1008 - ANÁLISE DAS TENDÊNCIAS DE VAZÕES NO RIO PARÁ: SUBSÍDIOS PARA A GESTÃO SUSTENTÁVEL E MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS NA BACIA DO RIO SÃO FRANCISCO

Luis Felipe Figueiredo Mafra[(1)]
Graduando em Engenharia Urbana pela Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (EM/UFOP).
Ana Carolina Lopes Dias[(2)]
Graduanda em Engenharia Ambiental pela Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (EM/UFOP).
Tamara Daiane de Souza[(3)]
Doutora e Mestre em Recursos Hídricos e Ambientais pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Urbana da Universidade Federal de Ouro Preto (DEURB – EM/UFOP).
Múcio André dos Santos Alves Mendes[(4)]
Doutor e Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (DECIV – EM/UFOP)
Aníbal da Fonseca Santiago[(5)]
Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo e Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Viçosa. Professor Associado do Departamento de Engenharia Civil da UFOP (DECIV/EM/UFOP)
Endereço[(1)]**:** Campus Morro do Cruzeiro – Bauxita – Ouro Preto – MG – CEP: 35400-000 – Brasil – Tel: (31) 3559-1471 – E-mail: luis.mafra@aluno.ufop.edu.br

RESUMO

Este estudo analisa as tendências das vazões mínimas, médias e máximas do rio Pará, importante afluente da bacia hidrográfica do rio São Francisco, visando subsidiar a gestão sustentável dos recursos hídricos da região. A partir de séries históricas de dados fluviométricos das estações Velho da Taipa e PCH Gafanhoto Porto Pará, com mais de 40 anos de registros, foram aplicados métodos estatísticos, como o teste de Mann-Kendall, para avaliar a presença de tendências significativas nas vazões ao longo do tempo. Os dados foram processados com auxílio dos softwares SisCAH e Excel, utilizando-se apenas registros consistidos disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA). Os resultados indicaram uma tendência significativa de redução das vazões mínimas e médias nas duas estações analisadas, além da diminuição das vazões máximas em uma delas, evidenciando possíveis impactos decorrentes de mudanças climáticas, uso do solo e pressões antrópicas. Os achados reforçam a necessidade de monitoramento contínuo e planejamento estratégico para garantir a preservação e o uso eficiente dos recursos hídricos da bacia do rio Pará.

PALAVRAS-CHAVE: Hidrologia; Gestão de bacias hidrográficas; Recursos hídricos; Teste de Mann-Kendall

INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos desempenham um papel fundamental no desenvolvimento socioeconômico e ambiental de uma região, sendo essenciais para atividades como o abastecimento público, agricultura, geração de energia e conservação ambiental (TUCCI, 2001). No Brasil, a bacia hidrográfica do Rio São Francisco é uma das mais importantes, abrangendo diversas regiões e contribuindo significativamente para a sustentabilidade de inúmeras atividades humanas (CODEVASF, 2021). Dentro dessa bacia, o Rio Pará destaca-se como um importante afluente, sendo responsável por prover recursos hídricos de grande relevância para a região em que está inserido.

Nas últimas décadas, análises de tendências hidrológicas tornaram-se relevantes, especialmente diante da necessidade de prever os impactos das mudanças climáticas e do uso da terra sobre os recursos hídricos. Alterações no uso e cobertura do solo, como o avanço da agropecuária e a expansão urbana, têm sido apontadas como fatores críticos para a alteração das vazões máximas, médias e mínimas, mesmo em regiões onde a precipitação não apresenta tendência significativa de alteração (VILANOVA, 2014; AIRES, 2018).

Sendo assim, compreender o comportamento hidrológico de rios e suas variações ao longo do tempo é essencial para a gestão e planejamento dos recursos hídricos. Nesse contexto, a análise de tendências das vazões máximas, médias e mínimas assume papel de destaque, pois fornece informações valiosas sobre possíveis alterações no regime hidrológico, que podem ser decorrentes de mudanças climáticas, uso e ocupação do solo ou outros fatores antrópicos (MANN, 1945; KENDALL, 1975; SEN, 1968).

OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo analisar as tendências das vazões mínimas, médias e máximas do rio Pará, na bacia do rio São Francisco, por meio de séries históricas fluviométricas. Busca-se identificar possíveis alterações no regime hidrológico ao longo do tempo e fornecer subsídios técnicos para a gestão sustentável dos recursos hídricos da região.

METODOLOGIA UTILIZADA

DELIMITAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica do rio Pará está inserida na região central do estado de Minas Gerais e constitui um importante afluente do rio São Francisco. Essa bacia compreende uma área total de aproximadamente 12095,38 km², sendo caracterizada por uma diversidade de usos do solo, incluindo atividades agrícolas, urbanas e vegetação natural.

O rio Pará, principal curso d'água da bacia, possui uma extensão aproximada de 256,65 km e desempenha um papel crucial no abastecimento de água e na manutenção dos ecossistemas locais. A delimitação da bacia foi realizada por meio de dados cartográficos e hidrológicos obtidos de plataformas oficiais, como a Agência Nacional de Águas (ANA) e IDE Sisema, utilizando-se técnicas de geoprocessamento por meio do QGis para identificar os divisores de água e a área de drenagem total. A figura 1 ilustra a localização detalhada da nossa área de estudo, além de mostrar também a hidrografia, rio principal e as estações fluviométricas utilizadas para obtenção dos dados de vazão.

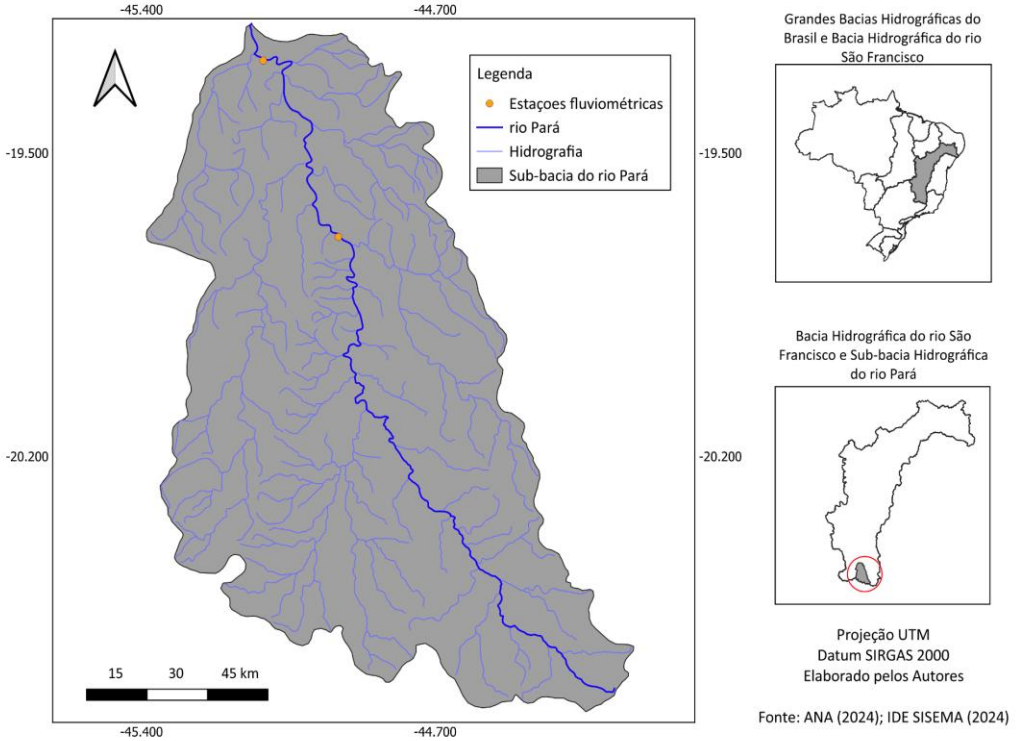

Figura 1: Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do rio Pará
Fonte: os Autores (2025)

AVALIAÇÃO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS DENTRO DA BACIA HIDROGRÁFICA E LEVANTAMENTO DOS DADOS

Nesta etapa, para a coleta de dados hidrológicos do rio Pará, foi utilizado o portal Hidroweb, disponibilizado pela Agência Nacional de Águas (ANA). A busca consistiu na identificação de estações fluviométricas localizadas no leito do rio Pará, com séries históricas de dados superiores a 30 anos. A avaliação foi realizada manualmente, resultando na seleção das estações fluviométricas apresentadas na tabela 1, as quais apresentaram dados, com poucas falhas e adequados para a análise proposta.

Vale ressaltar que neste estudo foram utilizados exclusivamente dados consistidos, fornecidos pelo Hidroweb. As estações selecionadas fornecem dados consistidos de vazões máximas, médias e mínimas, abrangendo décadas de registros históricos. Essas informações são essenciais para identificar padrões e tendências hidrológicas ao longo do tempo, contribuindo para o entendimento do comportamento das vazões na bacia. Além disso, o uso de dados consistidos garante a confiabilidade e a padronização dos dados analisados (ANA, 2021).

Tabela 1: Estações fluviométricas utilizadas para obtenção dos dados de vazões

Estações Fluviométricas		
Código	**Estação**	**Anos analisados**
40330000	Velho da Taipa	1974 - 2023
40450001	PCH Gafanhoto Porto Pará	1974 - 2019

DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES E ANÁLISE DE TENDÊNCIA

A determinação das vazões foi realizada utilizando o software SisCAH, uma ferramenta desenvolvida para auxiliar na análise de dados hidrológicos. Este programa permite o cálculo de indicadores hidrológicos, como vazões máximas, médias e mínimas, a partir de séries históricas. Os dados de vazão das estações fluviométricas 40450001 e 40330000 foram inseridos no SisCAH para tratamento e consolidação das informações. O ano hidrológico considerado foi de outubro a setembro (região sudeste).

Os dados necessários para a pesquisa foram obtidos na plataforma HidroWeb, mantida pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) que faz parte do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), que disponibiliza séries históricas de dados fluviométricos de estações de monitoramento em todo o Brasil. Após a obtenção, os dados foram importados e processados no SisCAH 1.0, onde foi feita a verificação de inconsistências e o cálculo do Q7, indicador hidrológico que representa a menor vazão média de sete dias consecutivos no período analisado. Também foram calculadas as vazões médias e máximas da série histórica.

Os resultados do processamento no SisCAH 1.0 foram exportados para o Microsoft Excel, onde foram realizadas as análises estatísticas de tendência. Para avaliar possíveis tendências nas séries temporais, aplicou-se o teste de Mann-Kendall. O teste foi aplicado separadamente para os valores de Q7 das vazões mínimas, vazões médias e máximas, permitindo avaliar se há aumento ou redução significativa nas vazões ao longo do tempo. O suplemento Real Statistics foi empregado no Excel para a aplicação do teste, permitindo a identificação estatística de tendências significativas nas séries de vazões analisadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ESTAÇÃO VELHO DA TAIPA

Os dados de vazão da Estação Velho Taipa referentes ao período de 1938 a 1972 foram descartados da análise devido à elevada inconsistência e à incompletude das informações disponíveis. Durante esse intervalo, as séries históricas apresentavam lacunas significativas e falhas na coleta, comprometendo a confiabilidade necessária para uma análise estatística. Assim, optou-se por considerar apenas os dados registrados entre os anos de 1973 e 2023, período em que as informações se mostraram mais completas e consistentes. Esse intervalo corresponde ao último ano com dados disponíveis na plataforma HidroWeb, garantindo que a análise contemplasse informações mais confiáveis e representativas do comportamento hidrológico da bacia estudada. Nos Gráficos 1, 2 e 3 estão representadas as vazões mínima, média e máxima com suas respectivas linhas de tendência.

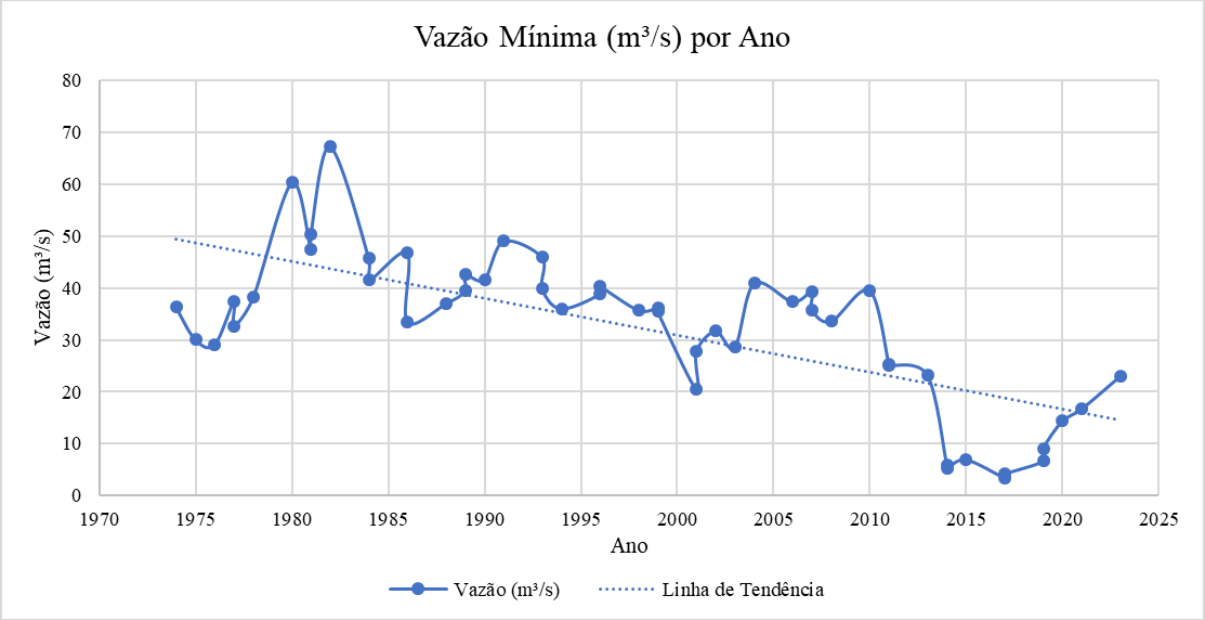

Figura 2: Gráfico de Vazões Mínimas (m3s) por ano da Estação Fluviométrica Velho da Taipa (1973 - 2023)
Fonte: os Autores (2025)

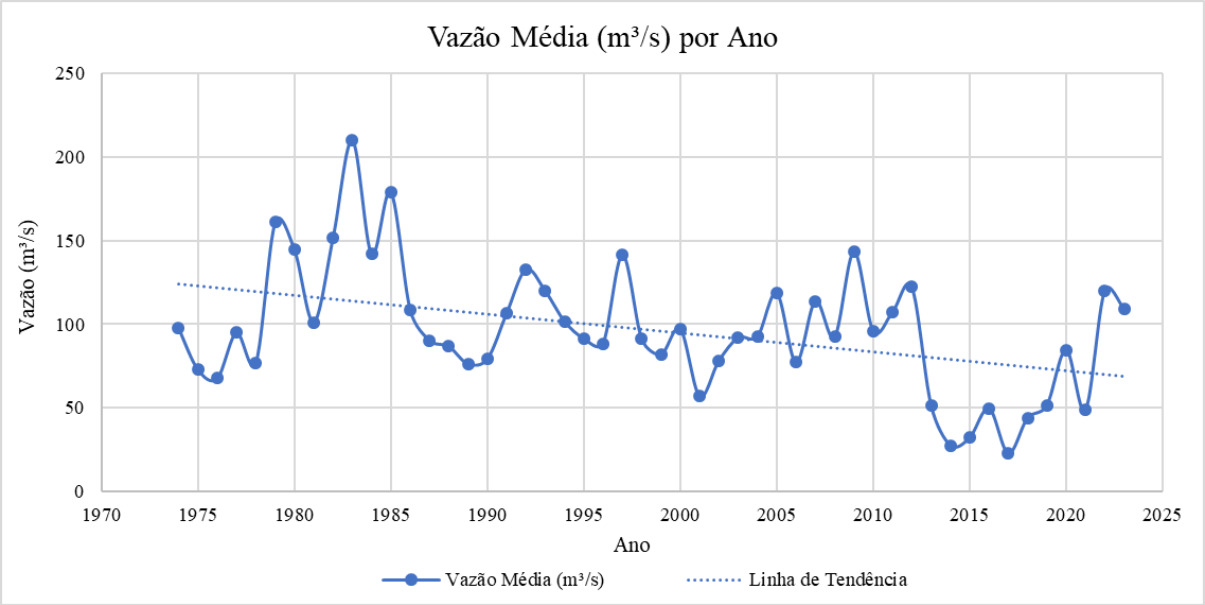

Figura 3: Gráfico de Vazões Médias (m3s) por ano da Estação Fluviométrica Velho da Taipa (1973 - 2023)
Fonte: os Autores (2025)

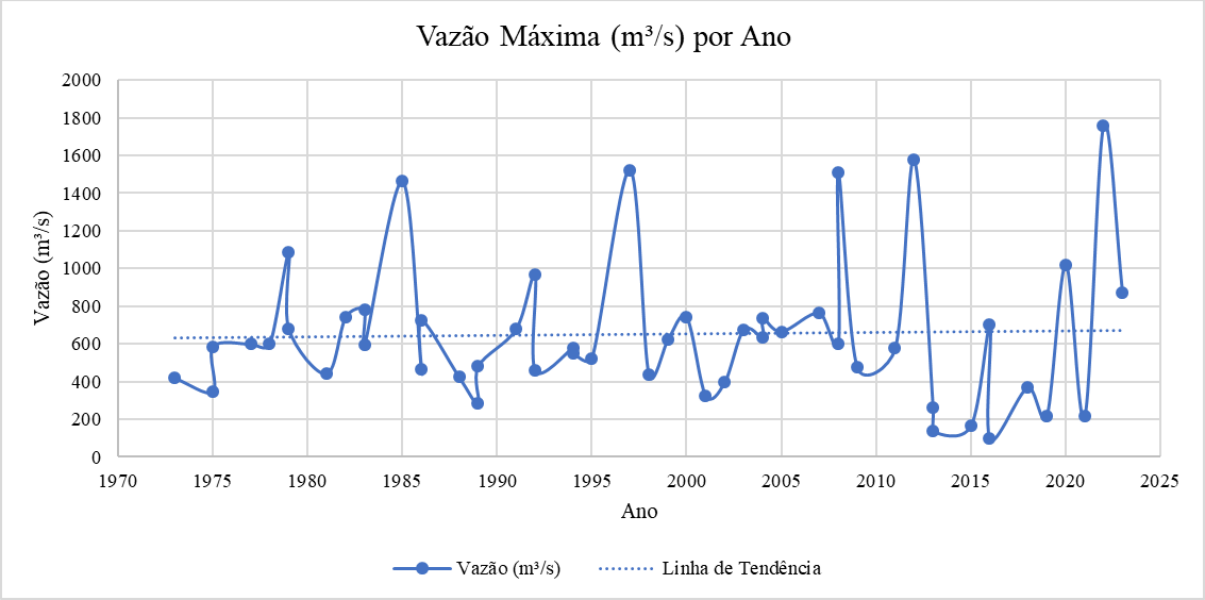

Figura 4: Vazões Máximas (m3s) por ano da Estação Fluviométrica Velho da Taipa (1973 - 2023)
Fonte: os Autores (2025)

A tabela a seguir apresenta uma síntese dos resultados obtidos a partir do Teste de Mann-Kendall aplicado às séries históricas de vazão da estação fluviométrica analisada. Para o cálculo e interpretação das tendências, foi utilizado o suplemento para análises estatísticas "Real Statistics" do Excel, que oferece ferramentas avançadas para a análise de dados temporais.

Tabela 2: Resultados do Teste de Mann-Kendall para a Estação Velho Taipa

Mann-Kendall Test			
Parâmetros	**Vazões Mínimas**	**Vazões Médias**	**Vazões Máximas**
alpha	0,05	0,05	0,05
MK-stat	-604	-283	-42
s.e.	119,5436	119,5478	119,5436
z-stat	-5,04419	-2,35889	-0,34297
p-value	4,55E-07	0,01833	0,73162
trend	yes	yes	no

ESTAÇÃO PCH GAFANHOTO PORTO PARÁ

Os dados da estação fluviométrica PCH Gafanhoto Porto Pará abrangem o período de 1939 a 2019, conforme disponibilizados pela plataforma HidroWeb, da ANA. No entanto, para a presente análise, foram utilizados apenas os dados registrados entre 1974 e 2019. A exclusão dos dados anteriores a 1974 deve-se à presença de inconsistências significativas e lacunas na série histórica, que comprometem a confiabilidade necessária para a realização das análises estatísticas.

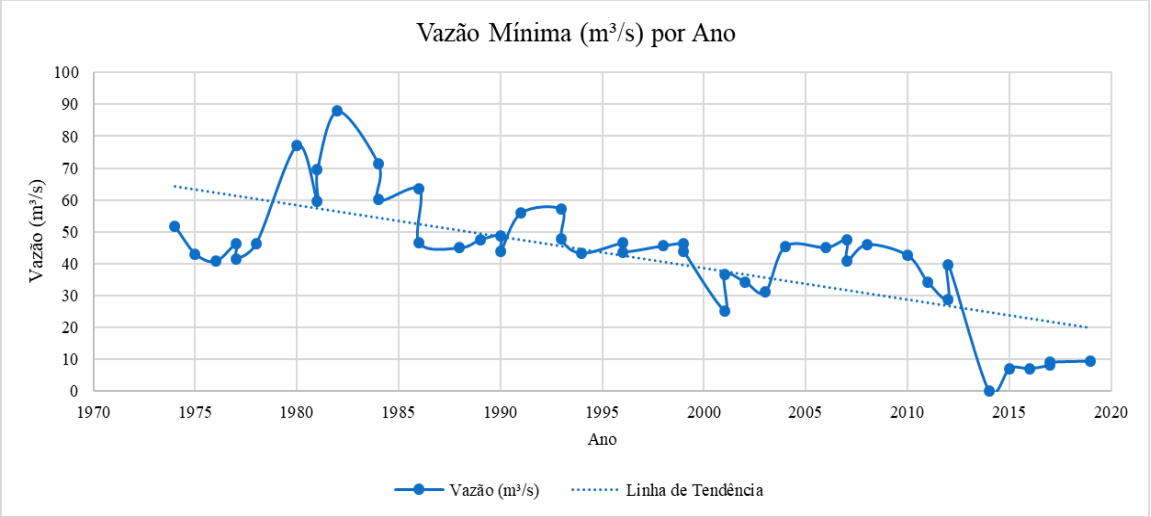

Figura 5: Gráfico de Vazões Mínimas da Estação PCH GAFANHOTO PORTO PARÁ (1974 - 2019)
Fonte: os Autores (2025)

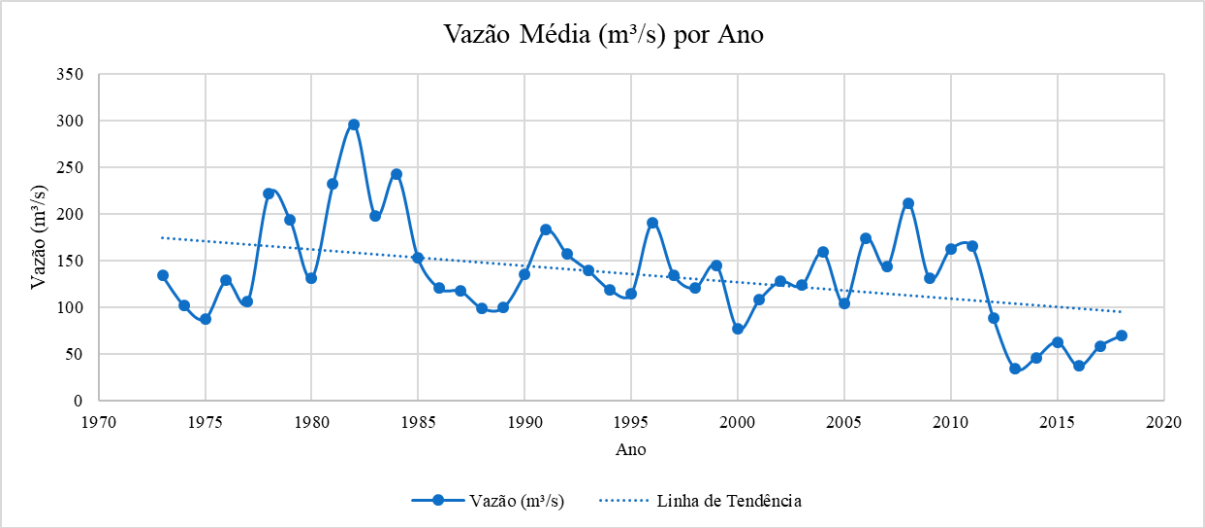

Figura 6: Gráfico de Vazões Médias da Estação PCH GAFANHOTO PORTO PARÁ (1974 - 2019)
Fonte: os Autores (2025)

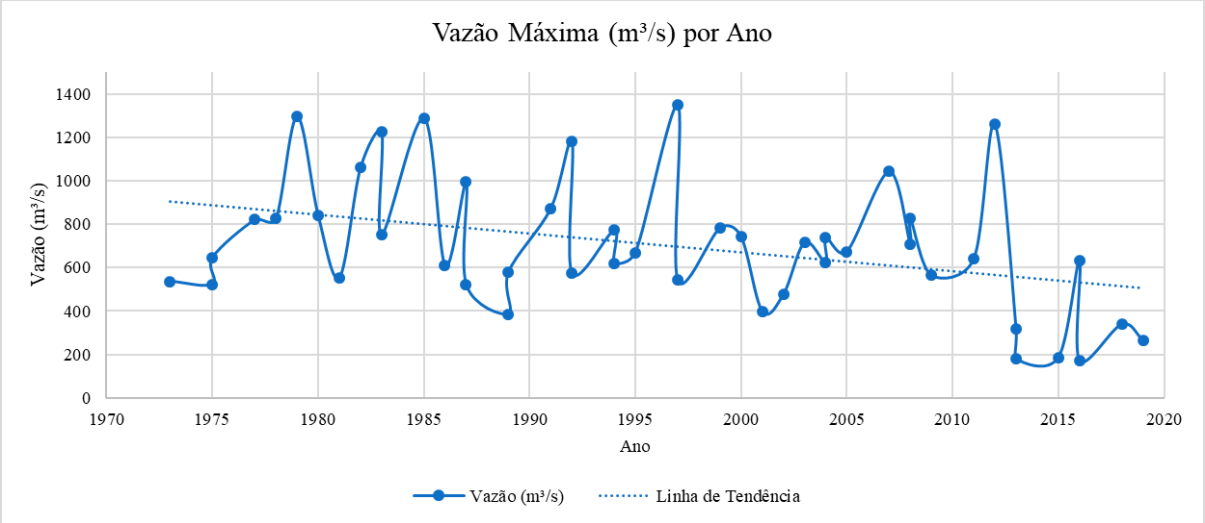

Figura 7: Gráfico de Vazões Máximas da Estação PCH GAFANHOTO PORTO PARÁ (1974 - 2019)
Fonte: os Autores (2025)

A tabela 3 apresenta uma síntese dos resultados obtidos a partir do Teste de Mann-Kendall aplicado às séries históricas de vazão da estação fluviométrica analisada. Para o cálculo e interpretação das tendências, foi utilizada a mesma metodologia da estação anterior.

Tabela 3: Resultados do Teste de Mann-Kendall para a Estação PCH GAFANHOTO PORTOPARÁ (1974 - 2019)

Mann-Kendall Test			
Parâmetros	**Vazões Mínimas**	**Vazões Médias**	**Vazões Máximas**
alpha	0,05	0,05	0,05
MK-stat	-534	-241	-255
s.e.	105,6125	105,61723	105,61723
z-stat	-5,046751	-2,272356	-2,404911
p-value	4,494E-07	0,023065	0,0161764
trend	yes	yes	yes

Com os resultados obtidos, foi possível identificar uma diminuição das vazões na sub-bacia ao longo do tempo, evidenciando mudanças no comportamento hidrológico da região. O teste de Mann-Kendall, aplicado às séries históricas de vazão mínima, média e máxima, confirmou a existência de uma tendência estatisticamente significativa de redução nos valores ao longo do período analisado.

Esse resultado indica que, com o passar dos anos, a sub-bacia tem apresentado uma diminuição consistente na disponibilidade hídrica, o que pode ser reflexo de diversos fatores, como mudanças climáticas, ação antrópica sobre os recursos hídricos (desmatamento, expansão urbana e agrícola), ou mesmo alterações no uso e ocupação do solo. Essa tendência está em consonância com outros estudos que apontam mudanças no regime hidrológico de bacias devido a fatores climáticos e antrópicos, como alterações no uso e ocupação do solo e aumento da demanda hídrica (VILANOVA, 2014; AIRES, 2018).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente estudo apresentou alterações significativas nas vazões do rio Pará, localizado na bacia hidrográfica do rio São Francisco. A análise das séries históricas, utilizando o teste de Mann-Kendall, revelou tendências de redução nas vazões mínimas e médias em ambas as estações fluviométricas analisadas, indicando uma possível diminuição da disponibilidade hídrica ao longo do tempo. Os resultados obtidos fornecem informações importantes para a gestão sustentável dos recursos hídricos, destacando a necessidade de monitoramento contínuo e de políticas públicas que considerem as especificidades locais.

Com base nos resultados apresentados, recomenda-se a realização de estudos complementares que aprofundem a investigação das causas dessas tendências, bem como o desenvolvimento de estratégias de manejo que mitiguem os impactos observados. Dessa forma, espera-se contribuir para a preservação dos recursos hídricos e a sustentabilidade ambiental da bacia do rio Pará.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRHidro - ANAIS - MODIFICAÇÕES DO TESTE DE MANN-KENDALL: *A importância das premissas de testes estatísticos*. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=13425>.

AIRES, U. R. V. *Utilização de NDVI para análise da influência da modificação da cobertura vegetal no regime de vazões*. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 97 p.

ANA. *Hidroweb: Sistema de Informações Hidrológicas*. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2021. Disponível em: https://www.snirh.gov.br/hidroweb/. Acesso em: 9 jan. 2025.

CODEVASF. *Bacia do Rio São Francisco*. Brasília: Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba, 2021. Disponível em: https://www.codevasf.gov.br/. Acesso em: 9 jan. 2025.

GPRH - Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos - Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <https://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>.

KENDALL, M. G. *Rank Correlation Methods*. 4th ed. London: Charles Griffin, 1975.

MANN, H. B. *Nonparametric tests against trend*. Econometrica, v. 13, n. 3, p. 245-259, 1945.

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

TUCCI, C. E. M. *Gestão de Recursos Hídricos no Brasil*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 6, n. 1, p. 5-22, 2001.

VILANOVA, M. R. N. *Trends in mean annual streamflows in Serra da Mantiqueira environmental protection area*. Brazilian Archives of Biology and Technology, v. 57, n. 6, p. 1004–1112, 2014.