

## EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA TEMPERATURA DO AR DA CIDADE DE BOA VISTA – RORAIMA

## HISTORICAL EVOLUTION OF THE AIR TEMPERATURE IN THE CITY OF BOA VISTA – RORAIMA

## EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA TEMPERATURA DEL AIRE EN LA CIUDAD DE BOA VISTA - RORAIMA

**Carlos Sander**

Universidade Federal de Roraima

sandergeo@yahoo.com

**Fábio Luiz Wankler**

Universidade Federal de Roraima

fabio.wankler@ufr.br

**Danielle Alves da Silva**

Universidade Federal de Roraima

cdanikiti14@gmail.com

**Wellington Farias Araújo**

Universidade Federal de Roraima

wellington.araujo@ufr.br

**RESUMO:** O clima tem passado por alterações significativas a partir do Século XX em escala global e regional e se mostram eminentes de forma bem clara na dinâmica da temperatura do ar. Estudos térmicos realizados na Amazônia Setentrional são ainda incipientes, especialmente quando tratados em escalas locais. O presente estudo tem como objetivo avaliar a dinâmica da temperatura do ar na cidade de Boa Vista, Roraima, para o período de 1944 a julho/2024. A metodologia compreendeu a análise de temperaturas médias, máximas e mínimas anuais, mensais e diárias ao longo da série histórica, para os períodos de normais climatológicas de 1961-1990 e 1991-2020 até o período atual. A segunda etapa abrangeu a análise das condições térmicas para os períodos de ocorrência dos eventos de El Niño e La Niña. Os resultados mostram que as temperaturas anuais oscilaram 3,5°C, determinando uma temperatura média de 28,7°C (1944-2023), na qual 93,55% dos valores acima da média ocorreram após 1991. As médias mensais indicaram uma variação positiva de 08°C entre os períodos de normais climatológicas (1961-1990 e 1990-2020). Após o segundo período, foi observado uma aceleração das condições térmicas para o período atual (2021-julho/2024) com ganho médio mensal de 1,7°C. Tal dinâmica ficou bem evidente no cálculo de frequência de temperaturas mensais e no desempenho térmico diário. Os eventos de El Niño e La Niña influenciaram a curto prazo, com destaque nos valores de mensais e diárias. O primeiro evento mostrou forte associação com o aumento da temperatura, enquanto os eventos de La Niña apresentam uma propensão à redução das temperaturas.

**Palavras-chave:** Série histórica; temperatura do ar; oscilações climáticas; Boa Vista, Roraima.

**ABSTRACT:** The climate has undergone significant changes since the 20th Century on a global and regional scale, and these changes are clearly evident in the dynamics of air temperature. Thermal studies carried out in the Northern Amazon are still incipient, especially when treated on a local scale. The present study aims to evaluate the dynamics of air temperature in the city of Boa Vista, Roraima, for the period from 1944 to July/2024. The methodology included the analysis of average, maximum and minimum annual, monthly and daily temperatures throughout the historical series, for the periods of climatological normals from 1961-1990 and 1991-2020 to the present period. The second stage included the analysis of thermal conditions for the periods of occurrence of El Niño and La Niña events. The results show that annual temperatures fluctuated by 3.5°C, determining an average temperature of 28.7°C (1944-2023), in which 93.55% of the values above the average occurred after 1991. The monthly averages indicated a positive variation of 08°C between the periods of climatological normals (1961-1990 and 1990-2020). After the second period, an acceleration of thermal conditions was observed for the current period (2021-July/2024) with an average monthly gain of 1.7°C. This dynamic was very evident in the calculation of the frequency of monthly temperatures and in the daily thermal performance. The El Niño and La Niña events have short-term thermal influences, with emphasis on the monthly and daily values. The first event showed a strong association with the increase in temperature, while the La Niña events show a propensity for a decrease in temperatures.

**Keywords:** Historical series; air temperature; climate oscillations; Boa Vista, Roraima.

**RESUMEN:** El clima ha experimentado cambios significativos desde el Siglo XX a escala global y regional, y estos cambios son claramente evidentes en la dinámica de la temperatura del aire. Los estudios térmicos realizados en la Amazonía norte son aún incipientes, especialmente cuando se tratan a escala local. El objetivo de este estudio fue evaluar la dinámica de la temperatura del aire en la ciudad de Boa Vista, Roraima, desde 1944 hasta julio de 2024. La metodología incluyó el análisis de las temperaturas medias, máximas y mínimas anuales, mensuales y diarias a lo largo de la serie histórica, para los períodos normales climatológicos 1961-1990 y 1991-2020 hasta el período actual. En la segunda etapa se analizaron las condiciones térmicas para los períodos en los que se produjeron los fenómenos de El Niño y La Niña. Los resultados muestran que las temperaturas anuales fluctuaron 3,5°C, determinando una temperatura media de 28,7°C (1944-2023), en la que el 93,55% de los valores superiores a la media se produjeron después de 1991. Las medias mensuales mostraron una variación positiva de 08°C entre los períodos climatológicos normales (1961-1990 y 1990-2020). Después del segundo período, se observó una aceleración de las condiciones térmicas para el período actual (2021-julio/2024) con una ganancia media mensual de 1,7°C. Esta dinámica se puso claramente de manifiesto en el cálculo de las frecuencias mensuales de temperatura y el rendimiento térmico diario. Los eventos El Niño y La Niña tuvieron una influencia a corto plazo, particularmente en los valores mensuales y diarios. El primer evento mostró una fuerte asociación con un aumento de la temperatura, mientras que los eventos de La Niña tienen tendencia a reducir las temperaturas.

**Palabras clave:** Series históricas; temperatura del aire; oscilaciones climáticas; Boa Vista, Roraima.

## 1. INTRODUÇÃO

O clima é o resultado da manifestação de elementos meteorológicos que são afetados pelos controles climáticos. Sua conjunção pode resultar em uma assinatura particular a cada localidade para um determinado momento histórico. Mesmo que dentro de uma escala global pareça fácil entender o zoneamento climático (áreas tropicais, temperadas, desérticas e subpolares/polares), a nível regional fica bem mais evidente o dinamismo das condições meteorológicas e, por fim, a afirmação individual dos tipos climáticos.

A condição térmica de uma localidade envolve o trânsito de energia, a estrutura físico-química da atmosfera, a umidade e as características físicas, sendo esta última influenciadas também pela ação antrópica. Tem em sua estrutura a expressão de fenômenos de ação de larga escala (ZCIT, ENOS, disposição de centros de ações, etc.) com efeitos na circulação de energia e umidade. As implicações destes fenômenos têm apresentado um agravamento dado o avanço das condições térmicas globais (NOAA, 2024).

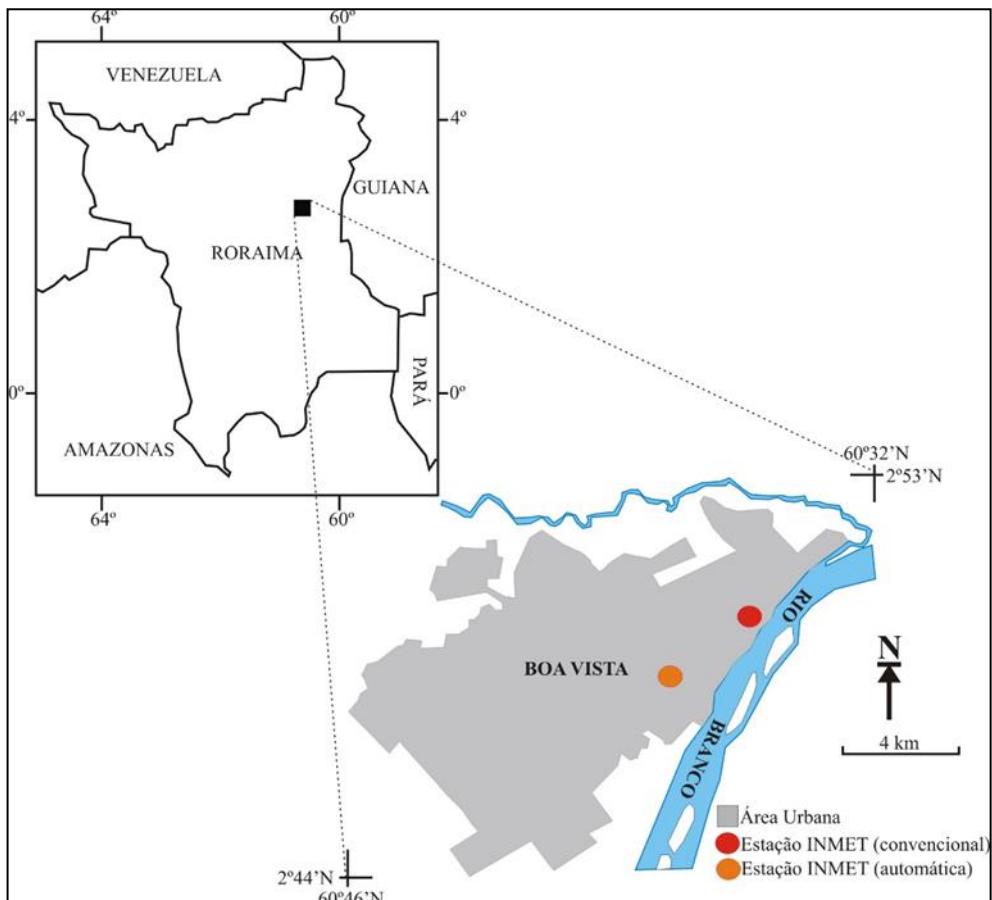
Apesar da atenção dada a Amazônia, especialmente dentro de uma discussão climática global, os estudos têm sido gerenciados principalmente dentro de uma escala de Macroclima, com predominante aplicação de modelos climáticos. Essa situação se dá pela pequena malha de monitoramento meteorológico (em detalhe e com séries prolongadas) de acesso público, fruto também do isolamento das comunidades e grandes vazios demográficos na região, que acabam por afetar a instalação e manutenção de uma rede meteorológica satisfatória.

O estado de Roraima comunga com parte das problemáticas acima mencionadas. Apesar de contar com uma rede de monitoramentos de chuva que permitem um melhor entendimento da dinâmica climática regional, o monitoramento meteorológico mais complexo se dá somente em Boa Vista e Caracaraí, tendo a capital uma série histórica mais prolongada no Estado. Estudos da dinâmica climática regional passaram a ser objeto de estudos climáticos mais frequentes a partir do final da década de 1990 com as contribuições de Barbosa (1996), Araújo, Costa e Santos (2007), Evangelista, Sander e Wankler (2008), Silva *et al.* (2015), Sander, Wankler e Carvalho (2018), Barni *et al.* (2020) e Araújo *et al.* (2024). Apesar disso, estes trabalhos priorizaram estudos de evapotranspiração, a dinâmica pluviométrica regional e o zoneamento dos tipos climáticos. Uma apreciação mais detalhada sobre a dinâmica térmica se deu com Silva (2018), analisando o histórico de temperatura do ar de Boa Vista, sendo o caráter evolutivo da temperatura do ar também destacado por Araújo *et al.* (2024).

O presente estudo busca caracterizar a dinâmica térmica do clima da cidade de Boa Vista, Roraima, durante o período compreendido entre 1944 e julho/2024, destacando o processo evolutivo considerando o avanço da temperatura global e a ocorrência de episódios de El Niño e La Niña.

### 1.1 Área de estudo

O trabalho foi desenvolvido em Boa Vista, capital do estado de Roraima, na Amazônia Setentrional, posicionada entre as coordenadas  $60^{\circ} 32' 32''$  –  $60^{\circ} 46' 59''\text{W}$  e  $2^{\circ} 53' 11''$  –  $2^{\circ} 44' 45''\text{N}$  (Figura 1). Com uma população de 413.486 habitantes (IBGE, 2022), instalada na margem direita do rio Branco, a cidade está posicionada em terrenos planos, marcados por ambientes mal drenados, a áreas de topografia moderada, associadas à Formação Boa Vista, uma cobertura sedimentar de idade pleistocênica, com altitudes oscilando entre 60 a 95 m (IBGE, 2005; IBGE, 2010; TOPOGRAPHIC-MAP, 2024).



**Figura 1** - Localização da área de estudo, Boa Vista, Roraima. Fonte: Os autores.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen é do tipo Am, Tropical úmido com chuvas de verão e temperaturas médias anuais de 28,2°C, com valores oscilando entre 26,8 (julho) a 29,3 (outubro). A tipologia atual (1991-2020) se mostra diferenciada a situação climática antecessora (marcada pelo tipo climático Aw - Tropical de Savanas), passando a apresentar como resultado do aumento do volume e melhoria da distribuição das chuvas (SILVA et al., 2015; ARAÚJO et al., 2024; INMET, 2023). A estação chuvosa compreende os meses de abril a setembro, que concentra pouco mais 80% dos totais anuais precipitados no ano, com pluviosidade média de 1000mm de maio a julho. A forte umidade do período está associada ao avanço da massa Equatorial Continental (MEC), com origem na Amazônia Ocidental, e a ação da Zona de Convergência Intertropical (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007; EVANGELISTA, SANDER e WANKLER; 2008; SILVA et al., 2015; SANDER, WANKLER e CARVALHO, 2018; ARAÚJO et al., 2024).

O período de outubro a março é marcado pelo forte declínio pluviométrico, com precipitação média 300 mm, tendo seu momento mais crítico entre janeiro e março, que ocorre sobre influência da massa de ar Equatorial Atlântica (MEC). Durante tal fase é comum a propagação de queimadas a nível regional, favorecidas pelo forte déficit hídrico e a propagação de ventos na região (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007; EVANGELISTA, SANDER e WANKLER; 2008; SILVA et al., 2015; SANDER, WANKLER e CARVALHO, 2018; SILVA, SANDER e WANKLER, 2018; ARAÚJO et al., 2024). As características sazonais marcantes das estações chuvosa e seca na área de estudo acabam por definir uma tipologia vegetal pouco comum na amazônica, marcada pela presença de domínios savânicos (IBGE, 2005b; EVANGELISTA et al., 2008; SANDER, 2015; SANDER, WANKLER e CARVALHO, 2018).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

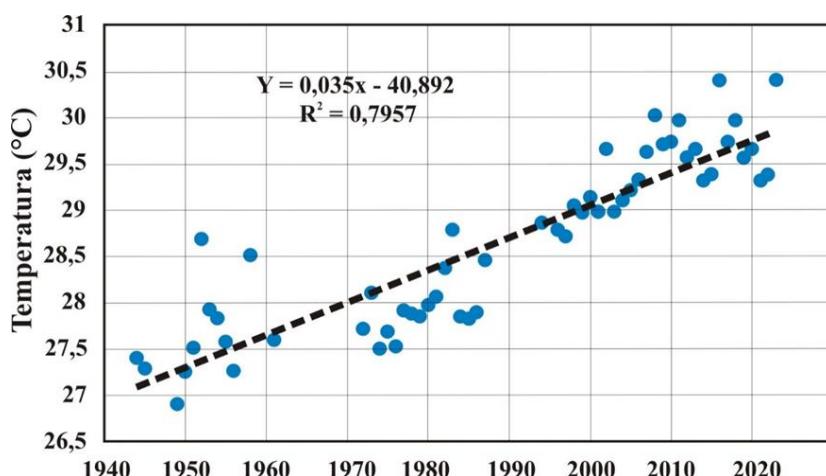
Os dados meteorológicos de Boa Vista, série 1944 a 2022, foram obtidos junto a estação meteorológica convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2024), localizada no bairro Canarinho, na parcela leste da capital. Para complemento da base de dados também foram consideradas dados da estação automática do INMET (cód. A 135), posicionada a 3,5 km da estação convencional. Para a correção de falhas no tratamento de dados foi considerada a metodologia De Gaetano *et al.* (1993).

A partir da interpretação dos dados foram geradas séries históricas anuais médias, máximas e mínimas de temperatura do ar do período de 1944-julho/2024. A partir dos valores médios anuais foi confeccionada uma linha de tendência para avaliar a evolução histórica térmica da área de estudo. Na fase seguinte, de forma mais detalhada, os dados foram classificados conforme os períodos de normais climatológicas de 1961-1990 e 1991-2020, assim como o período atual (2021-julho/2024). Por apresentar um melhor detalhamento dos dados (diários e mensais), esses períodos permitiram uma análise diferencial da dinâmica das temperaturas máximas médias e mínimas, destacando a variabilidade e as particularidades térmicas de cada série.

Para determinação da correlação da evolução térmica de Boa Vista com mudanças climáticas a nível continental e global foram consideradas as séries históricas do National Center for Environmental Information (NOAA, 2023), onde as comparações levaram em conta a mesma escala temporal. A caracterização da ocorrências dos episódios de *El Niño* e *La Niña* seguiu informações disponibilizadas por NOAA (2024) e INPE (2024).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com oito décadas de monitoramento (série 1944-2023) a cidade de Boa Vista apresentou uma temperatura média do ar de 28,7°C (Figura 2). A análise dos dados mostrou oscilações de 3,5°C nas médias anuais, com variações entre 26,9°C (1949) e 30,4°C (2023), tendo 54,39% dos anos apresentando valores acima da média histórica (MH). O intervalo de 1944 a 1988 foi dominado basicamente por valores abaixo da MH (92,86%), contabilizando uma temperatura média de 27,8°C (Figura 2). Durante tal período somente dois anos apresentaram números iguais ou superiores à média da série, com o maior registro em 1983 (28,8°C), seguido por 1952 (28,7°C). Já na fase posterior, de 1994 a 2023, 93,55% dos anos ficaram com temperaturas acima da média histórica, apresentando um valor medial para o período de 29,5°C.



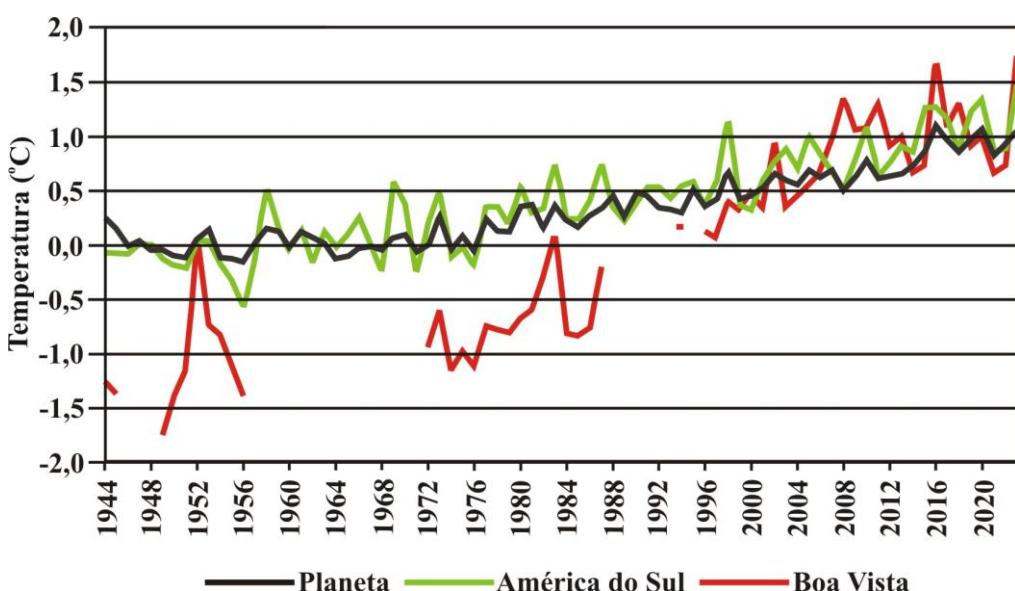
**Figura 2** - Evolução da temperatura média anual (série histórica 1944-2023) de Boa Vista, Roraima

(INMET, 2024).

A SH anual indicou uma tendência de aumento das temperaturas médias, ficando clara nas fases de normais climáticas consideradas (1961-1990 e 1991-2020) (Figura 2). Essa condição também identificada nos períodos precedentes (1944-1960) e que sucederam tais fases das normais (2021-06/2024). Este *trend* apresenta um crescimento progressivo das temperaturas ao longo das últimas décadas (Figura 3) (INMET, 2024; NOAA, 2023).

Com temperaturas de -1,8°C (1949) a 1,7°C (2023) em relação à média histórica (28,7°C), contabilizando uma oscilação de 3,5°C. No mesmo período a variação observada na América do Sul foi de 2,07°C, com médias entre -0,59 (1956) a 1,48°C (2023). Em termos globais, essa variação foi de 1,26°C, alternando entre -0,16°C (1964) a 1,10°C (2016) (NOAA, 2023). Interessante observar que apesar da disparidade, dado as diferenças de escala e arranjos territoriais, os períodos de ocorrência de mínimas e máximas térmicas são coincidentes (Figura 2). É necessário destacar que a partir da década de 1990, as oscilações de temperatura entre os diferentes ambientes passaram a apresentar maior sincronia na evolução e na intensidade. Esse fator pode estar sendo afetado pelo comportamento superfície local em um cenário geral do aquecimento Global, que traz efeitos concretos também nas temperaturas máximas e mínimas.

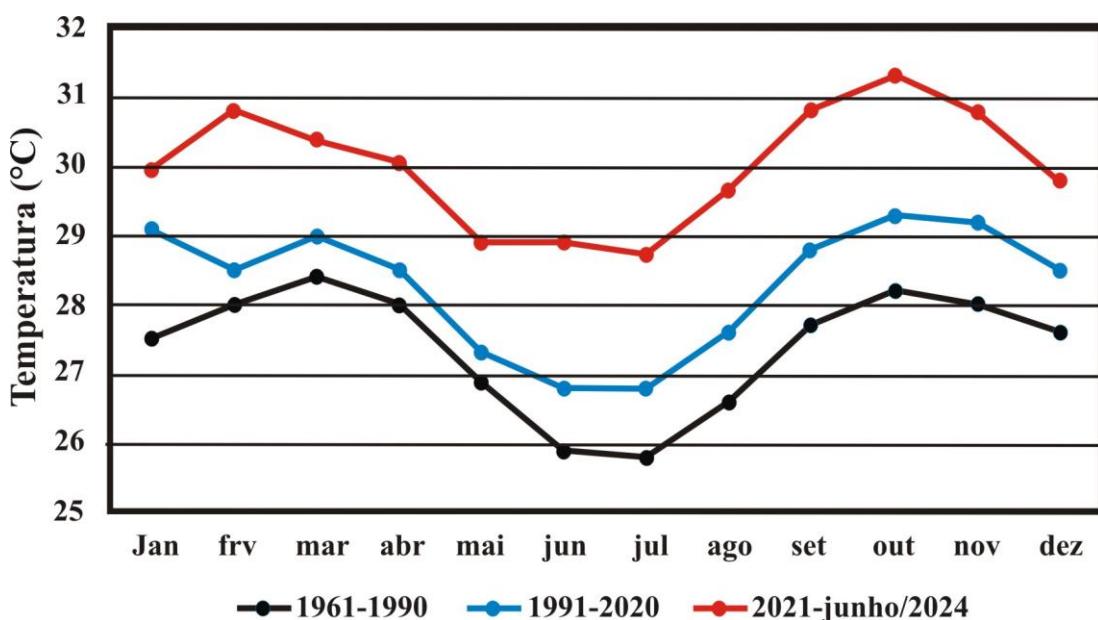
A mudança do perfil térmico de Boa Vista fica visível quando observamos o comportamento das médias mensais (Figura 4). De forma geral, durante os períodos de normais climatológicas e para o período atual são observados ciclos de temperaturas mais elevadas ao final e início da estação seca, marcado também pela proximidade da condição zenital na região. Uma exceção é a média do mês de janeiro (29,1°C) para o período 1991-2020, ultrapassando a marca do mês de março (29,1°C), mas inferior à média do mês de outubro (29,3°C). Em parte, esse comportamento pode estar relacionado a menor nebulosidade no período de janeiro em detrimento do aumento da umidade/chuvas para os meses de março e outubro, quando comparado as normais de 1961-1990. Já fase mais amena ocorre no período mais agudo da estação chuvosa, com os valores mais baixos ocorrendo entre junho e julho (ARAÚJO et al., 2024; INMET, 2024; ANA, 2024).



**Figura 3:** Oscilação da temperatura do ar Global (Oceanos e Continentes), da América do Sul e Boa Vista (RR), período 1944-2023 (INMET, 2024; NOAA, 2023).

A análise fragmentada da temperatura média mensal deixa ainda mais clara a progressão da escalada climática (Figura 4). Os três cenários destacam o crescimento termal mensal (já destacado nas Figuras 2 e 3). Entre os dois períodos de normais climáticas foi observado um acréscimo médio de 0,8°C. O período de menor variação foi entre os meses de fevereiro a maio (menor valor) com crescimento entre 0,4°C a 0,6°C. O maior avanço se deu entre setembro a janeiro com avanço médio de 1,2°C, sendo este último o mês com a maior contração (1,6°C).

O comportamento médio do segundo período de normais climatológicas em relação ao atual (2021-julho/2024), apesar de um curto período aferido, além de confirmar uma tendência de aquecimento global (HANSEN, SATO e RUEDY, 2022; MARENGO e SOUZA JR., 2018), mostra também uma aceleração da escalada da temperatura local. A fase atual apresenta um ganho médio mensal de 1,7°C em relação ao ciclo 1991-2020, com quatro meses apresentando avanço térmico superior a 2°C (fevereiro, junho, agosto e setembro). Outro fator importante é o registro de médias mensais superiores 30°C, computados em dois trimestres seguidos (fevereiro-abril e setembro-novembro), apresentando em seu pico uma média de 31,3°C (outubro). Ampliando um pouco essa última série fica visível que as térmicas apresentam a manutenção de tal padrão por mais de uma década (2012-atual), indo ao encontro de expectativas climáticas globais (HANSEN, SATO e RUEDY, 2022; MARENGO e SOUZA JR., 2018).



**Figura 4:** Variação medial mensal da temperatura média do ar para os ciclos de normais climatológicas (1961-1990 e 1991-2020) e a fase posterior (2021-junho/2024) (RAMOS et al., 2009; INMET, 2024).

As dinâmicas das temperaturas máximas mensais retratam ainda mais a evolução climática na área de estudo (Tabela 1). As temperaturas médias máximas mensais confirmaram as tendências observadas na dinâmica medial da série (Figuras 2, 3 e 4), apresentando um acréscimo médio de 1,5°C do período de normais de 1991-2020, em relação ao anterior (1961-1990) (Tabela 1). O período atual (2021-julho/2024) em relação ao último ciclo de normais manteve o padrão de avanço térmico, com um aumento de 1,8°C, com intensificação observada de forma clara a pelo menos uma década.

**Tabela 1.** Valores mediais máximos mensais de Temperaturas do ar para Boa Vista, RR, durante as normais climatológicas (1961-1990 e 1991-2020) e fase atual.

Mês	Temperatura (°C)			
	1961-1990	1991-2020	2014-junho/2024	2021-junho/2024
Janeiro	32,6	34	35,3	35,8
Fevereiro	33,4	34,1	35,8	36,8
Março	33,7	34,7	36,1	36,2
Abril	33	34,1	35,3	35,5
Maio	31,4	32,4	33,5	34
Junho	30,3	32	33,2	34,1
Julho	30,4	32,1	33,2	33,9
Agosto	31,7	33,3	34,5	35,1
Setembro	33	34,9	36,3	37
Outubro	33,6	35,7	37	37,7
Novembro	33,4	35,3	36,1	36,5
Dezembro	32,8	34,1	34,9	35,5
Média anual	32,4	33,9	35,1	35,7

Fonte: Os autores.

A evolução histórica da temperatura também pode ser observada analisando o percentual de ocorrência de médias mensais mais elevadas. Os registros do INMET (2024) indicam que no período de 1961-1990 um total de 1,32% dos meses (3 ocorrências de um total de 228 meses), sendo a temperatura mais alta registrada de 35,2°C (outubro de 1983). As normais climatológicas de 1991-2020 apresentaram um crescimento exponencial ao ciclo anterior com 26,92% dos meses (84 de 312) com temperaturas acima de 35°C e, pela primeira vez, registrando térmicas de médias máximas mensais acima de 36°C. Essa dinâmica indicou que 65,48% dos casos foram de temperaturas na casa de 35°C, seguidas pelas faixas de 36°C (23,81%), 37°C (7,14%) e 38°C (3,57%), sendo o pico registrado em março de 2019 (38,3°C).

Na última década, a partir de 2014 (até junho/2024), a frequência de térmicas mais elevadas (a partir de 35°C) foi ainda maior, compreendendo 49,21% dos registros desta série (total de 126 meses). Esse montante indicou a maior frequência da classe de 35°C (40,32%), seguidas pelas faixas 36°C (30,65%), 37°C (14,52%), 38°C (8,06%) e, pela primeira vez, com valores nas casas de 39°C (4,84%) e 40°C, sendo este último aferido em fevereiro de 2024 (40,6°C). Desde 2021, apesar da estabilidade entre a frequência de máximas de temperaturas superiores e inferiores a 35°C (50% para da classe). Das superiores, foi observado o avanço das classes de 36°C (33,33%), 37°C (19,055), 38°C e 39°C (14,29%) e uma ocorrência de 40,6°C. A classe de 35°C, mais frequente nos cenários anteriores, apresentou forte redução, representando 14,29% dos casos.

De posse dos dados diários de temperaturas máximas (Tabela 2) é possível visualizar melhor a evolução térmica e os efeitos locais do aquecimento global (Figura 3). A série histórica de Boa Vista (1961-julho/2024) indica uma média de valores máximos diários de 33,4°C. Os períodos de normais climatológicas (1961-1990 e 1991-2020) mostram um avanço médio na temperatura do ar de 1,4°C. Já, durante o ciclo sucessor (2021-julho/2024) o avanço foi ainda mais impactante indicando variações positivas de 3,2°C em relação as primeiras normais (1961-1990) e 1,8°C para o último período (1991-2020).

Os picos máximos diários anuais de temperatura servem como parâmetro para entender a escada térmica local (Tabela 3). Enquanto, no período de 1961-1990, a média dos picos foi 36,6°C, essas passaram a 38,2°C, no ciclo 1991-2020, e na atual fase a média é de 41,2°C. Outro

fator importante é que durante as primeiras normais em um único dia foram registrados valores acima de acima de 38°C (1988). Durante as normais de 1991-2020, 217 ocorrências de valores acima de tal marca foram registradas com total de 148 dias com valores na casa dos 38 °C. Os demais representaram valores nas classes de 39°C (55 dias), 40°C (11 dias), 41°C (2 dias) e 42°C. Essa condição se torna ainda mais aguda a partir de 2021 (até julho/2024) onde 20,2% dos dias as máximas superaram 38°C. Dessas aferições 30,9% (93 dias) foram temperaturas na casa de 38°C, seguido pelas classes de 39°C (99 dias), 40°C (49 dias), 41°C (16 dias) e 42°C (2 dias).

**Tabela 2:** Características dos dados diários de temperaturas máximas do ar (série 1961-julho/2024), Boa Vista, Roraima.

	PERÍODOS			
	1961-1990	1991-2020	2021-julho/2024	Série Histórica
Média histórica diária	32,4	33,8	35,6	33,4
Média dos picos anuais	36,6	38,2	41,2	37,8
Média histórica mínimas diárias anuais	25,5	27,0	27,2	26,5
Maior temperatura diária	38,2 (1988)	42 (1999)	42,6 (2023/2024)	42,6 (2023/2024)
Menor temperatura diária	23,6 (1981)	24,4 (1996)	24,5 (2022)	23,6 (1981)

Fonte: Os autores.

Os valores mínimos mensais também apresentaram progressão térmica (Tabela 3), especialmente quando comparados os períodos de normais climatológicas. O ganho médio de temperatura para as duas séries foi de 1,1°C, com a média anual passando de 23,2°C (1961-1990) para 24,3°C (1991-2020), sendo maior variação observada no mês de novembro, com variação de 1,3°C. Outra situação que deve ser destacada é que nas primeiras normais um trimestre apresentou médias na casa de 22°C (junho, julho e agosto, com valores oscilando entre 22,3°C a 22,9°C) e os demais meses permaneceram na classe de 23°C (oscilando entre 23,2°C a 23,6°C). Já para o último período de normais (1991-2020), em um terço do ano as térmicas permaneceram em torno de 23°C (maio, junho, julho e agosto, com valores oscilando entre 23,3°C a 23,9°C) e o restante dos valores próximo a 24°C (oscilando entre 24,2°C a 24,9°C).

**Tabela 3.** Valores mediais mínimos mensais de Temperaturas do ar para Boa Vista, RR, durante as normais climatológicas (1961-1990 e 1991-2020) e fase atual (INMET, 2024).

Mês	Temperatura (°C)			
	1961-1990	1991-2020	2014-junho/2024	2021-junho/2024
Janeiro	23,2	24,2	24,3	24,1
Fevereiro	23,3	24,3	24,8	24,8
Março	23,6	24,8	25,0	24,6
Abril	23,5	24,5	25,0	24,6
Maio	23,2	23,9	24,3	23,8
Junho	22,4	23,5	23,9	23,7
Julho	22,3	23,3	23,7	23,6
Agosto	22,9	23,8	24,3	24,2
Setembro	23,4	24,5	24,7	24,6
Outubro	23,6	24,8	25,2	24,9
Novembro	23,6	24,9	25,2	25,1
Dezembro	23,3	24,5	24,6	24,0
Média anual	23,2	24,3	24,6	24,3

Fonte: Os autores.

Assim como nos cenários de temperaturas médias (Figuras 2, 3 e 4) e máximas mensais (Tabela 1), o período a partir de 2014-atual, as médias mensais e mínimas corroboram a tendência de aquecimento da temperatura do ar (Tabela 3). Com mínimas mensais acima de

25°C, observados em datas próximas do zênite na região (março e abril; outubro e novembro, com térmicas variando entre 25°C e 25,2°C), coincidindo com o final e o início da estação seca na região. O aumento dos valores da temperatura mínima possivelmente é resultante do atraso no resfriamento da temperatura do ar, sendo subproduto do aumento das temperaturas máximas ao longo da série (1944-junho/2024).

Os valores diários de temperatura mínima do ar acompanham a mesma tendência observada nas temperaturas máximas (Tabelas 2 e 4). As variações destacaram um avanço de 1°C na média geral entre os dois períodos de normais, passando de 23,2°C (1961-1990) para 24,2°C (1991-2020) e, observado ainda uma leve oscilação 0,1°C para a fase posterior. Os picos anuais de temperatura apresentaram acréscimos mais contundentes entre os períodos saltando de 24,6°C (1961-1990) para 26,7°C (1991-2020) e, por fim, 27,3°C (2021-julho/2024). Esse movimento também ficou claro no desempenho na média dos valores mínimos anuais, quando se passou de um patamar de térmicas inferiores a 20°C a superiores a tal marca. Os períodos de referência demonstraram uma escalada térmica de 19,5°C (1961-1990) para 20,9°C (1991-2020) e 21,5°C (2021-julho/2024), respectivamente.

Entre os fatos mais relevantes podemos destacar a frequência de ocorrência de temperaturas diárias inferiores e superiores a 20°C na série (1961-julho/2024). As normais de 1961-1990, indicaram que as temperaturas inferiores até 19,9°C representaram 1,10%, tendo sua menor temperatura diária registrada em 1970 (16,8°C, Tabela 4). Vale ressaltar que os valores mais elevados, próximos ou superiores a 26°C, representaram somente 0,31% dos casos. Nas normais seguintes, houve dois únicos registros diários de 19,9°C, no ano de 2000 e as temperaturas na classe de 26°C passaram a representar 5,31% de tal período. A novidade foi a aferição de temperaturas a partir de 27°C (0,33% da série 1990-2020), com máximas de 27,6°C, nos anos de 1997 e 2016 (Tabela 4). No ciclo atual (2021-julho/2024), a menor temperatura medida foi de 21,2°C (2022), com as térmicas de 26°C representando um percentual de 5,79%. A faixa de 27°C passou a apresentar uma fatia maior (2,58%) e, pela primeira vez, temperaturas acima de 28°C (duas ocorrências), registradas em 2024.

**Tabela 4:** Características dos dados diários de temperaturas mínimas do ar (série 1961-julho/2024), Boa Vista, Roraima.

	PERÍODO			
	1961-1990	1991-2020	2021-julho/2024	Série Histórica
Média histórica diária	23,2	24,2	24,3	23,9
Média dos picos anuais	24,6	26,7	27,3	26,4
Média histórica menores valores diários anuais	19,5	20,9	21,5	20,4
Maior temperatura diária	26,9	27,6	28,1	28,1
Menor temperatura diária	16,8	19,9	21,2	16,8

Fonte: Os autores.

### 3.1 Dinâmica térmica associado a episódios de El Niño e La Niña

A análise da dinâmica térmica de Boa Vista indica uma boa correlação entre episódios de El Niño (EN) com anos de temperatura média mais elevada, com destaque aos anos de 1952, 1958, 1983, 1987, 2002, 2016, 2023 e 2024 (Figura 2). Esses picos são bastante claros quando observados os valores de médias máximas anuais, e para maior parte dos meses sobre influência de EN, especialmente na transição entre o final e início de ano, quando tais eventos costumam estar em sua fase mais aguda (NOAA, 2023 e 2024; INPE, 2024; INMET, 2024). Essa condição é também visualizada ao longo de várias regiões do planeta, mas com efeitos a curto prazo (variação interanual/teleconexões) (MCPHADEN, 2002; REVADEKAR, KOTHAWALE e RUPA KUMAR, 2009; ARBLASTER e ALEXANDER, 2012; MOKHOV e

SMIRNOV, 2016; BURTON et al, 2020; HANSEN, SATO e RUEDY, 2022; JIANG et al 2024) e se estendendo para a Amazônia (GUIMARÃES e REIS, 2012; MARENGO e SOUZA JR., 2018; MOURA, 2019; ESPINOZA et al, 2024).

A reciprocidade entre temperaturas mais elevadas e El Niño tem relação direta com a relação direta com a redução da nebulosidade e das chuvas na região (SILVA, 2018). Sendo o maior controle térmico reconhecido para as zonas equatoriais a nebulosidade é fator primordial a manutenção de temperaturas mais amenas na área de estudo, com efeitos claros durante o ciclo climático anual, relacionados as estações chuvosa e seca, assim como sobre a ação de episódios de El Niño e La Niña. Essas condições são também observadas em escala global e regional (MCPHADEN, 2002; MERTES e DUNNE, 2007; MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007; WOHL, 2007; RESTREPO-COUPE, 2008; REVADEKAR, KOTHAWALE e RUPA KUMAR, 2009; ARBLASTER e ALEXANDER, 2012; SANDER et al, 2012; SANDER, 2015; SILVA et al, 2015; MOKHOV e SMIRNOV, 2016; C SANDER, WANKLER e CARVALHO, 2018; MOURA, 2019; PEDREIRA JUNIOR, 2020; BARNI et al, 2020; HANSEN, SATO e RUEDY, 2022; ARAÚJO et al, 2024; INMET, 2024).

A tendência de térmicas mais aquecidas El Niño na região tropical/amazônica é explicada por condições mais secas, dinâmica observada em outras regiões do mundo (ARBLASTER e ALEXANDER, 2012; MARENGO e SOUZA JR., 2018; CORRÊA da SILVA DT et al, 2021; ESPINOZA et al, 2024). Neste sentido, Burton et al (2020) destacaram ganhos de até 3°C na América do Sul, com associação a condições secas e de períodos com propagação de queimadas durante o El Niño 2015/2016. A mesma condição ficou clara para a região de Boa Vista para estágios de EN, com destaque para os eventos de 1997/1998, 2014-2016 e 2023/2024 (FONSECA et al, 2017; SILVA, 2018; SANDER, WANKLER e CARVALHO, 2018; INMET, 2024). A redução da umidade regional atende a redução das atividades dos ventos alísios (afetados diretamente pelo El Niño) (GUIMARÃES e REIS, 2012; MARENGO e SOUZA JR., 2018; HANSEN, SATO e RUEDY, 2022) comprometendo o balanço de energia latitudinal e suprimento de umidade que subsidia a ZCIT.

A dinâmica de La Niña (LN) em Boa Vista apresenta uma tendência de valores térmicos abaixo de estágios de El Niño (GUIMARÃES e REIS, 2012; MARENGO e SOUZA JR., 2018), que atende ao próprio aumento da umidade na região (SILVA et al, 2015; SANDER, WANKLER e CARVALHO, 2018; SILVA, 2018 MOURA, 2019; Corrêa da Silva et al, 2021). No comparativo com os períodos Neutros, as térmicas até o final do Século XX, durante os eventos LN predominavam térmicas mais frias (Figura 2).

Nas duas últimas décadas, por outro lado, as temperaturas os anos de LN apresentaram valores térmicos em relação aos períodos de EL, com exceção os anos de 2008 e 2011, que apresentaram térmicas maiores em relação aos anos antecessores e sucessores (Figura 2). Ao longo da última década, as oscilações se mostraram bem mais agudas com picos máximos nos anos de 2016 e 2023, marcados pela influência de El Niños de forte intensidade furam bem mais agudas. O período intermediário apresentou considerável desnível térmicos nas médias anuais, associado ao predomínio de La Niñas, tendo um pequeno pico em 2018, podendo ter relação com um breve episódio de El Niño.

A tendência de aquecimento atual global atual com aumento diferencial da temperatura podendo atingir níveis Record foi destacada por Hansen, Sato e Ruedy (2022) e Jiang et al (2024). Segundo os primeiros autores, há um desprendimento da dinâmica térmica, onde as superfícies terrestres apresentaram uma taxa de aquecimento é 2,5 vezes maior do que sobre o oceano e variações deste tipo não seriam unicamente provenientes das oscilações termais do Pacífico Equatorial, condições observadas na Figura 2. Fatores intensificadores seriam os (HANSEN, SATO e RUEDY, 2022; MARENGO e SOUZA JR., 2018): aceleração das emissões de gases de efeito estufa; diminuição dos aerossóis; ciclo de irradiação solar. A nível de Amazônia MARENGO e SOUZA JR (2018) chama atenção para os efeitos danosos do

desflorestamento, afetando o ciclo de carbono, com efeitos no clima global e regional.

Deve considerar que a escalada térmica global, com a ação dos episódios de El Niño e La Niña, com escalas temporais de curto prazo, são os fatores que comandam em boa parte a evolução histórica da temperatura em Boa Vista. Cabe ressaltar ainda que outros fatores devem ser mais bem compreendidos, especialmente aqueles a nível de microclima. Por se tratar de uma cidade em região tropical, somados ao aparelhamento urbano crescente devem ser melhor aferidos a fim de destacar diferenças entre centro e zonas periféricas. Deve ser melhor entendido ainda eventuais dinâmicas que possam dentro da interação do aquecimento global com os episódios de El Niño e La Niña. Os Enos têm na maior parte das vezes superado a cada ocorrência os níveis térmicos atingidos anteriormente. Outra questão é ainda avaliar melhor condições associadas as oscilações de curto prazo (semanas/dias) que tendem a refletir melhor os efeitos na dinâmica climática regional.

#### 4 CONCLUSÕES

Boa vista apresenta características megatérmicas relativas esperadas para sua posição geográfica. Apesar disso, a análise da série histórica mostra um comportamento dinâmico da temperatura do ar, segundo uma tendência de aquecimento a médio e longo prazo, associado a evolução climática global, além de oscilações a curto prazo, relacionados a eventos sazonais com atuação sazonal (ZCIT) e de fenômenos de ação destacada na Amazônica.

A série histórica geral obtida (1944-2023) apresentou uma temperatura do ar média anual de 28,7°C, com uma variação de 3,5°C;

O período acima indicou que 54,39% dos anos apresentaram valores acima da média (série 1944-2023), contudo os valores positivos ficaram concentrados entre o último período de normais climatológicas (1991-2020) até o período atual (2023), perfazendo um percentual de 93,55%;

A análise dos dados apresenta uma tendência de aumento da temperatura média do ar em Boa Vista e com oscilações, a curto prazo, coincidentes com a dinâmica térmica global e da América do Sul;

Os levantamentos das médias mensais indicam uma elevação média de 0,8°C entre os períodos de normais climatológicas (1961-1990 e 1991-2020), com valores oscilando entre 0,4°C (fevereiro) a 1,6°C (janeiro);

Do último período de normais (1991-2020) ao atual (2021-junho/2024) indica uma aceleração das térmicas em Boa Vista. Tal período mostra um aumento médio de 1,7°C, com variações de 0,9°C (janeiro) e 2,1°C (junho), chegando a valores médios mensais de 31,3°C no mês de outubro;

Os dados de temperatura máxima confirmam a escalada térmica regional com acréscimo médio de 1,5°C, já as médias mínimas seguiram apresentaram um acréscimo de 0,1°C, entre as duas séries históricas. Para períodos de El Niño costumam estar associados a picos de temperatura, com destaque para os anos de 1952, 1958, 1983, 1987, 2002, 2016 e 2023.

As dinâmicas de La Niña em Boa Vista costumam apresentar valores térmicos abaixo de estágios de El Niño.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES – coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior auxílio financeiro deste trabalho através do projeto “Fortalecimento e consolidação da pós-graduação nas áreas de Agronomia e Geografia da UFRR e avanços de conhecimento para o desenvolvimento sustentável da Amazônia Legal” - auxílio nº: capes 510167/2020-00.

## REFERÊNCIAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - **HIDROWEB/Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem= 4000>> Acesso em 08 de dezembro de 2016.

ARAÚJO, W. F.; COSTA, S. A. A.; SANTOS, A. E. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ETO) para Boa Vista, RR. **Caatinga**, v. 20, n. 4, p. 84-88, 2007.

ARAÚJO, W. F.; NETO, J. L. L. M.; SANDER, C.; DE ALBUQUERQUE, J. D. A. A.; DE ARAÚJO VIANA, T. V.; VALERO, M. A. M. Atualização da classificação climática de Boa Vista, Roraima, Brasil. **Nativa**, v. 12, n. 2, p. 236-240, 2024. ISSN: 2318-7670

ARBLASTER, Julie M.; ALEXANDER, Lisa V. The impact of the El Niño-Southern Oscillation on maximum temperature extremes. **Geophysical Research Letters**, v. 39, n. 20, 2012.

BARNI, P. E.; BARBOSA, R. I.; XAUD, H. A. M.; XAUD, M. R.; FEARNSIDE, P. M. Precipitation in northern Amazonia: Spatial distribution in Brazil's state of Roraima. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 439-456, 2020. <https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-52769>

BURTON, C., BETTS, R. A., JONES, C. D., FELDPAUSCH, T. R., CARDOSO, M. e ANDERSON, L. O. El Niño driven changes in global fire 2015/16. **Frontiers in Earth Science**, v. 8, p. 199, 2020.

DEGAETANO, A. T.; EGGLESTON, K. L.; KANAPP, W. W. A. Method to produce serially complete daily maximum end minimum temperature data for the Northeaster. Ithaca, New York, **Cornell University. Ithaca**, v. 93 – 2, 1-9. Mai. 1993.

EVANGELISTA, R. A. O.; SANDER, C.; WANKLER, F. L. Estudo preliminar da distribuição pluviométrica e do regime fluvial da bacia do rio branco, estado de Boa Vista – RR. In: SILVA, P. R. F, OLIVEIRA, R. S. (Org.) **Roraima 20 anos: as geografias de um novo estado**. – Boa Vista editora UFRR, 2008

ESPINOZA, J. *et al.* The new record of drought and warmth in the Amazon in 2023 related to regional and global climatic features. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 8107, 2024.

FONSECA, M. G. *et al.* Climatic and anthropogenic drivers of northern Amazon fires during the 2015–2016 El Niño event. **Ecological applications**, v. 27, n. 8, p. 2514-2527, 2017.

FRANCO, E. M. S.; DEL'ARCO, J. O., RIVETTI, M. **Geomorfologia da folha NA.20 Boa Vista**. In: **BRASIL**. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto Radam. Folha NA-20 Boa Vista e parte das folhas NA-21 Tumucumaque, NB-20 Roraima e NB-21: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: DNPM, 1975. p.139-180.

GUIMARÃES, D.P.; REIS, R. dos. Impactos do fenômeno Enos sobre a temperatura no

Brasil. **Revista Espinhaço**, v. 1, n. 1, p. 34-40, 2012.

HANSEN, James; SATO, Makiko; RUEDY, Reto. **Global temperature in 2021**. Acesso Em, v. 1, 2022.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa do estado de Roraima – Geomorfologia**. Coordenação de Recursos Naturais e estudos Ambientais. 2005.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Mapa Físico do Estado de Roraima**. Rio de Janeiro, 1<sup>a</sup> Ed, 2010. 1 mapa. 89 X 79 cm, escala 1:1.000.000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico Brasileiro 2022. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/> acesso: 05 junho de 2023. INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Base de dados Meteorológicos para Subsídios de Pesquisas**. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep> Acesso em fevereiro de 2020.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2023. **Frequência dos fenômenos de El Niño e La Niña**. Disponível em: <<http://www.enos.cptec.inpe.br>>. Acesso out. 2014.

JIANG, Ning *et al.* Enhanced risk of record-breaking regional temperatures during the 2023–24 El Niño. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 2521, 2024.

MARENGO, José A.; SOUZA JUNIOR, C. Mudanças Climáticas: impactos e cenários para a Amazônia. **São Paulo: ALANA**, 2018.

MCPHADEN, Michael J. El Niño and La Niña: causes and global consequences. **Encyclopedia of global environmental change**, v. 1, p. 353-370, 2002.

MENDONÇA, F; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia – Noções Básicas e climas do Brasil**. Ed. Oficina de Textos – SP, 2007.

MERTES, L. A. K.; DUNNE, T. Effects of Tectonism, Climate Change, and Sea-level Change on the Form and Behaviour of the Modern Amazon River and its Floodplain. In: GUPTA, A. (Ed.). **Large rivers: geomorphology and management**. United Kingdom: John Wiley e Sons, p. 115 – 144. 2007.

MOKHOV, I. I.; SMIRNOV, D. A. Relation between the variations in the global surface temperature, El Niño/La Niña phenomena, and the Atlantic Multidecadal Oscillation. In: **Doklady Earth Sciences**. Pleiades Publishing, 2016. p. 384-388.

MOURA, Marks Melo *et al.* Relation of El Niño and La Niña phenomena to precipitation, evapotranspiration and temperature in the Amazon basin. **Science of the Total Environment**, v. 651, p. 1639-1651, 2019.

NASA, Earth Observatory. 2022 Empatado com o quinto ano mais quente já registrado. Disponível em: <https://earthobservatory.nasa.gov/images/150828/2022-tied-for-fifth-warmest-year-on-record> acesso em: 10/09/2022.

NOAA- Climate prediction Center, 2024. **Cold & Warm Episodes by Season**. Disponível em: <[https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)>. Acesso em: 20 Dezembro de 2023.

NOAA- Climate prediction Center, 2023. **Global Time Series**. Disponível em: <<https://www.ncdc.noaa.gov/cag/global/time-series>>. Acesso em: 24 Jun. 2024.

PEDREIRA JUNIOR, Altemar Lopes *et al.* Influence of El Niño and La Niña phenomena on seasonality of the relative frequency of rainfall in southern Amazonas mesoregion. **RBRH**, v. 25, p. e24, 2020.

RAMOS, A.; DOS SANTOS, L. A. R.; FORTES, L. T. G. (Ed.). **Normais climatológicas do Brasil, 1961-1990**. Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA, 2009.

REVADEKAR, J. V.; KOTHAWALE, D. R.; RUPA KUMAR, K. Role of El Niño/La Niña in temperature extremes over India. **International Journal of Climatology**, v. 29, n. 14, p. 2121, 2009.

RESTREPO-COUPE, Natalia *et al.* Contrasting carbon cycle responses to dry (2015 El Niño) and wet (2008 La Niña) extreme events at an Amazon tropical forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 353, p. 110037, 2024.

SANDER, C. **Geomorfologia da planície aluvial do alto rio Branco em Roraima: Dinâmica e processos evolutivos**. 230 f. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Estadual de Maringá, 2015

SANDER, C., WANKLER, F. L. EVANGELISTA, R. A. de O., MORAGA, C. H. e TEIXEIRA, J. F. dos S. CHEIAS DO RIO BRANCO E EVENTOS DE INUNDAÇÃO NA CIDADE DE BOA VISTA, RORAIMA (Branco river floods and flood events in the Boa Vista city, Roraima, Brazil). **Acta Geográfica**, v. 6, n. 12, p. 41-57, 2012.

SANDER, C.; WANKLER, F.; CARVALHO, T. Uma análise primária sobre a variação espaço-temporal de chuvas e a atuação de episódios de El Niño e La Niña no Estado de Roraima. CAMARA, L.; HOLANDA.(Ed.). **Geociências de Roraima**. 2<sup>a</sup> Ed. Boa Vista: EDUFRR, p. 191-216, 2018.

SILVA, D. A.; SANDER, C.; ARAÚJO JÚNIOR, A. C. R.; WANKLER, F. L. Análise dos ciclos de precipitação na região de Boa Vista-RR nos anos de 1910 a 2014. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 9, n. 2, p. 34-49, 2015.

SILVA, Danielle Alves da. **Caracterização temporal da temperatura do ar e sua relação com os elementos climáticos e eventos ENOS da cidade de Boa Vista – RR**. Dissertação. Universidade Federal de Roraima, Programa de Pós Graduação Pós-Graduação em Geografia. Boa Vista, 2018.

SILVA, D. A. da; SANDER, C.; WANKLER, F. L.. Incidência de focos de calor no município do Cantá-RR In: Cantá: Um Olhar Geográfico, ed.1. Boa Vista, RR: Editora UFRR, 2018, v.6, p. 157 - 180.

TOPOGRAPHIC-MAP, 2024. **Mapa topográfico de Boa Vista, RR**. Disponível em: <<https://pt-br.topographic-map.com>>. Acesso em: 26 jun. 2024.

WOHL, E. E. Hydrology and Discharge In: GUPTA, A. (Ed.). **Large rivers: geomorphology and management**. United Kingdom: John Wiley e Sons, p. 29-44. 2007.

TOPOGRAPHIC-MAP, 2024. **Mapa topográfico de Boa Vista, RR.** Disponível em: <<https://pt-br.topographic-map.com>>. Acesso em: 26 jun. 2024.

WOHL, E. E. Hydrology and Discharge In: GUPTA, A. (Ed.). **Large rivers: geomorphology and management**. United Kingdom: John Wiley e Sons, p. 29-44. 2007.