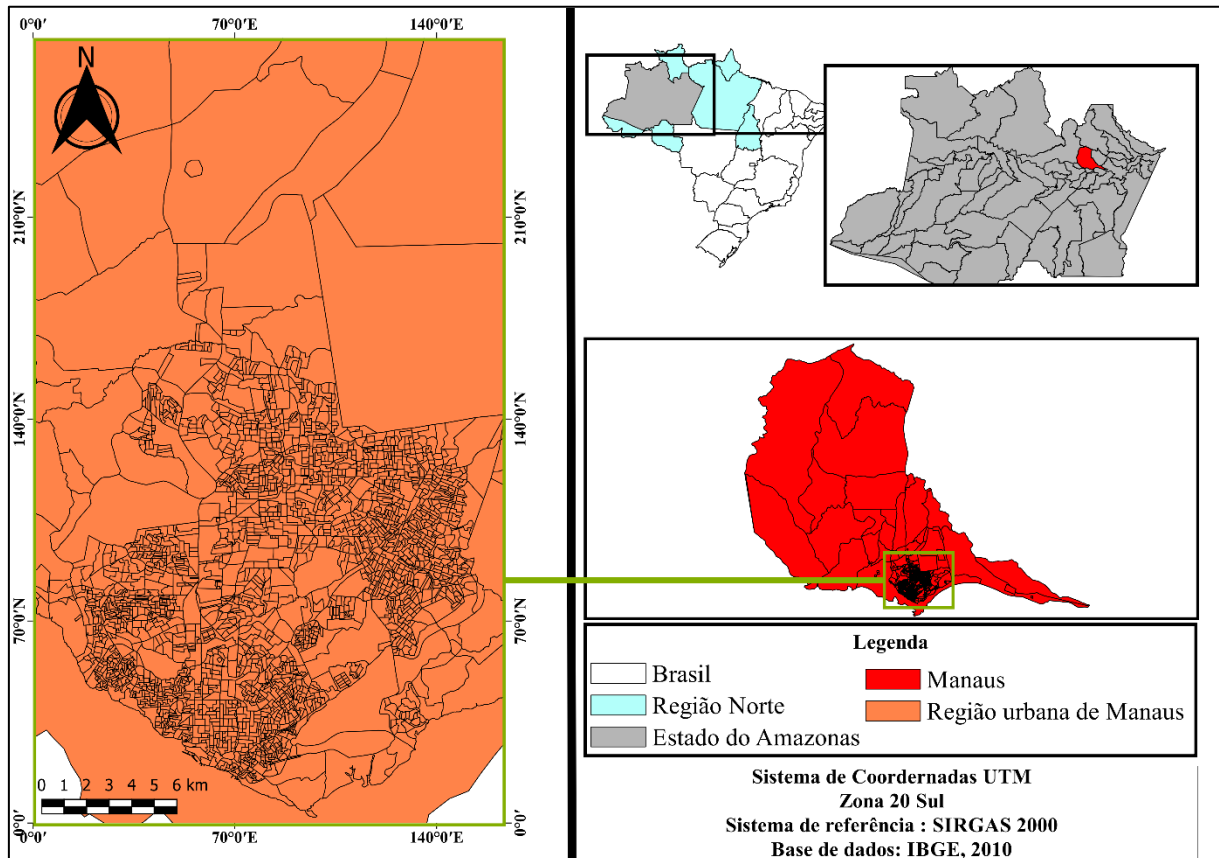
Tendência climática é uma alteração sistemática e contínua em qualquer parâmetro de um conjunto de dados meteorológicos, excluindo-se variações periódicas ou quase periódicas, pode ser definida também como uma mudança caracterizada por um suave acréscimo ou decréscimo nos valores médios em um dado período (YEVJEVICH, 1972; BACK, 2001). O interesse por métodos estatísticos para identificar tais modificações tem aumentado consideravelmente nas últimas décadas, entre eles, o teste de Mann-Kendall (Mann, 1945) e (Kendall, 1976) se destaca. Trata-se de um dos testes não paramétricos mais utilizados para detectar tendências em séries temporais climáticas, a Organização Meteorológica Mundial (OMM) recomenda a utilização dessa metodologia para estudos ambientais (VIEIRA, 2018).

De acordo com Fiocruz (2010), Manaus teve um expressivo crescimento em sua participação no produto interno bruto (PIB) brasileiro, passando a responder por cerca de 1,4% da economia anual do país. No censo elaborado em 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a capital amazonense possuía 1.802.014 habitantes, e ocupava a oitava colocação no *ranking* das cidades mais populosas do Brasil, já na estimativa realizada em 2017 pelo mesmo órgão, a população era de 2.130.264 habitantes, que corresponde a um aumento de 15,4% nos últimos sete anos. Diante do exposto, o objetivo do presente trabalho é identificar a ocorrência ou não de tendências no comportamento do conforto térmico mensal em Manaus para o período de janeiro de 1986 a dezembro de 2017.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Manaus (03°06'0''S e 60°01'0''W) é a capital do estado do Amazonas, sua localização geográfica e zona urbana estão contidas na Figura 1. O município faz parte da mesorregião do centro amazonense e da microrregião de Manaus, hoje é uma das maiores metrópoles na região equatorial do planeta. Com área de 11.401,092 km<sup>2</sup> possui uma população superior a 2 milhões de habitantes com densidade populacional estimada de 158,06 hab.km<sup>-2</sup> (IBGE, 2019). De acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger atualizada por Peel et al. (2007), o município possui classificação

'Ami', um clima tropical chuvoso com precipitação acumulada mensal superior a 60 mm e aproximadamente 2.290 mm.ano<sup>-1</sup>, a temperatura média é de 27 °C com baixa amplitude mensal e a umidade relativa do ar apresenta valores próximos aos 80% durante o ano inteiro.



**Figura 1.** Localização geográfica da área de estudo.

Fonte: IBGE (2010), adaptado pelos autores.

Foram utilizados dados mensais de temperatura e umidade relativa do ar coletados pela estação N° 82331 pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a estação está situada na área urbana do município. Esses registros foram disponibilizados pelo Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) em sua plataforma eletrônica ([www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/](http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/)) para o período de janeiro 1986 a dezembro de 2017 (INMET, 2019).

Para representar o conforto térmico empregou-se o índice de calor, metodologia desenvolvida por Winterling em 1978 e posteriormente adaptada por Steadman (1979). As faixas que definem o conforto ou de desconforto de acordo com o IC estão contidos na Tabela 1. O índice de calor é calculado na escala Fahrenheit a partir da equação 1, e a equação 2 foi utilizada para fazer a conversão da escala Fahrenheit para Celsius.

$$IC = - 42,379 + 2,04901523.T + 10,14333127.UR - 6,83783 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 - 5,481717 \cdot 10^{-2} \cdot UR^2 + 1,22874 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 \cdot UR + 8,5282 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot UR - 1,99 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 \cdot UR^2 \quad (1)$$

$$C = (F + 32) / 1,8 \quad (2)$$

Onde:

IC é o índice de calor (°F), T é a temperatura média (°F) e UR é a umidade relativa do ar (%), F e C são as escalas Fahrenheit e Celsius, respectivamente. Os valores presentes na equação 1, são constantes que foram obtidas por meio de análise de regressão utilizando os seis fatores básicos que avaliam o conforto térmico como variáveis independentes (ROTHFUSZ, 1900).

**Tabela 1.** Níveis de alerta do IC e suas consequências à saúde humana.

Nível de alerta	Índice de calor (°C)	Sintomas
Perigo extremo	≥ 54,1	Insolação; risco de acidente vascular cerebral (AVC) iminente.
Perigo	41,1 – 54,0	Câimbras, insolação, esgotamento físico. Possibilidade de danos cerebrais (AVC) para exposições prolongadas com atividades físicas.
Cautela extrema	32,1 – 41,0	Possibilidade de câimbras, de esgotamento físico e insolação para exposições prolongadas e atividades físicas.
Cautela	27,1 – 32,0	Possível fadiga em casos de exposições prolongadas e prática de atividades físicas.
Não há alerta	≤ 27,0	Não há problemas aparentes

Fonte: National Oceanic and Atmospheric Administration (2019).

**Teste de Mann-Kendall** - Para análise de possíveis tendências, o teste estatístico de Mann-Kendall (MK) foi utilizado, este método avalia se existe uma alteração no tempo de acréscimo ou decréscimo no conjunto de dados analisado. Por ser uma função de rank das observações em vez de seus valores reais, o MK não é afetado pela distribuição real dos registros e por esse motivo possui uma sensibilidade menor a pontos discrepantes (YADAV, 2014). Ressalta-se que o MK não fornece estimativas do ponto de mudança e da magnitude das tendências encontradas. Shadmani et al. (2012) descrevem essa metodologia baseado na estatística S dada pelas equações 3, 4, 5, 6 e 7 abaixo.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad (3)$$

$$\text{sgn}(X_j - X_i) = \begin{cases} +1 & \text{se } (X_j - X_i) > 0 \\ 0 & \text{se } (X_j - X_i) = 0 \\ -1 & \text{se } (X_j - X_i) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

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

$q$  é o número de grupos ligados;  $t_p$  é o número de pontos de dados no grupo  $p$ . Considerando a hipótese nula e a ausência de  $q$ , a variância  $\text{Var}(S)$  é expressa como:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (6)$$

A estatística  $S$  é aproximadamente uma distribuição normal o que permite empregar uma transformação  $Z$ :

$$Z_{mk} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (7)$$

Onde  $X_i$  e  $X_j$  são os valores dos dados sequenciais da série temporal nos anos  $i$  e  $j$ ,  $n$  é o comprimento da série temporal. O MK aponta uma tendência com significância estatística quando  $-1,96 \leq Z \leq 1,96$  e estiver dentro do intervalo de confiança adotado, nesse estudo será utilizado 5% ( $\alpha < 0,05$ ) conforme usado por Gomes et al. (2015) e Vale et al. (2016). Um  $Z$  positivo indica uma que no decorrer das observações houve um aumento e um  $Z$  negativo aponta o inverso (YU et al., 2002; VIEIRA et al., 2018).

**Teste de Pettitt** – Como mencionado anteriormente, o MK indica o ponto de mudança caso tendências sejam observadas, e por esse motivo o teste de Pettitt será utilizado para realizar essa estimativa. Esse método foi proposto por Pettitt (1979) e é utilizado para detectar pontos de mudanças em séries temporais, normalmente também se utiliza 5% como nível de significância (LIU e ZHANG., 2013; UILIANA et al., 2015). O teste de Pettitt é baseado em uma versão da estatística de Mann-Whitney  $U_{t,N}$ , onde duas amostras  $x_1, \dots, x_t$  e  $x_{t+1}, \dots, x_N$ , são verificadas a fim de analisar se elas são ou não da mesma população. Uiliana et al. (2015) descreve a estatística  $U_{t,N}$ ,  $N$  pelas equações abaixo.

$$U_{t,N} = U_{t-1,N} + \sum_{j=1}^N \text{sgn}(X_i - X_j) \quad (8)$$

para  $t=2, 3, \dots, N$ :

$$\text{sgn} = (x) \begin{cases} 1 & \text{se } x > 0 \\ 0 & \text{se } x = 0 \\ -1 & \text{se } x < 0 \end{cases} \quad (9)$$

A estatística de teste conta o número de vezes que o valor da primeira amostra excede o valor da segunda. A hipótese nula admite ausência de um ponto de mudança na série. O  $k_{(T)}$  representa o ponto de mudança  $t$  significativo no qual o valor de  $|U_{t, N}|$  é máximo e está associado a um nível de significância  $p$  obtido a partir das Equações 10 e 11.

$$k_{(T)} = \max_{1 \leq t \leq N} |U_{t, N}| \quad (10)$$

$$p \cong 2 \exp\left(\frac{-6(K_N)^2}{N^3 + N^2}\right) \quad (11)$$

Onde:

$p$  = nível de significância;

$K_N$  = valor crítico;

$N$  = número de meses da série histórica.

**Estimador de tendência de Sen (ETS)** – A magnitude das tendências que o MK identificou foram estimadas pelo ETS (Sen, 1968) que se trata de um método não-paramétrico e permite realizar uma estimativa robusta da inclinação um conjunto de dados (HELSEL e HIRSCH, 2002; DENSKI e BACK, 2015). De acordo com Navidade et al. (2017), o ETS pode ser calculado utilizando a Equação 12 para  $n$  pares de dados:

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

Onde  $i = 1, \dots, n$ ,  $x_j$  e  $x_k$  são os valores dos dados nos tempos  $j$  e  $k$  ( $j > k$ ). Assim, os valores de  $Q_i$  são ordenados do maior valor para o de menor valor e o estimador de tendência de Sen é calculado por  $Q_{\text{med}} = Q_{i[(n+1)/2]}$  se  $n$  é ímpar e por  $Q_i = \frac{Q_{[n/2]} + Q_{[(n+2)/2]}}{2}$  se  $n$  for um valor par.

O mapa de localização (Figura 1) foi produzido com ajuda do *software* livre Qgis 2.8 e todas as análises foram realizadas com ajuda do pacote *'trend'* de Pohlert (2018) alocado no *software* livre R 3.5.1.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 2 mostra os valores do índice de calor para os 31 anos avaliados. De acordo com as faixas do IC mostradas na Tabela 1, a categoria sem alerta foi observada em 4,2% dos meses analisados, 70,1% para a faixa de cautela, e para cautela extrema e perigo, foram observados 24,0% e 0,5%, respectivamente. Foram identificados altos valores para a categoria de cautela extrema indicando que na maioria dos meses Manaus mostra-se termicamente desconfortável.

Os maiores valores foram observados em setembro (46,5 °C) e outubro (42,9 °C) de 2015, sendo estes os únicos registros na categoria de perigo do índice. De acordo com Jiménez-Muñoz et al. (2016), no segundo semestre de 2015 houve a ocorrência do evento climático El-Niño Oscilação Sul (ENOS) em sua fase quente, que é ocasionado por uma alteração na temperatura da superfície do mar do oceano pacífico equatorial, e gera uma redução significativa na formação de nebulosidade e no regime pluviométrico da região amazônica, a ausência dessa nebulosidade faz com que mais radiação chegue à superfície e assim influenciando no conforto térmico, como mostram os resultados.

**Tabela 2.** Valores mensais do índice de calor para o período de 1986 a 2017.

Anos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1986	27,2	27,0	26,7	28,1	28,9	27,7	27,3	33,2	30,1	29,4	28,9	30,0
1987	27,4	28,2	28,6	28,5	29,6	28,6	32,0	31,9	33,9	35,2	32,4	31,6
1988	27,8	28,7	29,8	28,9	28,1	27,7	29,1	31,7	32,7	31,9	28,8	28,7
1989	27,2	26,0	26,6	27,3	26,5	27,7	27,0	31,0	31,5	29,2	30,0	30,4
1990	28,0	27,8	27,7	27,7	29,3	29,5	29,3	30,6	32,7	31,6	31,1	29,5
1991	28,0	28,6	27,6	27,9	28,3	29,5	29,3	29,9	32,1	32,0	34,7	31,5
1992	30,8	29,9	28,0	30,0	30,1	30,0	30,0	28,6	32,7	31,6	31,4	27,9
1993	27,7	27,1	27,3	27,7	30,2	30,6	29,4	30,9	32,7	29,8	28,6	28,8
1994	27,2	27,2	27,8	28,2	28,7	27,9	29,2	30,0	31,4	32,6	31,2	29,6
1995	25,3	29,0	29,0	28,1	28,1	29,1	31,3	34,1	33,9	32,8	29,1	28,9
1996	26,9	27,6	28,0	27,7	29,1	28,6	29,6	30,1	33,2	31,5	31,5	29,1
1997	27,8	27,5	27,2	29,1	29,3	32,2	34,9	33,5	40,1	39,1	32,0	30,8
1998	29,3	31,3	29,7	29,2	28,9	28,4	28,9	31,2	29,8	31,4	29,3	30,1
1999	26,7	26,6	26,5	26,9	26,5	27,5	27,9	28,7	29,7	30,6	31,5	29,7
2000	27,4	27,0	27,1	26,7	28,3	29,2	27,9	30,1	30,7	30,5	31,0	29,9
2001	26,2	27,7	29,1	28,6	30,2	27,0	29,2	33,5	32,0	36,0	30,8	30,0
2002	29,4	28,7	29,2	29,2	29,4	29,4	32,0	32,9	35,2	32,5	31,6	29,5
2003	31,8	29,9	29,2	28,9	29,2	29,8	30,7	30,9	32,1	34,6	32,6	32,3
2004	30,4	28,9	28,4	29,4	29,2	29,0	29,7	31,1	31,0	32,6	35,0	30,7
2005	31,5	29,2	28,7	29,5	30,5	31,9	30,9	34,1	34,4	35,1	31,8	28,5
2006	29,1	28,6	29,0	28,8	28,0	30,2	30,5	32,8	34,6	36,9	29,6	30,6
2007	28,5	31,7	27,7	28,7	29,4	29,6	30,3	30,1	31,2	33,0	33,3	28,3
2008	27,4	27,5	26,5	28,4	27,7	28,3	30,5	32,2	31,5	31,1	30,1	28,9
2009	27,3	27,5	28,2	29,1	28,7	28,9	31,8	36,7	39,2	38,1	40,2	31,6
2010	30,6	30,5	33,8	29,9	31,5	31,2	30,4	33,7	37,5	35,2	32,6	29,8
2011	28,5	28,0	28,9	28,9	30,3	33,0	35,1	37,8	36,1	34,0	32,4	32,3
2012	28,4	27,7	28,9	30,4	31,3	32,8	31,8	34,8	36,0	36,5	36,1	30,0
2013	30,7	28,6	29,3	30,5	30,4	33,9	30,9	33,0	34,6	36,4	30,5	33,9
2014	31,0	28,6	29,4	31,0	30,5	32,6	32,0	35,3	40,2	32,5	33,9	32,9
2015	29,5	31,0	29,3	31,0	30,7	32,8	33,8	40,0	46,5	42,9	38,8	37,0
2016	36,7	32,4	31,7	31,7	32,9	32,7	34,7	37,2	34,0	37,8	36,4	30,1
2017	29,5	29,3	29,9	30,4	33,7	33,6	33,3	39,9	35,2	34,5	34,2	30,4



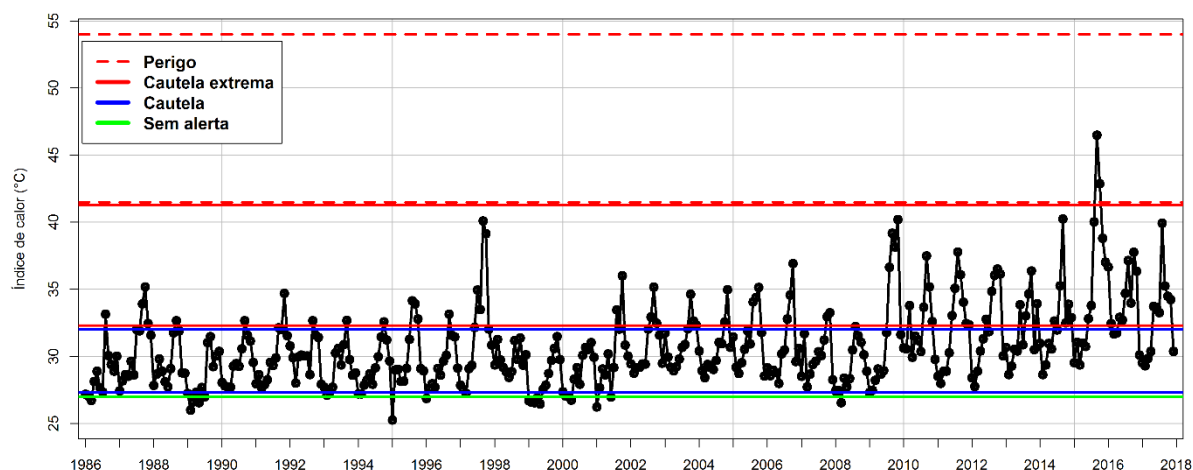
A estatística descritiva mensal do índice de calor está contida na Tabela 3. Onde é possível analisar que para o período de agosto a setembro os valores médios encontram-se na faixa de cautela extrema, que de acordo com o Instituto Nacional de Meteorologia é a estação menos chuvosa no município (INMET, 2019). Fisch et al. (1998) afirmam que são nesses meses que quantidade de radiação solar que chega à superfície é maior, ocasionado por que a influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) na atividade convectiva na região de Manaus é menor. A maior média é observada no mês de setembro e a menor em março, nota-se uma pequena variação mensal, com exceção do período de agosto a novembro. O que pode justificar essa baixa variabilidade é que municípios próximos a linha do equador mostram uma baixa amplitude térmica. Altos valores de umidade relativa do ar são vistos durante o ano inteiro, causado pela influência da floresta amazônica no município (ASNANI, 2005; REBOITA et al., 2010).

**Tabela 3.** Estatística descritiva do índice de calor para o período de 1986 a 2017.

	n	Média	Md	V	S	LI	LS	Min.	Max.
<b>Janeiro</b>	31	28,8	28,2	4,7	2,2	27,4	29,7	25,2	36,7
<b>Fevereiro</b>	31	28,6	28,6	2,4	1,5	27,5	29,2	26,0	32,4
<b>Março</b>	31	28,5	28,7	2,2	1,5	27,7	29,2	26,5	33,8
<b>Abril</b>	31	28,9	28,9	1,5	1,2	28,1	29,6	26,7	31,8
<b>Mai</b>	31	29,5	29,3	2,4	1,6	28,6	30,3	26,4	33,8
<b>Junho</b>	31	30,0	29,5	4,1	2,0	28,6	32,0	27,0	33,9
<b>Julho</b>	31	30,6	30,4	4,4	2,1	29,2	31,9	27,0	35,1
<b>Agosto</b>	31	32,8	32,5	8,8	3,0	30,8	34,1	28,6	40,0
<b>Setembro</b>	31	34,0	32,9	12,9	3,6	31,5	35,2	29,7	46,5
<b>Outubro</b>	31	33,7	32,7	9,7	3,2	31,6	35,4	29,2	42,9
<b>Novembro</b>	31	32,0	31,5	7,8	2,8	30,4	33,4	28,6	40,2
<b>Dezembro</b>	31	30,4	30,0	3,3	1,8	29,4	21,0	27,9	37,0

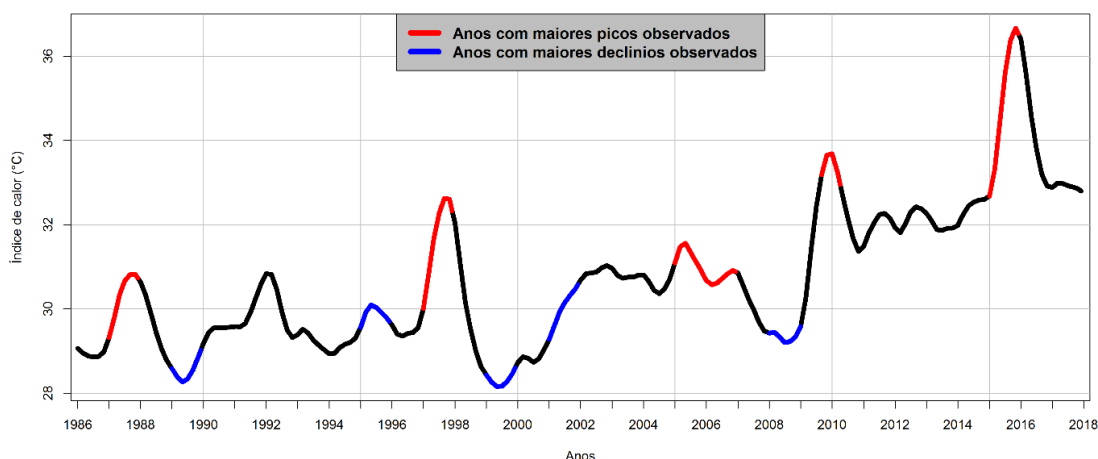
n: Número de amostras; Md: Mediana; V: variância; S: Desvio-Padrão; LI e LS: Limite inferior e superior do intervalo para média; Min: Valor Mínimo; Máx: Valor Máximo, todos na escala Celsius.

A série temporal do índice de calor é apresentada na Figura 2. De acordo com os níveis de risco, nota-se que a variabilidade ocorre de forma predominante entre as categorias de cautela e cautela extrema. Dos 385 meses analisados somente 16 mostraram valores na escala sem alerta, destes 75% ocorreram antes dos anos 2000 e somente 25% após. Também é possível observar que desde 2010 não são observados meses para essa categoria. O maior e o menor registro observado durante todo o período ocorreram em 2015 e 1995, respectivamente. O que pode ser um indício de que mudanças no microclima de Manaus estão ocorrendo.



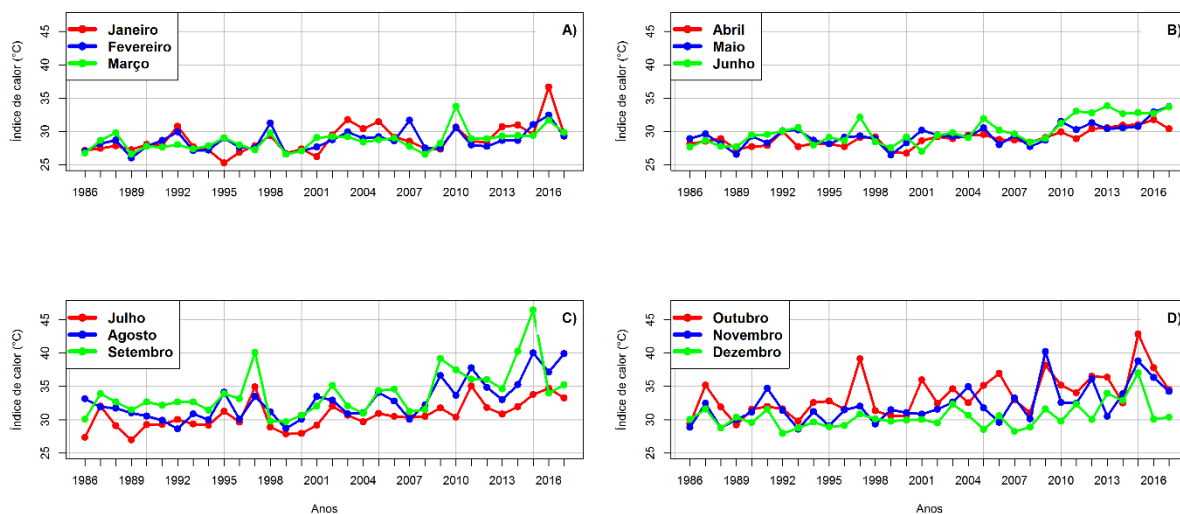
**Figura 2.** Série temporal do índice calor em Manaus para o período de 1986 a 2017.

A Figura 3 apresenta a tendência da série do IC. São destacados em vermelho os anos de 1987, 1992, 1997, 2005, 2009, 2010 e 2015 que foram os maiores picos observados e 1989, 1999 e 2008 em azul os maiores declínios. Conforme afirmam Oliveira et al. (2018), eventos climáticos de origem oceânica como o ENOS e o dipolo do Atlântico exercem forte influência na bacia amazônica, que dependendo da fase e de sua intensidade podem ocasionar alterações positivas ou negativas em condições meteorológicas na região. É possível observar que até o início do século XXI a periodicidade dos picos e declínios era mais homogêneo quando comparado com o período subsequente.



**Figura 3.** Tendência do índice de calor em Manaus – AM no período de 1986 a 2017.

O comportamento mensal do índice de calor é apresentado de forma trimestral na Figura 4. Os dois primeiros trimestres mostram comportamento semelhante com valores entre 23 °C e 37° C. No segundo semestre, todos os meses mostram alta variabilidade, principalmente setembro e dezembro. É observado um comportamento crescente, que é nítido nos meses do terceiro trimestre (Figura 4B), principalmente no mês de agosto. Em regiões tropicais, a variabilidade de elementos meteorológicos é mais intensa no segundo semestre do ano devido aos sistemas dinâmicos de grande escala e condições termodinâmicas conforme mostrado por Santos et al. (2015).



**Figura 4.** Comportamento mensal do índice de calor A) janeiro-março; B) abril-junho; C) julho-setembro; D) outubro-dezembro em Manaus para o período de 1986 a 2017.

O resultado do teste de Mann-Kendall está contido na Tabela 3. Observa-se que para todos os meses, os pressupostos do teste foram satisfeitos, ou seja, o MK indica um aumento significativo IC durante todos os meses do ano. Os maiores valores de Z foram vistos nos meses de agosto e novembro que demarcam o início e término, respectivamente, da estação menos chuvosa no município conforme dito anteriormente. Salviano et al. (2016), utilizando o MK em Manaus, identificaram tendências significativas nos parâmetros meteorológicos utilizados no cálculo do índice de calor, onde para a temperatura apenas o mês de setembro não mostra aumento com significância estatística e para a umidade relativa do ar um aumento significativo é observado somente no mês de julho, os resultados apontam que mesmo quando o MK não captar alterações nos parâmetros de entrada do IC, o índice mostra resultado distinto.

**Tabela 3.** Teste de Mann-Kendall mensal aplicado ao em Manaus para o período de 1986 a 2017.

Meses	Z	Valor-p
Janeiro	2,92	0,003508*
Fevereiro	2,45	0,01434*
Março	2,90	0,003699*
Abril	4,07	0,0000046*
Maio	3,29	0,000995*
Junho	3,88	0,0001063*
Julho	3,86	0,0001134*
Agosto	3,52	0,0004332*
Setembro	2,90	0,003699*
Outubro	3,29	0,000995*
Novembro	3,52	0,0004332*
Dezembro	2,16	0,03102*

\*: significativo a 5%.

Como citado acima, a investigação por mudanças em variáveis meteorológicas como a temperatura e a umidade relativa do ar pode divergir da mesma busca em um índice biometeorológico que utilizam esses mesmos parâmetros para gerar tais índices. Estudos como o de Lafferty (2009) buscam analisar o efeito de mudanças em elementos meteorológicos a fim de avaliar seu impacto na saúde humana, Parsons (2014) assinala que uma das melhores formas de representar os efeitos do ambiente na saúde humana é pelo conforto térmico. De acordo com o IPCC (2007), um dos maiores interesses nos estudos de mudanças climáticas é o efeito elas podem causar nos seres humanos. Diante disso, estudos como este podem ajudar a melhorar o entendimento de alterações em condições meteorológicas e seus efeitos na sociedade em geral.

O Teste de Pettitt (Tabela 4) mostra que todos os meses apresentam um ponto de mudança significativo, que ocorreu na primeira década do século XXI. Entretanto, é possível observar que essa alteração não aconteceu no mesmo ano, em 2000 e 2001 o ponto de mudança é observado em janeiro, fevereiro, abril, julho, outubro e novembro, nos meses de agosto e setembro foi captado em 2008 e para 2009 em março, maio e julho. O estudo de Desai e Dhorde (2018) mostra que tendências progressivas positivas no índice de calor em cidades da Índia tem seu ponto de mudança observado partir de 1990, resultados semelhantes foram observados em nosso estudo.

**Tabela 4.** Teste de Pettitt aplicado no IC de Manaus-AM para o período de 1986 a 2017.

Meses	Ano de Mudança	Valor-p
Janeiro	2001	0,002338*
Fevereiro	2001	0,0068*
Março	2009	0,03307*
Abril	2001	0,001646*
Maio	2009	0,003763*
Junho	2009	0,003763*
Julho	2001	0,004298*
Agosto	2008	0,002683*
Setembro	2008	0,004591*
Outubro	2000	0,007677*
Novembro	2001	0,01182*
Dezembro	2008	0,006474*

\*: significativo a 5%.

Os resultados do estimador de tendência de Sen estão contidos na Tabela 5. A maior intensidade é observada no mês de agosto de 0,20 °C, e a menor em dezembro de 0,06 °C. Para os meses de agosto a outubro são observadas as maiores magnitudes, que coincide o período onde as medias se apresentam na categoria de cautela extrema, ou seja, o maior aumento observado ocorre no período nos meses de maior desconforto térmico na cidade de Manaus. O estudo de Emmanuel (2005) também realizado em um centro urbano com clima quente e úmido, observa um aumento com significância estatística nos níveis de conforto térmico de aproximadamente 0,07 °C, resultados que corroboram com os obtidos no presente estudo.

**Tabela 5.** Estimador de tendência de Sen mensal de Manaus para o período de 1986 a 2017.

Meses	Z	Magnitude (°C)	Valor-p
Janeiro	2,92	0,10	0,003508*
Fevereiro	2,45	0,07	0,01434*
Março	2,90	0,07	0,003699*
Abril	4,07	0,09	0,000004695*
Mai	3,29	0,09	0,000995*
Junho	3,88	0,15	0,0001063*
Julho	3,86	0,13	0,0001134*
Agosto	3,52	0,20	0,0004332*
Setembro	2,90	0,16	0,003699*
Outubro	3,29	0,19	0,000995*
Novembro	3,52	0,15	0,0004332*
Dezembro	2,16	0,06	0,03102*

\*: significativo a 5%.

A partir dos resultados é possível observar que entre 1986 e 2002, somente 6,5% dos meses se mostram na categoria cautela extrema, enquanto para o período de 2003 a 2017, um total de 16,7% dos meses foram observados nessa categoria, além de ser nesse segundo período que os meses na escala de perigo foram identificados. Geirinhas et al. (2018) mostram que a ocorrência de ondas de calor em Manaus vem aumentando desde o início deste século, corroborando com nosso estudo que identifica um aumento expressivo nos valores mensais do índice de conforto. Condições de calor, principalmente quando acompanhado de elevados valores de umidade relativa do ar, podem comprometer as atividades termorreguladoras do corpo humano e pode causar hipotermia e demais disfunções térmicas (SHERWOOD e HUBER, 2010).

De acordo com Monteiro et al. (2016), as condições térmicas de Manaus são diretamente relacionadas com a verticalização urbana da cidade e Carvalho et al. (2014) apontam que no município a vegetação age como um importante fator para que o ambiente seja termicamente confortável, portanto, as tendências observadas nesse estudo podem estar relacionadas com o crescimento urbano observado no município, uma vez que de acordo com dados do IBGE mostrados por Fiocruz (2010), para o período de 1991 a 2009 foi observado um aumento populacional de aproximadamente 80%. Barbosa et al. (2015) afirmam que durante o período seco a sensação de desconforto térmico é maior, resultados que também foram observados no presente estudo, e ressaltando que foi nesse período que as maiores magnitudes foram encontradas, ultrapassando 0,12 °C.

Estudos que analisam alterações no conforto térmicos ainda são escassos na região Norte do Brasil. Desai e Dhorde (2018) afirmam que a temperatura e umidade relativa do ar são variáveis meteorológicas que exercem grande influência no conforto térmico, caso tendências sejam captadas nesses fatores. Almeida et al. (2017) identificam um aumento na temperatura de Manaus de 0,03 °C.ano<sup>-1</sup>, e Souza e Alvavá (2014) mostram que a área urbana mostra em média 1,7% a mais de umidade relativa do ar do que áreas vizinhas não urbanizadas. Nosso estudo colabora com pesquisas anteriores que buscaram avaliar os efeitos antrópicos em Manaus e fornece

informações de alterações no conforto térmico do município (SILVA e AGUIAR, 2012; CARVALHO et al., 2014; SOUZA e ALVAVÁ, 2014).

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados foi possível detectar tendências positivas com significância estatística no conforto térmico mensal de Manaus com magnitudes acima de 0,05 °C, que indicam que o microclima está sofrendo modificações. Dentro do contexto de mudanças no ambiente, os efeitos na saúde humana são os mais pertinentes, alterações no conforto térmico podem ser um indicador de alterações no microclima do município. A investigação dos fatores responsáveis por modificações nas condições térmicas precisa de uma análise mais detalhada, o presente estudo destaca a necessidade de avaliar os efeitos do desconforto térmico na adaptação humana e no desenvolvidos de estratégias que busquem medidas para melhorar esse conforto. Ressalta-se que a continuidade dessas tendências poderá resultar em impactos relevantes no ambiente urbano de Manaus.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C. T.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; DELGADO, R. C.; CUBO, P.; RAMOS, M. C. Spatiotemporal rainfall and temperature trends throughout the Brazilian Legal Amazon, 1973–2013. *International Journal of Climatology*, Estados Unidos, v.37, n.4, p.2013-2026, 2017.

ALVES, A. K.; DE JESUS, A. T. C.; DE MACÊDO, K. C.; SAMPAIO, M. D. M. A. Avaliação do Conforto Urbano Sob a Influência da Vegetação na Cidade de Cuiabá-MT. *Engineering and Science*, Estados Unidos, v.6, n.1, 106-121, 2017.

ASNANI, G. C. *Tropical meteorology*. India: Indian Institute of Tropical Meteorology, 2005, p. 1202.

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

BARBOSA, P. H. D.; DA COSTA, A. C. L.; DA CUNHA, A. C.; JUNIOR, J. D. A. S. Variabilidade de elementos meteorológicos e de conforto térmico em diferentes ambientes na Amazônia. *Revista Brasileira de Climatologia*, São Paulo, v.17, n.1, p.98-118, 2015.

CARVALHO, J. S.; ARAUJO, R. L. C.; SILVA, C. A.; BASÍLIO, C. M. Avaliação de conforto térmico urbano, com base em dados de temperatura—um estudo de caso na cidade de Manaus. *Scientia Amazonia*, Manaus, v. 3, n.1, p.65-74, 2014.

COSTA, A. C. L.; SILVA JUNIOR, J. A.; CUNHA, A. C.; FEITOSA, J. R. P.; PORTELA, B. T. T.; GUIMARAES, G. C.; COSTA, R. F. Índices de conforto térmico e suas variações sazonais em cidades de diferentes dimensões na Região Amazônica. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Pernambuco, v. 06, n.1, p. 478-487, 2013.

COSTA, A. C.; RODRIGUES, H. J. B.; COSTA, J. L. O.; SOUZA, P. F. S.; SILVA JUNIOR, J.A.; COSTA, A. C. L. Variações termo-higrométricas e estudo de ilha de calor urbana na cidade de Bragança - PA e circunvizinhança. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Pernambuco, v. 9, n.1, p. 571-584, 2016.

DE FREITAS, C. R.; GRIGORIEVA, E. A. A comparison and appraisal of a comprehensive range of human thermal climate indices. *International journal of biometeorology*, Alemanha, v.61, n.3, p.487-512, 2017.

DE FREITAS, C. R.; GRIGORIEVA, E. A. A comprehensive catalogue and classification of human thermal climate indices. *International journal of biometeorology*, Alemanha, v.59, n.1, p.109-120, 2015.

DENSKI, A. P. N.; BACK, Á. J. Tendência climatológica nos elementos meteorológicos e na evapotranspiração de referência de Urussanga-SC. *Revista Brasileira de Climatologia*, São Paulo, v.17, n.11, p.259-271, 2015.

DESAI, M. S.; DHORDE, A. G. Trends in thermal discomfort indices over western coastal cities of India. *Theoretical and applied climatology*, Estados Unidos, v.131, n.4, p.1305-1321, 2018.

EMMANUEL, R. Thermal comfort implications of urbanization in a warm-humid city: the Colombo Metropolitan Region (CMR), Sri Lanka. *Building and environment*, Estados Unidos, v.40, n.12, p.1591-1601, 2005.

FANGER, P. O. *Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering*. Dinamarca: Danish Technical Press, Copenhagen, 1970, p.244.

FEARNSIDE, P. M. The roles and movements of actors in the deforestation of Brazilian Amazonia. *Ecology and Society*, Atlanta, v.13, n.1, p. 1-23, 2008.

FIOCRUZ. *Diagnóstico preliminar da vulnerabilidade e as previsões dos efeitos das mudanças climáticas na saúde pública no município de Manaus*, 2010.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta amazonica*, Manaus, v.28, n.2, p.101-126, 1998.

GOMES, C. S.; COSTA, M.S.; COUTINHO, M.D.L.; VALE, R.S.; SANTOS, M.S.; 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*, São Paulo, v. 17, n.11, p.82-97, 2015.

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, 2018.

HELSEL, D.R.; HIRSCH R.M. *Statistical Methods in Water Resources*. Reston: Geological survey, 2002. p. 524.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. < [www.ibge.gov.br/censo2010](http://www.ibge.gov.br/censo2010) >. Acesso em 28 de março de 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em < <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/22374-ibge-divulga-as-estimativas-de-populacao-dos-municipios-para-2018> >. Acesso em 20 de março de 2019.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em < [www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep](http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep) >. Acesso em 10 de abril de 2019.

IPCC. *Mudança do Clima 2007: A Base das Ciências Físicas. Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima*. Paris, 2007.

JIMÉNEZ-MUÑOZ, J. C.; MATTAR, C.; BARICHIVICH, J.; SANTAMARÍA-ARTIGAS, A.; TAKAHASHI, K.; MALHI, Y.; VAN DER SCHRIER, G. Record-breaking warming and extreme drought in the Amazon rainforest during the course of El Niño 2015–2016. *Scientific reports*, Estados Unidos, v.6, n.1, p.1-7, 2016.

KENDALL, M.G. *Rank Correlation Methods*, 1976.

LAFFERTY, K. D. The ecology of climate change and infectious diseases. *Ecology*, Estados Unidos, v.90, n.4, p.888–900, 2009.

LIMA, L. D. C.; LEDER, S. M.; SILVA, L. B. D.; SOUZA, E. L. D. Outdoor thermal comfort in a hot and humid climate: case study in an urban park in the Atlantic Forest Biome. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 19, n.2, p.109-127, 2019.

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, 2013.

LOBATO, G. D. J. M.; MARTORANO, L. G.; LUCAS, F. C. A.; TAVARES-MARTINS, A. C. C.; JARDIM, M. A. G. Condições térmico-hídricas e percepções de conforto ambiental em quintais urbanos de Abaetetuba, Pará, Brasil. *Ra'e Ga*, Paraná, v.38, n.1, p.243-266, 2016.

MANN, H. B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, Nova Jersey, v.13, n.3, p.245-259, 1945.



MONTEIRO, J. C. R.; ARIDE, P. H. R.; OLIVEIRA, A. T. D.; SANTOS, S. M. D.; PANTOJA-LIMA, J.; HEYER, L. F. Descrição da temperatura e umidade relativa do ar em distintas localidades da cidade de Manaus com diferentes geometrizações e espacialidades urbanas nos bairros do parque dez, nova cidade e bairro centro-Manaus/AM. *REVISTA IGAPÓ-Revista de Educação Ciência e Tecnologia do IFAM*, Manaus, v.10, n.1, p.25-45, 2016.

NAVIDADE, 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.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponível em <<https://www.weather.gov/safety/heat-index>>. Acesso em 28 de março de 2019.

OLIVEIRA, T. C. S.; DELGADO, R. C.; MAGISTRALI, I. C.; DOS SANTOS, G. L., DE CARVALHO, D. C.; TEODORO, P. E.; CAÚLA, R. H. Spectral trend of vegetation with rainfall in events of El Niño-Southern Oscillation for Atlantic Forest biome, Brazil. *Environmental monitoring and assessment*, Estados Unidos, v.190, n.11, p.1-14, 2018.

PARSONS, K. *Human thermal environments: the effects of hot, moderate, and cold environments on human health, comfort, and performance*. Estados Unidos: CRC press, 2014, p. 538.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, Munique, v.4, n.2, p.439-473, 2007.

PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied statistics*, Estados Unidos, v.28, n.2, p.126-135, 1979.

POHLERT, T. *trend: Non-Parametric Trend Tests and Change-Point Detection*, 2018. R package version 1.1.1.

RAMIREZ-BELTRAN, N. D.; GONZALEZ, J. E.; CASTRO, J. M.; ANGELES, M.; HARMSSEN, E. W.; SALAZAR, C. M. Analysis of the heat index in the mesoamerica and caribbean region. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Estados Unidos, v.56, n.11, p.2905-2925, 2017.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; DA ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, v.25, n.2, p. 185-204, 2010.

ROSE, A. L. Impact of urbanization on the thermal comfort conditions in the hot humid city of Chennai, India. *Recent Advances in Space Technology Services and Climate Change*, Piscataway, v. 1, n.1, p. 262-267, 2010.

ROTHFUSZ, L. P. The Heat Index "Equation" (or, More Than You Ever Wanted to Know About Heat Index). *Technical Attachment*, 1990.

SALVIANO, M. F.; GROPPPO, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São José dos Campos, v.31, n.1, p.64-73, 2016.

SANTOS, E. B.; LUCIO, P. S.; SANTOS, C. M. Precipitation regionalization of the Brazilian Amazon. *Atmospheric Science Letters*, Estados Unidos, v.16, n.3, p.185-192, 2015.

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.

SILVA, B. A.; XAVIER, T. C.; DE ALVAREZ, C. E. A influência da vegetação no conforto térmico para a condição microclimática de Vitória (ES). *Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes*, São Paulo, v.3, n.8, p.1-15, 2015.

SILVA, D. A.; AGUIAR, F. E. O. Ilha de calor na cidade de Manaus: especulação ou realidade? *Revista Geonorte*, Manaus, v.1, n.6, p.49-65, 2012.

SILVA JÚNIOR, J. A.; COSTA, A. C. L.; PEZZUTI, J. C. B.; COSTA, R. F.; GALBRAITH, D. Análise da distribuição espacial do conforto térmico na cidade de Belém, PA no período menos chuvoso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, Pernambuco, v.2, n.1, p.218-232, 2012.

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*, Alemanha, v.26, n.1, p.211-224, 2012.

SHERWOOD, S. C.; HUBER, M. An adaptability limit to climate change due to heat stress. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Estados Unidos, v.107, n.21, p.9552-9555, 2010.

SOUZA, D. O.; ALVALÁ, R. C. S. Observational evidence of the urban heat island of Manaus City, Brazil. *Meteorological Applications*, Estados Unidos, v.21, n.2, p.186-193, 2014.

STEADMAN, R. G. The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. *Journal of applied meteorology*, Estados Unidos, v.18, n.7, p.861-873, 1979.

ULIANA, E. M.; DA SILVA, D. D.; ULIANA, E.M.; SILVEIRA RODRIGUES, B.; DE PAULA CORRÊDO, L. Análise de tendência em séries históricas de vazão e precipitação: uso de teste estatístico não paramétrico. *Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, Taubate, v.10, n.1, p.82-88, 2015.

VALE, R. S.; GOMES, A.C.S.; SANTANA, R. A. S.; TOTA, J.; MILLER, S. D.; SOUSA, R. A. F. Hydroclimatic variables associated with El Nino and La Nina events at the

Curuá-una hydroelectric reservoir, Central Amazonia. *Acta Amazonica*, Manaus, v.46, n.3, p.303-308, 2016.

VIEIRA, A. S. A.; CRISPIM, D. L.; RODRIGUES, R. S. S.; SILVA, I. Q.; PESSOA, F. C. L. Resposta hidrológica às mudanças climáticas em Caparema-PA um município da Amazônia. *Revista Geonorte*, Manaus, v.9, n.32, p.67-79, 2018.

YADAV, R.; TRIPATHI, S. K.; PRANUTHI, G., DUBEY, S. K. (2014). Trend analysis by Mann-Kendall test for precipitation and temperature for thirteen districts of Uttarakhand. *Journal of Agrometeorology*, Estados Unidos, v.16, n.2, 164-171.

YEVJEVICH, V. Stochastic process in hydrology. *Water Resources*, 1972.

YUE, S.; PILON, P.; CAVADIAS, G. Power of the Mann–Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of hydrology*, Alemanha, v. 259, n.1, p.254-271, 2002.

**Recebido em 01/10/2018**  
**Aceito em 06/05/2019**