

# MUDANÇA DE NÍVEIS DE ÁGUA (1995-2021) NO ESTUÁRIO SUPERIOR DO RIO AMAZONAS (BAIXO AMAZONAS - PARÁ): POSSÍVEIS FATORES CLIMÁTICOS

RAFAELE SAMPAIO

rafesampaio.20@gmail.com

## ABSTRACT

This article analyzes the hydro-meteorological determinants in the Lower Amazon, determining the temporal and spatial variabilities of meteorological and hydrological aspects, ENOS anomalies, in conjunction with trend analysis using the non-parametric Mann-Kendall test. In the years 1997-1998, the strong El Niño had an impact on the decrease in river level (3.06 m) in 1998 and flow rate (72,469.31 m<sup>3</sup>/s) in 1997. In 1995-1996, the moderate El Niño caused a decrease in water levels (2.67 m in 1995 - the lowest in the historical series). In 2007-2008, a moderate La Niña affected the pluviometric regime (2008 had the highest index in the entire historical series - 825.10 mm). In 2020-2021, a moderate La Niña elevated the river level to 5.75 m (2021), and during the flood, it reached a flow rate of 273,143.34 m<sup>3</sup>/s (the highest in the historical series). It was confirmed by statistical methods that there were positive trends in flow and river level and stationarity of pluviometric data.

**Keywords:** Lower Amazon, ENOS, flow, precipitation, Mann-Kendall.

## RESUMO

Este artigo analisa as condicionantes hidrometeorológicas no Baixo Amazonas, determinando as variabilidades temporais e espaciais dos aspectos meteorológicos, hidrológicos, anomalias ENOS, aliados a análise de tendências através do teste não paramétrico de Mann-Kendall. Nos anos de 1997-1998, o El Niño de forte intensidade impactou na diminuição da cota do rio (3,06 m) em 1998, na vazão (72469,31 m<sup>3</sup>/s) em 1997. Em 1995-1996 o El Niño moderado causou a diminuição das cotas (2,67 m em 1995 - menor da série histórica). Em 2007-2008, La Niña moderado atuou no regime pluviométrico (2008 teve o maior índice de toda a série histórica - 825,10 mm). Em 2020-2021, La Niña de moderada intensidade elevou a cota fluviométrica a 5,75 m (2021) e na cheia atingiu vazão de 273143,34 m<sup>3</sup>/s (maior da série histórica). Foi atestada pelos métodos estatísticos que ocorreram tendências positivas na vazão e no nível do rio e estacionariedade dos dados pluviométricos.

**Palavras-chave:** Baixo Amazonas, ENOS, vazão, precipitação, Mann-Kendall.

## INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Amazonas ocupa uma área total de 6,3 milhões km<sup>2</sup>, sendo aproximadamente 5 milhões km<sup>2</sup> em território brasileiro e o restante subdividido entre os países da Bolívia, Colômbia, Equador e Peru. A área da Amazônia Legal no Brasil é de 5.032.925 km<sup>2</sup>, compreendidos pelos estados do Pará, Amazonas, Rondônia, Roraima, Acre e Amapá e parte do Tocantins, Mato Grosso e Maranhão. O rio Amazonas percorre uma extensão de 6.885 km até a sua foz, com 1.100 tributários. A vazão do rio Amazonas na foz é de 209.000 m<sup>3</sup>/s na foz e a evaporação equivalem a 1.382 mm/ano. A descarga de sedimentos em suspensão é de 500-1.200 Mt/a (Nittrouer et al., 2021).

O conhecimento e o monitoramento das águas fluviais e sistemas pluviométricos torna-se fundamental para subsidiar a gestão dos recursos hídricos. Entretanto, as séries históricas permitem monitorar o tempo e o clima ao longo dos anos, apoiando projetos de pesquisa de recursos hídricos (Cristaldo et al., 2017). Nisto, a análise hidro meteorológica permite o equacionamento da oferta e volume de água dos cursos d'água, utilizado em tomadas de decisões orientadas a racionalização e preservação deste recurso.

A grande disponibilidade de recursos hídricos no Brasil é justificada pelo grande número de rios com alta vazão média anual, contudo a variabilidade da precipitação e da vazão

na bacia Amazônica são aspectos de grande preocupação, em função do desmatamento, das queimadas, da ocupação do solo, dos eventos extremos e dos fenômenos meteorológicos, como o El Niño, que provocam a seca e La Niña, que eleva os índices pluviométricos, causando enchentes.

As mudanças no padrão do uso do solo na bacia amazônica, principalmente a partir de 1970, têm sido bastante intensas, causando significativas modificações no clima da região. O desmatamento e as queimadas são os principais causadores desses impactos, pois emitem gases e partículas levando a alterações ao ciclo hidrológico da bacia amazônica: diminuição do regime de chuvas, prolongamento da estação seca e modificações nos processos de reciclagem de precipitação.

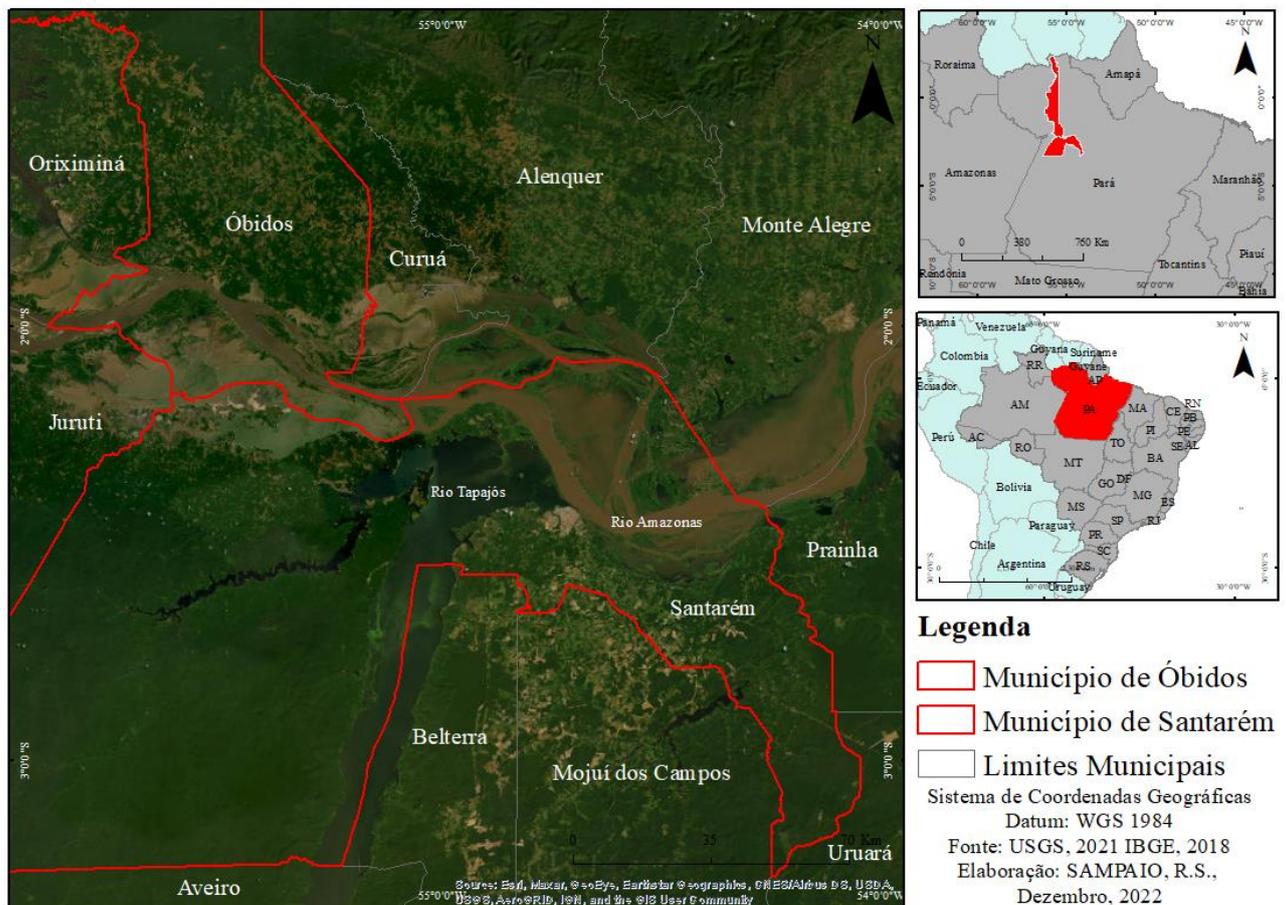
Este artigo objetiva analisar as condicionantes hidro meteorológicas no Baixo Amazonas, determinando as variabilidades temporais e espaciais dos aspectos meteorológicos (temperatura e precipitação), hidrológicos (vazão e cota fluviométrica), destacando anomalias e análise de tendências durante o período de 1995-2021.

## 1. MATERIAIS, MÉTODOS E TÉCNICAS

### 1.1. Localização da área de estudo

A área de estudo se encontra na mesorregião do Baixo Amazonas, nos municípios de Santarém e Óbidos, distante 800 km de Belém. O acesso à área se dá por via rodoviária, fluvial e/ou aéreo (Figura 1).

**Figura 1** – Localização da área de estudo (quadro vermelho).



Fonte: Autora (2023).

Cadernos de Geociências, v. 19, 2024 e241902

DOI:10.9771/geocad.v19i0.57375

www.cadernosdegeociencias.igeo.ufba.br ISSN 2238-4960

## 1.2. Caracterização da área de estudo

### 1.2.1. Clima e parâmetros meteorológicos

De acordo com Dubreuil et al. (2018), o tipo de clima anual em Santarém está entre os tipos Af e Am: Af, clima quente sem estação seca e Am, clima de monção quente. O tipo Af corresponde aos climas quentes e chuvosos durante todo o ano na Amazônia ocidental, na foz do Amazonas. O tipo Am vem em segundo lugar distribuído no sul e leste da Amazônia. O clima "equatorial" possui uma descontinuidade maior no centro do Pará onde se demonstrou a importância do "corredor seco amazonense".

Os principais sistemas causadores da precipitação e sua variabilidade na bacia amazônica são: a Zona de Convergências Intertropical (ZCIT) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). O encontro dos dois tipos de umidade forma nebulosidade que se direciona para o Oceano Atlântico Sul (Noroeste para Sudeste), trazendo muita chuva para o Sudeste e para o Centro-Oeste influenciando também os afluentes da margem direita do rio Amazonas (Pompeu et al., 2018).

O regime de chuvas na Bacia Amazônica difere de acordo com seus afluentes, na margem direita (rio Tapajós) é influenciada pelo deslocamento da ZCAS, onde a precipitação máxima ocorre em dezembro-janeiro-fevereiro. Já a precipitação mínima nos afluentes da margem direita ocorre em junho-julho-agosto (Pompeu et al., 2018). A precipitação no Baixo Amazonas reflete contribuições tanto de sistemas convectivos estimulados por forçantes locais que se move para o interior da costa.

A variabilidade da precipitação entre os dois períodos (maior precipitação e menor precipitação) é influenciada pelos fenômenos de meso e grande escala. Os aglomerados convectivos são os principais sistemas do regime seco (Lira et al., 2020).

Os mecanismos oceânicos que atuam nos extremos climáticos (intensificação de máximos e mínimos) é o El Niño Oscilação Sul (ENOS) com eventos de El Niño (EN) e La Niña (LN) (Souza & Reboita, 2021). Na Amazônia, estes eventos produzem enchentes, grandes secas, inundações e alterações nas estações do ano. Os eventos extremos ocorridos no período estudado (1995-2021) são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1** – Intensidades dos eventos de El Niño e La Niña no período estudado.

EL NIÑO			LA NIÑA		
FRACO	MODERADO	MUITO FORTE	FRACO	MODERADO	FORTE
2004-2005	1994-1995	1997-1998	2000-2001	1995-1996	1998-1999
2006-2007	2002-2003	2015-2016	2005-2006	2011-2012	1999-2000
2014-2015	2009-2010		2008-2009	2020-2021	2007-2008
2018-2019			2016-2017		2010-2011
			2017-2018		

Fonte: CPC (2022).

O EN sobre a região de estudo causa pouca precipitação e durante a LN causam chuvas mais abundantes. A seca de 2015 foi associada ao ENOS, e afetou uma grande área, que inclui mais de 80% da Amazônia (Ferreira et al., 2022).

A temperatura média anual é de 25.9 °C. A pluviosidade média é 2150 mm/ano. A diferença entre a precipitação do mês mais seco e do mês mais chuvoso é de 355 mm. As temperaturas médias têm variação de 1.6° C durante o ano. O mês mais quente do ano é outubro com temperatura média de 26.9 °C. A temperatura média em junho é de 25.3 °C, durante o ano é a temperatura média mais baixa. O mês mais seco é setembro e tem 33 mm de precipitação. O maior volume de precipitação ocorre em março, com média de 388 mm. O clima dominante é quente e úmido, característico das Florestas Tropicais. Não ocorrem mudanças significativas de temperatura, devido sua proximidade da linha do equador. A temperatura média anual varia de 24,3° a 25,8°C, com umidade relativa média do ar de 86%. A precipitação pluvial média é de 1920 mm/ano, com maior intensidade durante o período de "inverno" (dezembro a maio), quando a precipitação média varia de 170 mm a 300 mm. Durante o "verão" regional ou período mais seco, ocorrem as menores precipitações com valores médios < 60mm, entre os meses de agosto a outubro (Santarém, 2019).

Na área de trabalho a região é dominada por regimes de circulação atmosférica diferenciada, formação de nuvens, ocorrência de brisa de rio, influenciando na distribuição espacial e horária da chuva. Existem períodos em que os ventos alísios de leste são fracos e os ventos à superfície chegam a soprar de oeste em função da penetração da brisa do rio Tapajós (Silva, 2011).

### **1.2.2. Condições hidrológicas**

A rede hídrica da área de estudo inclui os rios Amazonas e Tapajós. A vazão média do rio Amazonas na foz é de 209.000 m<sup>3</sup>/s e a do rio Tapajós em 12.434 m<sup>3</sup>/s. O clima que predomina na área de trabalho interfere diretamente no regime dos rios, tornando a identificação do período sazonal mais fácil. No rio Tapajós o período de enchente e de vazão afluente ocorre entre os meses de janeiro a maio e o de vazante e de vazão defluente entre junho e dezembro, a estiagem entre agosto e outubro com picos de descarga entre os meses de fevereiro a maio (Guedes, 2020). No rio Amazonas verifica-se crescimentos progressivos quanto à vazão, no sentido oeste-leste, de fevereiro a maio, atingindo valores máximos em meados de maio, aumentando a área inundada; entretanto, a partir de junho, a vazão e, por conseguinte, a área inundada decresce, com valor mínimo em novembro (CPRM, 2021).

### **1.2.3. Condições hidrodinâmicas**

Devido a topografia baixa (?) da bacia hidrográfica amazônica, principalmente no curso inferior, a maré possui influência no curso do rio até além de Óbidos, que atinge altura máxima de 10 cm (?). O estuário superior (zona de rio) na Amazônia ocorre desde Óbidos até o Amapá (foz do rio Amazonas), com extensão de 650km onde ocorre a maré dinâmica (Nittrouer et al., 2021).

## **1.3. Aquisição e tratamento de dados**

Foram adquiridas séries históricas de dados pluviométricos e fluviométricos da Agência Nacional de Águas (ANA) através do HidroWeb (<http://hidroweb.ana.gov.br/>) com séries históricas correspondentes aos anos de 1995 e 2021. Para a seleção das estações, o critério estabelecido foi que a série temporal deveria ser contínua e que possibilitasse a comparação temporal, o que totalizou um comprimento temporal de 26 anos. Alguns postos apresentam falhas (de instrumentação ao longo do tempo) em seus registros, e alguns foram desativados então os postos foram selecionados de acordo com a

disponibilidade de dados. Foram utilizados 4 postos (fluviométricos e pluviométricos) nos municípios de Santarém e Óbidos (Tabela 2) que monitora seu nível e vazão desde 1980. As séries históricas utilizadas consistem em dados hidrológicos referentes às séries de precipitação, vazão e cotas fluviométricas dos rios. Os dados de precipitação compreendem as médias mensais e anuais observadas nas estações pluviométricas, assim como as séries de vazões e cotas, a partir de estações fluviométricas. Para os dados ambientais vários são os métodos que podem ser utilizados para o preenchimento de falhas, uma delas, de acordo com Fernandes et al., (2022) é a utilização de médias de dados observados.

**Tabela 2** – Postos fluviométricos no Baixo Amazonas na Bacia Amazônica.

<b>Código</b>	<b>Nome</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Tipo</b>
<b>17900000</b>	Santarém	-2,41	-54,74	Fluviométrica
<b>254010</b>	Boa vista	-2,26	-54,52	Pluviométrica
<b>254000</b>	Santarém	-2,44	-54,70	Pluviométrica
<b>17050001</b>	Óbidos	-1,92	-55,51	Fluviométrica

Fonte: ANA (2022).

#### **1.4 Processamento estatístico de dados**

Para identificação de tendência nas séries históricas foi utilizado o teste de Mann-Kendall nos softwares R Studio sendo um software livre de ambiente de desenvolvimento integrado para R, uma linguagem de programação para gráficos e cálculos estatísticos e o software Minitab, que permite analisar e identificar diferentes tipos de informações um software. Através do Minitab é feito também um gráfico que mostra as relações entre cada combinação possível das variáveis gráficas.

Uma série temporal ou série histórica, é uma sequência de dados obtidos em intervalos de tempo regulares, durante determinado período específico e pode ser obtido mediante observações periódicas do evento: vazões diárias de curso d'água, precipitação diária, etc. No início da análise da série temporal, deve-se modelar o fenômeno, e a partindo desta análise é possível descrever o comportamento da série, estimar os dados e avaliar quais as causas que influenciaram o comportamento da série, analisando a existência de relações de causa e efeito entre duas ou mais séries temporais (Rocha & Santos, 2018).

Os modelos estatísticos para séries temporais usam passado histórico de variável para planejar observações futuras. Dessa forma, se pode ter uma ideia, em média, de como a variável se comportará nos próximos períodos. A tendência é definida como um padrão de crescimento ou decréscimo da variável em certo período de tempo. A sazonalidade é definida como padrões de comportamento que se repetem em específicas épocas do ano. A estacionariedade é uma variável que se comporta de forma aleatória ao longo do tempo ao redor de uma média constante. Séries temporais que possuem tendência e/ou sazonalidade não são estacionárias e é necessário o uso de técnicas adequadas para determinada situação. Para identificação de tendência em séries históricas podem ser usados diferentes testes não paramétricos, que em geral, permitem confirmar a estacionariedade da série histórica, ou seja, excetuando as flutuações aleatórias, as

observações são constantes com relação à cronologia de suas ocorrências (Casavecchia et al., 2016).

Compreende-se que a análise de tendência pode ser realizada por regressão linear, porém, quando não é conhecida a distribuição dos dados que serão analisados ou não há a intenção de considerar a distribuição, a análise de tendência pode ser feita por métodos não-paramétricos como o Teste Mann-Kendall.

#### 1.4.1 Teste de Mann-Kendall

O teste Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) é utilizado para determinar se uma série de dados possui tendência temporal estatisticamente significativa. O teste foi empregado para testar a significância estatística (crescente ou decrescente) das séries temporais, sendo um dos mais utilizados na avaliação de tendências de séries históricas naturais que se distanciam da distribuição normal, como de vazões, temperatura e precipitação (Lira et al., 2020).

As hipóteses adotadas para o Teste Mann-Kendall são:

**H<sub>0</sub>** (hipótese nula): não há tendência presente nos dados; **H<sub>a</sub>** (hipótese alternativa): uma tendência está presente nos dados que pode ser de aumento ou de diminuição.

Baseia-se na estatística “S” (Equação 1). Trata-se de um teste que correlaciona as classificações de observações e sua sequência temporal, ou seja, compara cada valor da série com o outro valor anterior, em ordem sequencial, para determinar a variável estatística (LIRA et al., 2020).

Equação 1 onde  $sgn$  é a somatória dos sinais da diferença par a par, de todos os valores da série ( $x_i$ ) em relação aos valores remanescentes, em ordem sequencial ( $x_j$ ).  $j$  são os valores dos dados sequenciais e  $n$  é o tamanho da série temporal (Lira et al., 2020).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sgn(x_j - x_i) \quad (1)$$

Os resultados da somatória variam de acordo com as condições da Equação 2:

$$sgn(x_j - x_i) = \begin{cases} +1, & \text{Se } x_j - x_i > 0 \\ 0, & x_j - x_i = 0 \\ -1, & \text{Se } x_j - x_i < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Em seguida, calcula-se a variância da estatística de S (Var (S)), na Equação 3, onde  $n$  é o número de observações, caso a série tenha grupos com observações iguais; sendo que  $p$  é o número de grupos com observações iguais e  $t_i$  é o número de dados com valores iguais em um certo grupo  $i$  (exemplo, uma série histórica com 3 valores iguais entre si teria 1 repetição de extensão igual a 3, ou  $t_i = 1e i = 3$ ). Séries contendo amostras de  $n > 10$ , a estatística S tende a normalizar (Lira et al., 2020).

$$Var(S) = \frac{n(n-1) * (2n+5) - \sum_{i=1}^p t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (3)$$

Considerando a hipótese nula e a ausência de p, a variância da estatística de S (Var (S)), pode ser calculada através da Equação 4, onde  $n$  é o número de pontos de dados.

$$Var(S) = \frac{1}{18} [n(n-1) * (2n+5)] \quad (4)$$

O valor do teste é obtido no resultado de Z de Mann-Kendall, Equação 5:

$$\begin{aligned}
 \text{Se } S > 0 & \quad Z = \frac{s - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \\
 \text{Se } S = 0 & \quad Z = 0 \\
 \text{Se } S < 0 & \quad Z = \frac{s + 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} \quad (5)
 \end{aligned}$$

O resultado de Z de Mann-Kendall indica tendência na série temporal. Os valores de ZMK positivos indicam tendências crescentes, enquanto ZMK negativos indicam tendências decrescentes nas séries temporais (Lira et al., 2020).

A significância estatística do teste de Mann-Kendall considera o valor p como a probabilidade de o resultado observado ocorrer se a hipótese nula for verdadeira. Utilizou-se um nível de significância de 5%, ou seja, um resultado com menos de 5% de probabilidade de ocorrer, caso a hipótese nula seja verdadeira o que sugere que a hipótese de estabilidade nos dados seja rejeitada e que a hipótese alternativa pode ser significativa (Aleixo & Almeida Filho, 2022).

## 2 RESULTADO E DISCUSSÃO

### 2.1 Teste de Mann-Kendall

#### 2.1.2 Pluviometria

Para os dados de precipitação o teste de Mann-Kendall, ajustado ao nível de significância 5% os dados de precipitação pluvial não apresentaram tendência na maioria dos seus valores médios, ou seja, para série anual e nem para a maioria dos valores mensais. O valor de p calculado para precipitação em outubro e dezembro tiveram valores maiores que a significância  $\alpha = 0,05$ , indicando tendências significativas para esses meses, com valor p calculado de 0.005 e 0.033, respectivamente (Tabela 4). Em outubro de 2020, choveu um total de 414,2 mm, destoando da média de dados nesse mês que é de 51,95mm. Em 2005, o mês de dezembro registrou índice pluviométrico de 311,1 mm, ambas indicando aumento da precipitação média. No entanto, a maioria das séries mensais não apresentaram tendências significativas (Figura 8).

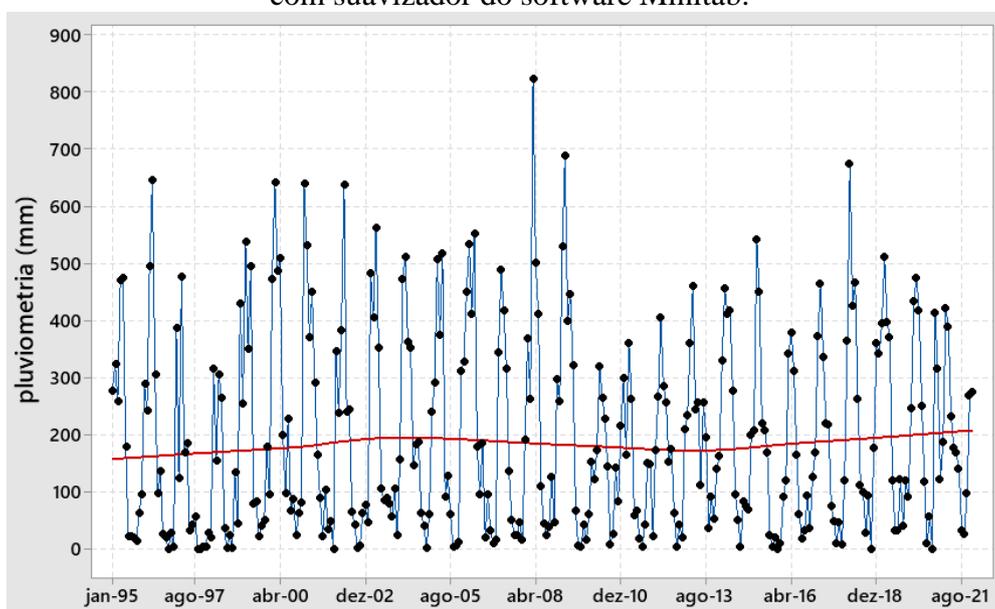
**Tabela 4** – Resultado dos testes Mann-Kendall para precipitação da estação pluviométrica na área de trabalho (1995 a 2021).

	Z (MK)	S	Var (S)	Valor p	Tendência
<b>Anual</b>	0.5837	2.9000	2.3010	0.559	NS
<b>Janeiro</b>	-1.1257	-55.0000	2301.0000	0.260	NS
<b>Fevereiro</b>	0.7921	39.0000	2301.0000	0.428	NS
<b>Março</b>	0.2501	1.3000	2.3010	0.802	NS
<b>Abril</b>	-1.1674	-57.0000	2301.0000	0.243	NS
<b>Mai</b>	-1.2508	-61.0000	2301.0000	0.211	NS
<b>Junho</b>	1.0634	52.0000	2300.0000	0.287	NS

<b>Julho</b>	0.2918	1.5000	2.3010	0.770	NS
<b>Agosto</b>	0.4586	2.3000	2.3010	0.646	NS
<b>Setembro</b>	0.0833	5.0000	2.3010	0.933	NS
<b>Outubro</b>	2.7732	134.0000	2300.0000	0.005	S+
<b>Novembro</b>	0.9589	47.0000	2301.0000	0.337	NS
<b>Dezembro</b>	2.1264	103.0000	2301.0000	0.033	S+

Fonte: Autora (2023).

**Figura 8** – Dados pluviométricos da série história (1995 a 2021) na área de trabalho com suavizador do software Minitab.



Fonte: ANA (2022), Autora (2023).

### 2.1.3 *Nível do rio*

Os resultados do teste de tendência para cotas fluviométricas mostraram que em quase todos os meses e no resultado anual, os dados apresentaram tendência significativa. Os valores de Mann-Kendall positivos indicam que a tendência apresenta padrão positivo. Porém, o mês de outubro dentro da série histórica teve como resultado o valor de p calculado de 0.196 (Tabela 6) indicando resultado sem tendência significativa para esse mês (Figura 9), isto pode estar ligado ao fato de o mês estar dentro do período de seca no ano hidrológico.

**Tabela 6** – Resultado dos testes estatísticos não paramétricos para cota fluviométrica do rio Amazonas (Baixo Amazonas) (1995 a 2021).

	Z (MK)	S	Var (S)	Valor p	Tendência
<b>Anual</b>	2.835	137.0000	2301.0000	0.004	S+
<b>Janeiro</b>	3.065	148.0000	2300.0000	0.002	S+
<b>Fevereiro</b>	3.482	168.0000	2300.0000	0.000	S+
<b>Março</b>	3.127	151.0000	2301.0000	0.001	S+
<b>Abril</b>	2.626	127.0000	2301.0000	0.008	S+
<b>Mai</b>	2.626	127.0000	2301.0000	0.008	S+
<b>Junho</b>	3.273	158.0000	2300.0000	0.001	S+
<b>Julho</b>	3.232	156.0000	2300.0000	0.001	S+
<b>Agosto</b>	3.002	145.0000	2301.0000	0.002	S+
<b>Setembro</b>	2.209	107.0000	2301.0000	0.027	S+
<b>Outubro</b>	1.293	63.0000	2299.0000	0.196	NS
<b>Novembro</b>	1.897	92.0000	2300.0000	0.057	S+
<b>Dezembro</b>	2.564	124.0000	2300.0000	0.010	S+

Fonte: Autora (2023).

**Figura 9** – Dados do nível do rio Amazonas na série história (1995 a 2021) com suavizador do software Minitab.



Fonte: ANA (2022), Autora (2023).

### 2.1.4 Vazão

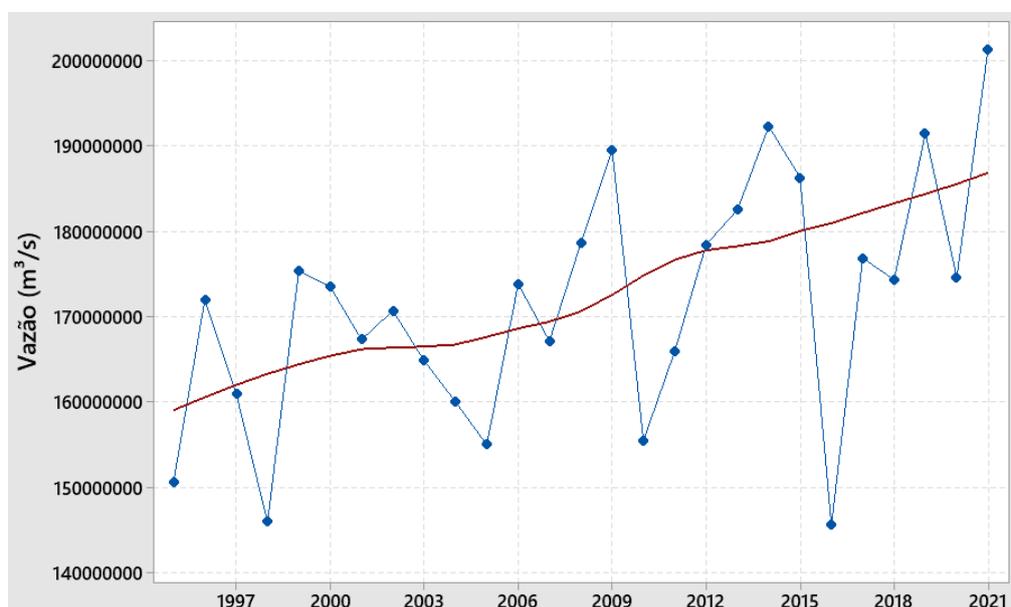
O resultado dos testes estatísticos de tendência para a vazão revelou que os períodos de enchente, cheia e o início da vazante (janeiro-agosto) apresentaram tendência com padrão positivo, porém os meses de vazante e seca (setembro-dezembro) indicaram resultado sem tendência significativa, podendo haver interferência do ano hidrológico nos resultados de análise de tendência. Ainda assim, a tendência anual de vazão da série histórica é positiva com valor de p calculado (Tabela 7 e Figura 10).

**Tabela 7** – Resultado dos testes estatísticos não paramétricos para vazão na área de trabalho (1995 a 2021).

	<b>Z (MK)</b>	<b>S</b>	<b>Var (S)</b>	<b>Valor p</b>	<b>Tendência</b>
<b>Anual</b>	2.751	133.0000	2301.0000	0.005	S+
<b>Janeiro</b>	1.792	87.0000	2301.0000	0.073	S+
<b>Fevereiro</b>	2.793	135.0000	2301.0000	0.005	S+
<b>Março</b>	2.626	127.0000	2301.0000	0.008	S+
<b>Abril</b>	2.710	131.0000	2301.0000	0.006	S+
<b>Mai</b>	3.002	145.0000	2301.0000	0.002	S+
<b>Junho</b>	3.210	155.0000	2301.0000	0.001	S+
<b>Julho</b>	3.085	149.0000	2301.0000	0.002	S+
<b>Agosto</b>	2.293	111.0000	2301.0000	0.021	S+
<b>Setembro</b>	1.334	65.0000	2301.0000	0.182	NS
<b>Outubro</b>	0.667	3.3000	2.3010	0.504	NS
<b>Novembro</b>	0.917	45.0000	2301.0000	0.359	NS
<b>Dezembro</b>	1.125	55.0000	2301.0000	0.260	NS

Fonte: Autora (2023).

**Figura 10** – Dados de vazão da série história (1995 a 2021) com suavizador do software Minitab.



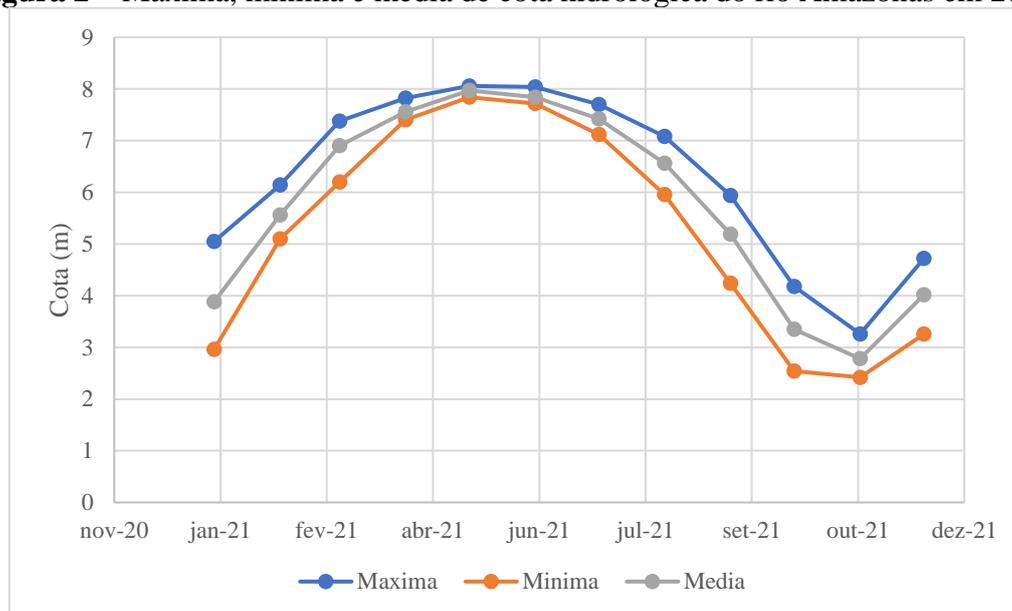
Fonte: ANA (2022). Autora (2023).

### 3.Caracterização hidrológica e climatológica

Para os dados fluviométricos, o ano hidrológico como o período de enchente, cheia, vazante e seca do rio. No ano de 2021 é possível perceber a partir das cotas fluviométricas do rio Amazonas os meses de enchente (dezembro – abril), o pico da enchente (maio) cuja média foi de 7,97 m, a vazante (junho – outubro) e a seca (novembro) onde a média foi de 2,78 m, os níveis mínimos indicaram o período de águas baixas e os níveis máximos foram compreendidos como período de águas altas (Figura 2). A definição do regime hidrológico anual único para o rio Amazonas, que é de cheia e vazante, é apoiado nos registros de cotas fluviométricas, o rio Amazonas começa a subir a partir de novembro/dezembro indo até maio/junho, enquanto que começa a vazar em julho/agosto até outubro/novembro. O rio leva de sete a oito meses até atingir a cota máxima e desce em apenas quatro a cinco meses. muito importante na dinâmica e nos processos fluviais do rio Amazonas e seus afluentes (Marques, 2017).

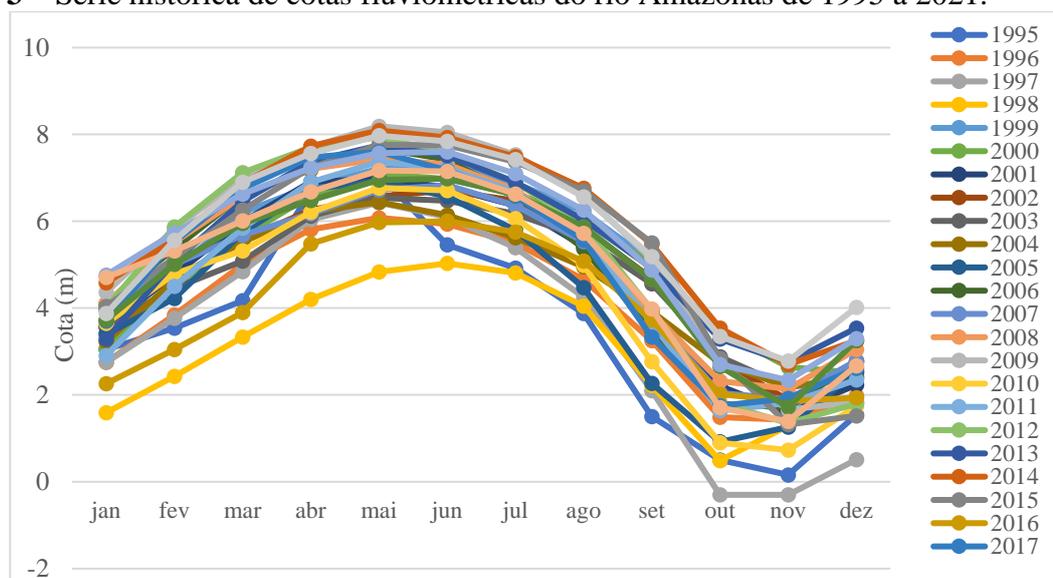
A análise das médias das cotas fluviométricas anuais da série histórica de 1995 a 2021 é possível identificar as menores cotas: 2,67 m (1995), 3,06 m (1998) e 3,91 m (2016). Entretanto, as maiores cotas foram de 5,83 m (2014), 5,75 m (2021) e 5,55 m (2009) (Figura 3).

**Figura 2** – Máxima, mínima e média de cota hidrológica do rio Amazonas em 2021.



Fonte: ANA (2022).

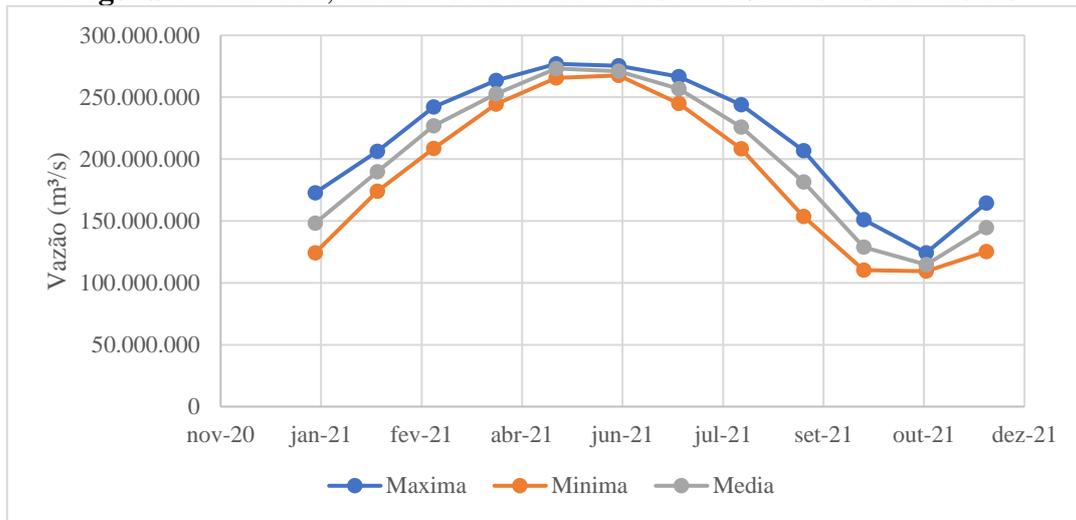
**Figura 3** – Série histórica de cotas fluviométricas do rio Amazonas de 1995 a 2021.



Fonte: ANA (2022).

Os dados de vazão de 2021 mostram os mesmos meses de enchente (dezembro – abril), o pico da enchente (maio) com média de 273,143,344 m<sup>3</sup>/s, a vazante (junho – outubro) e a seca (novembro) com média de 114,719,242 m<sup>3</sup>/s (Figura 4).

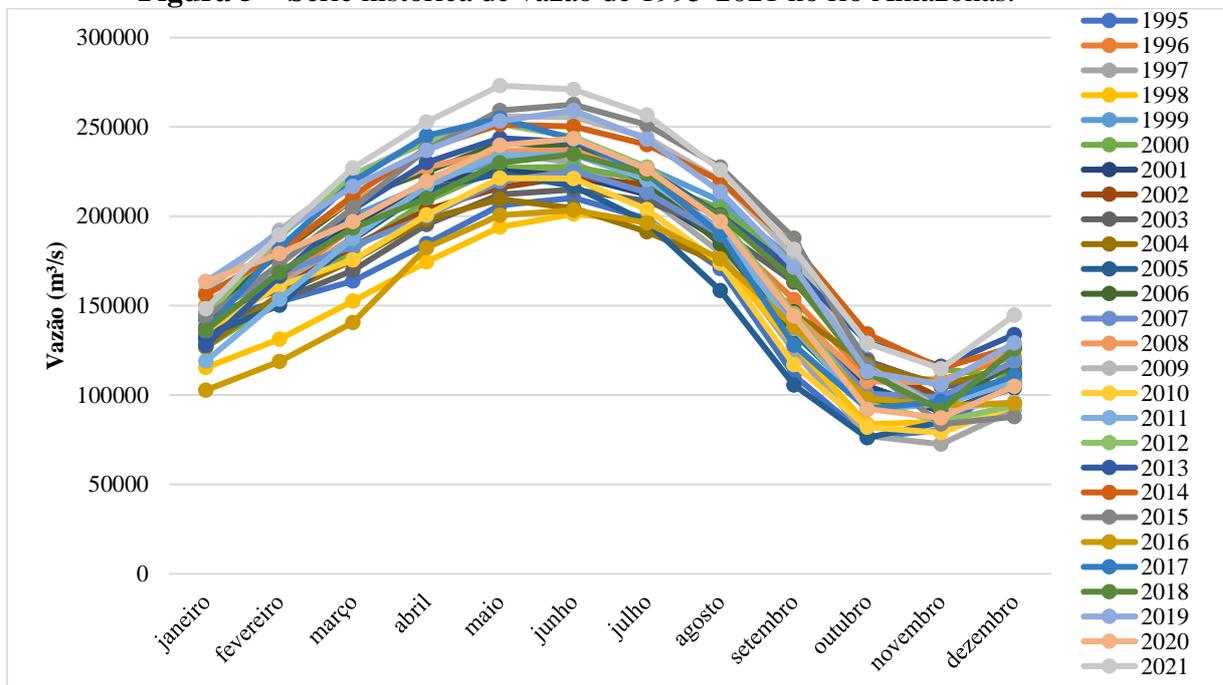
**Figura 4** – Máxima, mínima e média de vazão em 2021 no rio Amazonas.



Fonte: ANA (2022).

As maiores médias de vazão ocorreram em 2021, onde a cheia de maio atingiu 273143,34 m³/s, em 2015 e 2019, foram respectivamente 262491,18 m³/s e 259186,28 m³/s (junho/enchente). Já as menores médias de vazão foram de 72469,31 m³/s no pico de seca em novembro de 1997 (menor da série), 76039,19 m³/s (2005) e 76624,92 m³/s em outubro/vazante (1995) (Figura 5).

**Figura 5** – Série histórica de vazão de 1995-2021 no rio Amazonas.

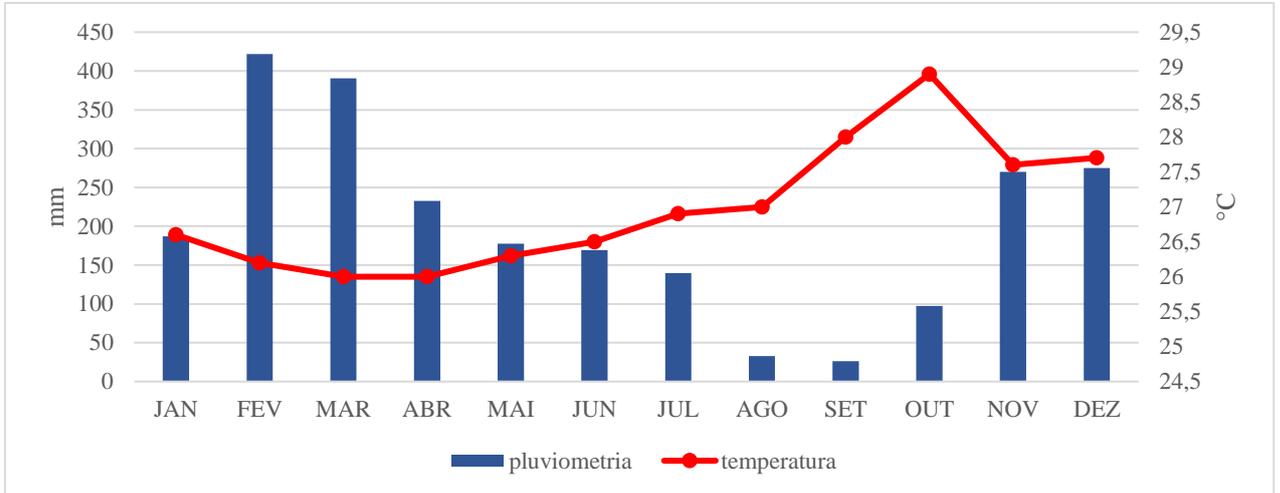


Fonte: ANA (2022).

Em 2021, a área de trabalho passou por um período de chuvas mais intensas entre fevereiro com 421,6 mm e março com 390,5 mm no "inverno amazônico", entre dezembro a maio, e diminui entre agosto com 32,9 mm e setembro com 26,1 mm,

correspondendo ao "verão" regional nos meses de junho a novembro (mais seco). A máxima ocorreu em fevereiro, com 153,10 mm e a menor taxa com 11 mm em agosto (Figura 6).

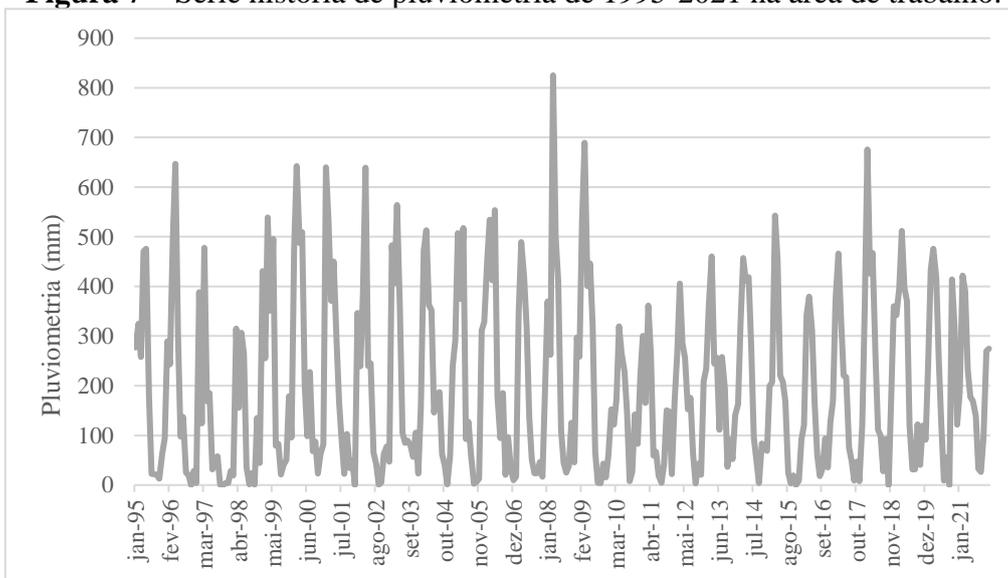
**Figura 6** – Climograma com dados pluviométricos e de temperatura na área de trabalho em 2021.



Fonte: ANA (2022). Autora (2023).

Os dados pluviométricos da série histórica mostram o total mensal de chuvas. O maior volume de chuva ocorreu em março de 2008 com 825,10 mm, entretanto, em março de 2009 atingiu 689,20 mm, e em fevereiro de 2018 um volume de 676,10 mm. A partir da média aritmética dos valores anuais, os anos que tiveram as maiores médias anuais foram 2018 com 255,3 mm/ano, seguido de 2008 com 254,5 mm/ano e 2000 com 246,8 mm/ano. Os anos com as menores médias anuais foram 1998 com 110,8 mm/ano, 1997 com 123,7 mm/ano e 2011 com 133,4 mm/ano (Figura 7).

**Figura 7** – Série histórica de pluviometria de 1995-2021 na área de trabalho.



Fonte: ANA (2022).

Nos anos de 1997-1998, El Niño foi de forte intensidade e teve impacto na diminuição da cota do rio que chegou a 3,06 m em 1998, na vazão com 72469,31 m<sup>3</sup>/s em 1997 no pico de seca em novembro, e nas chuvas que atingiram uma média anual de 110,8 mm/a em 1998 e 123,7 mm/a em 1997.

El Niño de forte intensidade também aconteceu em 2015-2016 e em 2016 as cotas fluviométricas chegaram a 3,91 m, em 2015 a vazão atingiu 262491,18 m<sup>3</sup>/s. Em 1995-1996 El Niño de intensidade moderada causou a diminuição das cotas (2,67 m em 1995 - menor da série histórica), e vazão de 76624,92 m<sup>3</sup>/s em outubro em Santarém.

Em 2007-2008, La Niña intensidade moderada, influenciou o regime pluviométrico. Diante disso, em 2008, teve o maior índice em março com 825,10 mm. A menor temperatura de 26,4 °C ocorreu em 2008. Em 2020-2021 aconteceram La Niña de moderada intensidade que levaram em 2021 a cota em um patamar de 5,75 m, no entanto, durante a cheia de maio atingiu uma vazão de 273143,34 m<sup>3</sup>/s, maior de toda a série histórica e a temperatura em 2021 com a média de 26,5 °C.

#### **4. CONCLUSÃO**

Alguns trabalhos foram realizados na Amazônia Brasileira: Variabilidade do regime hidrológico da bacia amazônica (Castro Coutinho et al., 2019); Componente do regime hidrológico da bacia do rio Amazonas em anos de eventos climáticos (Aguilar et al., 2019); Análise de tendência em séries históricas de precipitação e vazão na unidade de gestão de recursos hídricos de Piracicaba, Minas Gerais (Fraga et al., 2020); Tendência temporal e estimativa do risco hidrológico de extremos máximos de chuva e de vazão na cidade de rio Branco, Acre (Oliveira et al., 2021); The rain anomaly indexes and their relationship with the El Niño south oscillation in the Tapajós river hydrographic basin (Ferreira, et al., 2022); Tendências climáticas em Coari - AM (Aleixo & Almeida Filho, 2022).

O presente artigo demonstrou a efetividade dos métodos estatísticos na consolidação de respostas para análise de alterações, sendo possível afirmar que ocorreram tendências positivas crescentes na vazão e no nível dos rios registrado na área de trabalho. Os resultados dos testes de tendências constataram que para precipitação não há tendência estatística significativa, apenas variações ocorridas nos anos de 2005 e 2020, anos com atuação do La Niña de fraca e moderada intensidade respectivamente.

Para os dados de vazão e nível do rio, as tendências foram significativas positivas crescentes, onde os meses que se apresentaram sem tendência significativa relacionamos a meses de seca no ano hidrológico.

Deve-se destacar que o resultado pode ser usado como um indicativo do comportamento da vazão e do nível do rio Amazonas na área de estudo, principalmente para os períodos futuros

#### **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao Programa de Pós Graduação em Oceanografia (PPGOC) da UFPA, ao grupo de estudos marinhos e costeiros (GEMC) pela infraestrutura e a primeira autora é grata pelo recebimento de bolsa de mestrado via CAPES.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, R., ROCHA, E., SOUZA JUNIOR, J., SANTOS, J., & DOS SANTOS, J. Análise de Componente do Regime Hidrológico da Bacia do Rio Amazonas em Anos de Eventos Climáticos. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12(3), 988-1002. 2019.

ALEIXO, N. C. R. & ALMEIDA FILHO, L. S. Tendências climáticas em Coari - AM. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15 (05). 2601-2612. 2022.

ANA (2022). Portal HidroWeb. <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa>

CASAVECCHIA, B. H.; ULIANA, E. M.; SOUZA, A. P.; LISBOA, L.; SOUSA JUNIOR, M. F. Tendências em séries históricas de precipitação na região amazônica de Mato Grosso. *Revista de Ciências Agroambientais*. 14 (2). 58-66. 2016.

CASTRO COUTINHO, E., PAULINO DA ROCHA, E. J., MEIGUINS LIMA, A. M., & CAMPOS RIBEIRO, H. M. Variabilidade Do Regime Hidrológico Da Bacia Amazônica. *Boletim de Geografia*, 37(2), 129–147. 2019.

CPC (2022). Climate Predication Center. <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>

CPRM (2021). Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Vazão do rio Amazonas em Óbidos (PA) confirma cotas recordes em 2021. <https://www.cprm.gov.br/publique/Noticias/Vazao-do-rio-Amazonas-em-Obidos-%28PA%29-confirma-cotas-recordes-em-2021-6849.html>

CRISTALDO, M. F.; SOUZA, C. C.; JESUS, L.; PADOVANI, C. R.; OLIVEIRA, P. T. S.; VIGANÓ, H. H. G. Analysis and Distribution of the Rainfall Monitoring Network in a Brazilian Pantanal Region. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 32 (2). 199-205. 2017.

DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. L. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. *CONFINS (PARIS)*. 37. 1-40. 2018.

FERNANDES, A. C. G., BORGES, I. M. S., SILVA, J. A., SILVA, E. C. B. DA., SANTOS, M. J. R., PESSOA, D. DE S., MARTINS, M. S., SILVA, J. A. DA., CAMPOS, J. O., & MEDEIROS, L. R. DE A. O uso do teste de mann-kendall para detecção de tendência da precipitação em região semiárida pernambucana. *Research, Society and Development*, 11(11), e546111133925. 2022.

FERREIRA, L. C. V., BATISTA, G. R., COSTA, C. E. A. DE S., MIRANDA, S. B. DE A. DE., & DIAS, G. F. DE M. Os índices de anomalia de chuva e sua relação com o El Niño oscilação sul na bacia hidrográfica do rio Tapajós. *Research, Society and Development*, 11(17), e169111738004. 2022.

FRAGA, M. S.; ABREU, M. C.; REIS, G. B.; TOZI, T.; PINHEIRO, S. A. R. Análise de tendência em séries históricas de precipitação e vazão na UGRH2 Piracicaba, Minas Gerais. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*. 11 (2), 136-144. 2020.

GUEDES, V. M. (2020). Dinâmica do carbono e nitrogênio dissolvidos na região do Baixo Rio Amazonas. [Dissertação de Mestrado]. Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação Tecnológica, Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia da Universidade Federal do Oeste do Pará.

LIRA, B. R. P.; LOPES, L. N. A.; CHAVES, J. R.; SANTANA, L. R.; FERNANDES, L. L. Identificação de Homogeneidade, Tendência e Magnitude da Precipitação em Belém (Pará) entre 1968 e 2018. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ. 43. 426-439. 2020.

MARQUES, R. O. Erosão nas margens do rio Amazonas: o fenômeno das terras caídas e as implicações para a cidade de Parintins-AM. [Dissertação de Mestrado]. Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Amazonas). 2017

NITTROUER, C. A.; DEMASTER, D. J.; KUEHL, S. A.; FIGUEIREDO, A. G.; STERNBERG, R. W.; FARIA, L. E. C.; SILVEIRA, O. M.; ALLISON, M. A.; KINEKE, G. C.; OGSTON, A. S.; SOUZA FILHO, P. W. M.; ASP, N. E.; NOWACKI, D. J.; FRICKE, A. T. Amazon Sediment Transport and Accumulation Along the Continuum of Mixed Fluvial and Marine Processes. Annual Review of Marine Science. 13. 501-536. 2021.

OLIVEIRA, A. V. DE; SERRANO, R. O. P; MESQUITA, A. A.; MOREIRA, J. G. DO V. Temporal Trend and Estimation of the Hydrological Risk of Maximum Rainfall and Flow Extremes in the City of Rio Branco, Acre, Brazil. Revista Brasileira de Meteorologia. 36. 749-758. 2021.

PEREIRA, A., REZENDE, A. A., BRAGA, G., & RAMOS ODA, T. Tendências temporais e espaciais da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Piranga, Minas Gerais. Revista Mineira De Recursos Hídricos, 2. 2021. Recuperado de <https://rmrh.igam.mg.gov.br/ojs3/index.php/NM/article/view/43>

POMPEU, M., SOUSA, J., QUEIROZ, J., ALMEIDA, A., SILVA, C., & RIBEIRO, W. Estudo de tempestades severas com a ocorrência de raios nas localidades de Santarém e Belém e suas consequências na sociedade (Lightning characteristics associated to severe storm cases which impacted the cities of Belem and Santarem, in Amazonia). Revista Brasileira de Geografia Física, 11(4), 1202-1214. 2018

ROCHA, P. C., & SANTOS, A. A. DOS. ANÁLISE HIDROLÓGICA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS. Mercator (fortaleza), 17(Mercator (Fortaleza), 2018 17), e17025. 2018.

SANTARÉM. (2019). Revisão do plano municipal de saneamento básico de Santarém - 2020 – 2023. [https://transparencia.santarem.pa.gov.br/storage/midias/anexos/86\\_plano\\_municipal\\_de\\_saneamento\\_2020-2023\\_semdec-seminfra\\_versao\\_final\\_2.pdf](https://transparencia.santarem.pa.gov.br/storage/midias/anexos/86_plano_municipal_de_saneamento_2020-2023_semdec-seminfra_versao_final_2.pdf)

SILVA, B. E. B. Análise dos impactos das diferentes formas de ocupação da superfície sobre as condições meteorológicas na região de Santarém, Pará. [Dissertação de

Mestrado] Museu Paraense Emilio Goeldi, EMBRAPA, Programa de Pós - Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará. 2011.

SILVA, L. E. F. da. Aplicação do teste de Mann-Kendall para detecção de tendência no Rio Cuiabá-MT. *Research, Society and Development*, 9(9), e712996560. 2020.

SOUZA, C. A.; REBOITA, M. S. Ferramenta para o Monitoramento dos Padrões de Teleconexão na América do Sul. *Terrae Didatica*, Campinas, SP. 17 (00), p. e02109. 2021.

SOUZA, T. S.; NASCIMENTO, P. S. Análise multivariada e tendência da precipitação pluviométrica na região hidrográfica do Recôncavo Sul (BA). *Geociências (São Paulo. Online)*. 39. 203-213. 2020.