

## **Tendências fluviométricas em pontos dos principais cursos d'água de Minas Gerais: cenários pretéritos e prospectivos**

**Luciano de Godoi Gaspar<sup>1</sup>**

**Vanderlei de Oliveira Ferreira<sup>2</sup>**

### **RESUMO**

Estudos acerca dos fluxos fluviométricos, considerando dados de vazões máxima, média e mínima, são de suma importância, pois permitem aprofundar o entendimento das relações presentes e pregressas entre o homem e a natureza, bem como a adoção de medidas estratégicas quanto aos aproveitamentos da água pelas atividades econômicas nas bacias hidrográficas. O presente artigo procura verificar a possível ocorrência de cenários tendenciais de vazões nas principais bacias hidrográficas com área de abrangência no Estado de Minas Gerais. Foram selecionadas séries de 31 postos fluviométricos com pelo menos 44 anos de extensão no Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Os dados foram tratados e analisados considerando o tempo pretérito e em termos de tendências predominantes, visando a indicação prognóstica das situações. Os resultados foram expostos de forma textual e enriquecido com quadros sínteses. Fica claro que a tendência de redução das vazões é predominante em quatro das cinco grandes bacias estudadas. Espera-se que os dados gerados e analisados possam ser utilizados em pesquisas futuras e estimulem a diversificação e aprofundamento das alternativas metodológicas destinadas a iniciativas similares, garantindo mais segurança sobre o cenário futuro do comportamento hidrológico das bacias estudadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Hidrologia, bacias hidrográficas, tendências fluviométricas, disponibilidade hídrica.

<sup>1</sup> Discente do curso de licenciatura em Geografia do Instituto de Geografia, Geociências e Saúde Coletiva da UFU. Bolsista de Iniciação Científica UFU/CNPq. E-mail: luciano.gaspar@ufu.br

<sup>2</sup> Professor da Universidade Federal de Uberlândia - UFU, focando especialmente temas de interface entre Hidrologia e Climatologia, com destaque para os impactos das mudanças climáticas e do uso e ocupação das terras sobre a dinâmica hidrológica, recorrendo a instrumentos de análise tendencial e recursos geocartográficos. É membro do grupo de pesquisa Geoinformação, Território e Conservação - GISTeC. É membro do Laboratório de Cartografia e Sensoriamento Remoto - LACAR. É professor permanente do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia. E-mail: vanderlei.ferreira@ufu.br

## ABSTRACT

Studies on river flows, considering maximum, average and minimum flow data, are of utmost importance, as they allow for a deeper understanding of the present and past relationships between man and nature, as well as the adoption of strategic measures regarding the use of water by economic activities in river basins. This article seeks to verify the possible occurrence of trend scenarios of flow in the main river basins with an area of coverage in the State of Minas Gerais. Series of 31 river gauge stations with at least 44 years of extension were selected from the Sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb) of the Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). The data were processed and analyzed considering the past time and in terms of predominant trends, aiming at indicating prognostic situations. The results were presented in text form and enriched with summary tables. The trend of reduction of flows is predominant in four of the five large basins studied. It is expected that the data generated and analyzed can be used in future research and stimulate the diversification and deepening of methodological alternatives aimed at similar initiatives, ensuring greater security regarding the future scenario of the hydrological behavior of the basins studied.

**KEYWORDS:** Hydrology, river basins, fluviometric trends, water availability.

## 1. INTRODUÇÃO

O acompanhamento da situação ambiental das bacias hidrográficas e das variações hidrológicas e hidroclimáticas tem levado a uma busca incessante de dados. O equilíbrio e o controle entre a oferta e a demanda hídrica dependem de boas informações referentes aos escoamentos fluviais, de análises e estudos aprofundados sobre as bacias hidrográficas em todas as regiões do território nacional e da proposição de medidas a serem tomadas para um manejo eficiente e sustentável dos recursos hídricos. As pesquisas e as análises de tendências fluviométricas em séries históricas de dados têm bastante utilidade para várias áreas do conhecimento, pois, o aumento, a estabilidade ou a redução da disponibilidade hídrica impactam, direta ou indiretamente, as mais diversas atividades humanas e cadeias de produção. Os regimes fluviométricos são afetados por uma grande quantidade de fatores, entre eles, as mudanças climáticas e a variabilidade dos regimes de precipitação, as alterações do uso do solo (queimadas, desmatamentos, compactação, impermeabilização), as captações de água e a construção de hidrelétricas e barragens. No estado de Minas Gerais, vários estudos apontam para a tendência de redução da disponibilidade hídrica

no sistema hidrológico e os resultados da presente pesquisa confirmam que a situação caminha para a insuficiência em vários pontos das bacias, em suas porções mineiras, resultado de todas as transformações de maneira acelerada das paisagens, na maioria dos casos não planejadas, que impactam a dinâmica hidrológica destas bacias.

O objetivo geral foi pesquisar as tendências fluviométricas dos rios São Francisco, Jequitinhonha, Doce, Grande e Paranaíba, analisando séries históricas de postos de medição selecionados a partir de critérios temporais e espaciais, o comportamento das suas vazões durante todo o período de registro de dados e, através de dois métodos distintos (Regressão Linear e Teste do Sinal), apontar as tendências prognósticas para pontos destes cursos d'água. É importante ressaltar que as situações variam de bacia para bacia e podem variar em uma mesma bacia, de posto para posto. Por isso, houve a necessidade de espacialização das tendências de forma pontual, em cada posto pesquisado, pois cada curso d'água tem sua área de contribuição e suas especificidades, dentro da bacia a qual pertence. Os objetivos específicos incluíram a construção do banco de dados, a produção de gráficos de Regressão Linear com análise pretérita detalhada das vazões médias, máximas e mínimas e suas tendências prognósticas, além dos gráficos de Teste do Sinal, que também apresentam tendências e confirmam ou não os resultados das Regressões Lineares.

## **2. SÉRIES HISTÓRICAS - ANÁLISES E TENDÊNCIAS**

No Brasil, através do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), gerido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), são monitorados e disponibilizados os dados de muitos postos de medição dos fluxos fluviométricos de boa parte do conjunto de rios que formam as bacias hidrográficas. Essas informações fazem parte do SNIRH, instrumento de gestão previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Estão disponíveis em séries históricas de registros de dados diários que podem ser baixadas em arquivos de diferentes formatos e precisam passar por algumas etapas de tratamento para a verificação de possíveis falhas, para que apresentem consolidação e consistência. A análise de tendências de longo prazo em séries históricas de vazão tem aplicação direta nos estudos relacionados ao manejo e conservação de recursos naturais e nas iniciativas de planejamento de atividades econômicas, incluindo pesca, navegação, abastecimento público de água, agricultura e produção de energia

hidroelétrica. Uma das maneiras de estudar e entender as transformações ocorridas em uma bacia hidrográfica é verificar e diagnosticar o comportamento de suas vazões. O uso de séries históricas com dados consistentes para se obter resultados confiáveis pode permitir uma avaliação desse comportamento, ao longo do tempo, mais próxima da realidade. Conforme Silveira et al (2016):

O estudo de tendências em séries de vazões de uma bacia revela o seu comportamento ao longo do tempo. As tendências são inclinações nos valores de dada variável hidrológica, usando como parâmetros os níveis de significância estatísticas, podendo revelar um acréscimo ou decréscimo em seus volumes no decorrer dos anos, ou mesmo atestar a hipótese de uma distribuição homogênea nesses dados, o que revelaria a ausência de tendências significativas (Silveira et al., 2016).

O levantamento, tabulação, consolidação e análise de dados referentes aos recursos hídricos de um território, além de muito importantes para o acompanhamento da situação ambiental das bacias hidrográficas, são úteis para a previsão de possíveis cenários futuros e pesquisas sobre prevenção e contenção de danos.

Os modelos matemáticos que analisam efeitos das mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica futura indicam que haverá escassez em muitas regiões do planeta. O Brasil será impactado pelas mudanças climáticas globais, incluindo efeitos nos padrões de pluviometria e fluviometria, que também são impactados por efeitos locais e regionais de atividades produtivas. São necessários estudos abrangentes a esse respeito, incluindo o desenvolvimento de ferramentas de análise que possam oferecer apoio à decisão gerencial, especialmente na escala das bacias hidrográficas. A possibilidade de prever valores e cenários futuros é de grande importância para as mais diversas áreas do conhecimento biogeográfico, climático, hidrológico etc. Segundo Palit e Popovic, 2005 apud Ferreira (2012, p. 318):

O estudo de séries temporais tem grande aplicabilidade na climatologia porque permite a previsão de valores futuros para diversos elementos climáticos. A análise de tendência pretende indicar expectativas de valores para um dado horizonte de previsão. Para isso, recorre a registros históricos obviamente anteriores ao horizonte de previsão, que são utilizados para formar os exemplos (padrões) necessários à extração do conhecimento aplicável à previsão de valores futuros (Palit e Popovic, 2005).

Especialmente, para os campos da climatologia e da hidrologia, as séries históricas permitem, entre outros estudos, verificar padrões e alterações dos índices de

vazão ao longo do tempo e fornecem informações que possibilitam identificar as médias e os extremos dos índices, com detalhamentos de dados pretéritos que podem ser analisados na periodicidade de décadas, anos, meses ou dias, sendo que, nesta pesquisa, o recorte temporal utilizado foi anual, dada a extensão temporal das séries selecionadas.

### **3. FATORES CONDICIONANTES DAS ALTERAÇÕES DAS VAZÕES**

Os escoamentos superficial, subsuperficial e subterrâneo convergem para os rios, que formam a rede de drenagem de uma bacia hidrográfica. Características físicas tais como rugosidade, declividade, obstrução ao fluxo, têm influência absoluta no escoamento fluvial, mas são processos naturais que ocorrem na escala de tempo da natureza. Geralmente, os rios moldam dois leitos principais, um menor, onde escoam a maior parte do ano e um leito maior, que o rio ocupa durante as enchentes, quando transborda. Segundo Tucci (2002, p.32): “[...] quando o leito não é rochoso, as enchentes que ocorrem ao longo dos anos geralmente moldam um leito menor de acordo com a frequência das vazões.” Diferentes estudos apontam mudanças nas vazões dos rios, provocadas pelo uso das terras e suas consequências e por alterações nos fatores climáticos, como a diminuição da precipitação e o aumento da evapotranspiração. Segundo Salmona et al (2022, p.2):

Os fluxos dos rios são gerados por um mecanismo complexo que envolve interações água-energia entre a superfície terrestre e a atmosfera. Esses fluxos dependem da manutenção do ciclo hidrológico, incluindo serviços ecossistêmicos como a função da vegetação de reduzir a erosão do solo e o escoamento superficial durante as estações chuvosas, a infiltração de água em solos profundos e porosos regulados pelas longas raízes da vegetação, o abastecimento de águas subterrâneas dos fluxos de base durante as estações secas e a disponibilidade de umidade na atmosfera fornecida pelos processos de evapotranspiração.

A dinâmica entre solo, vegetação e atmosfera tem forte influência no ciclo hidrológico. Segundo Tucci (2002), a parcela de precipitação que atinge o solo, em áreas de cobertura vegetal densa é, em média, 85% do seu volume. A água da chuva pode infiltrar ou escoar superficialmente, dependendo da capacidade de infiltração do solo, que varia de acordo com a umidade já existente, as características do solo e da sua cobertura. Um solo argiloso pode ter boa capacidade de infiltração enquanto estiver seco, mas, depois de saturado, torna-se quase impermeável. Normalmente, solos cobertos com floresta têm mais capacidade de infiltração, enquanto solos

desprotegidos estão mais vulneráveis à compactação pela ação dos diversos usos da terra, o que diminui significativamente a capacidade de infiltração e aumenta o escoamento superficial. A água que infiltra pode percolar para um aquífero ou pode escoar subsuperficialmente até a superfície ou cursos d'água. O armazenamento da água em um aquífero e o transporte subterrâneo até os rios condiciona a perenidade destes em épocas de longa estiagem.

De acordo com Tucci, a ação do homem sobre o uso do solo pode produzir mudanças significativas na redução ou aumento das vazões médias, mínimas e máximas de uma bacia hidrográfica, tanto pelas alterações do uso das terras no meio rural, quanto pela intensa urbanização e a falta de planejamento, agravados pelo reduzido monitoramento do comportamento hidrológico de nossos biomas, conforme explica (TUCCI, 2002, p. 8):

O desmatamento para culturas anuais aumenta o escoamento médio de uma bacia pela redução da evapotranspiração. O impacto que isto tem sobre a vegetação e os sistemas hídricos dependem dos efeitos de escalas nas bacias de maior porte. Na literatura existe pouca comprovação sobre o efeito do uso do solo sobre o escoamento em grandes bacias; A maioria do conhecimento hidrológico tem sido observado em pequenas bacias, a nível internacional e no Brasil o conhecimento do comportamento eco hidrológico dos biomas nacionais é muito reduzido devido à falta de monitoramento; O impacto do desenvolvimento urbano também apresenta um dos efeitos significativos sobre o ambiente criando condições extremamente desfavoráveis sobre os rios na vizinhança dos centros urbanos, além das inundações geradas por projetos de drenagem totalmente inadequados em quase todas as cidades brasileiras.

As mudanças no uso da terra causadas pela expansão agrícola e pecuária é a principal causa das emissões de gases de efeito estufa no Brasil, portanto, alguns efeitos das mudanças climáticas sobre a disponibilidade de água superficial são resultado da atividade agropecuária. O bioma cerrado apresenta grande contribuição, bem definida e alta, do fluxo de base e abastecimento hídrico nas estações secas em importantes bacias brasileiras. O desmatamento e a mudança da cobertura do solo de vegetação nativa para plantações de soja, cana, qualquer outra monocultura, ou pasto, afetam uma ampla cadeia de componentes hidrológicos a médio ou longo prazo. Os efeitos hidrológicos incluem a redução da evapotranspiração real, redução da capacidade de infiltração de água e recarga de aquíferos, aumento da vazão superficial durante o período chuvoso e diminuição da vazão dos rios durante os períodos de seca a médio e longo prazos. Conjuntamente, esses fatores podem diminuir a capacidade de recarga dos aquíferos durante a estação chuvosa e, conseqüentemente, diminuir a capacidade

de sustentar o alto consumo de água para irrigação de culturas durante os períodos secos. Segundo Salmona et al (2022, p.19, apud Spera (2016) e Nóbrega (2017), foi observado a diminuição da evapotranspiração real em ambientes ocupados por grandes áreas agrícolas:

[...]Portanto, é muito provável que o aumento da vazão observado no curto prazo logo após o desmatamento e no início da produção agrícola possa ser considerado uma resposta à redução na evapotranspiração observada. Nesses casos, a vazão tenderá a diminuir em intervalos de tempo de médio e longo prazo.

As alterações climáticas são refletidas nas mudanças da temperatura, precipitação, vento, radiação solar, umidade, ou seja, nas variáveis que representam o clima. A distribuição temporal e espacial das chuvas e a evapotranspiração podem alterar as estatísticas das séries de vazões. Assim, segundo Tucci (2002, p. 73):

Estas mudanças não alteram somente as vazões para uma bacia existente, mas também alteram os condicionantes naturais que dão sustentabilidade ao meio natural como a fauna e flora. Ao longo do tempo a modificação climática gera outros ambientes em função da ocorrência de maior ou menor precipitação, temperatura, umidade etc. Com a alteração destes condicionantes, os escoamentos provenientes das bacias também se alteram. É importante observar que o efeito da modificação climática (e mesmo variabilidade climáticas de longo prazo) produzem alterações do ambiente da bacia que resulta em modificações desta parte do ciclo hidrológico, além das alterações dos valores absolutos de entrada na bacia hidrográfica. Em recursos hídricos geralmente admite-se que a variabilidade climática natural apresenta um comportamento estacionário que depende da representatividade da série histórica de observação. Como as séries históricas geralmente não são suficientemente longas, elas podem apresentar variabilidade de estatísticas de acordo com a amostra obtida ao longo do tempo.

A esse respeito, em artigo recente, Salmona et al (2022, p.3), citam as alterações climáticas nas precipitações e na evapotranspiração potencial relacionadas ao bioma Cerrado:

Do ponto de vista climático, mudanças nas chuvas ou na evapotranspiração potencial podem afetar diretamente os fluxos dos rios. Da mesma forma, o aumento do desmatamento tende a reduzir a infiltração de água no solo, a evapotranspiração e, conseqüentemente, reduzir a regulação do fluxo dos rios com base nas águas subterrâneas durante os períodos de seca. Estes são elementos cruciais em ambientes sazonais como no bioma Cerrado. Além disso, o desmatamento pode aumentar o consumo de água pelos sistemas de irrigação agrícola, demandando grandes quantidades de água durante o período de menor disponibilidade de água superficial, o que causa até mais escassez. No entanto, avaliar a sustentabilidade do sistema acoplado homem-natureza requer a distinção dos potenciais impulsionadores das mudanças nas águas superficiais, o que pode permitir a melhoria na utilização dos recursos hídricos.

#### 4. ROTEIRO METODOLÓGICO

O desenvolvimento da pesquisa seguiu os seguintes passos:

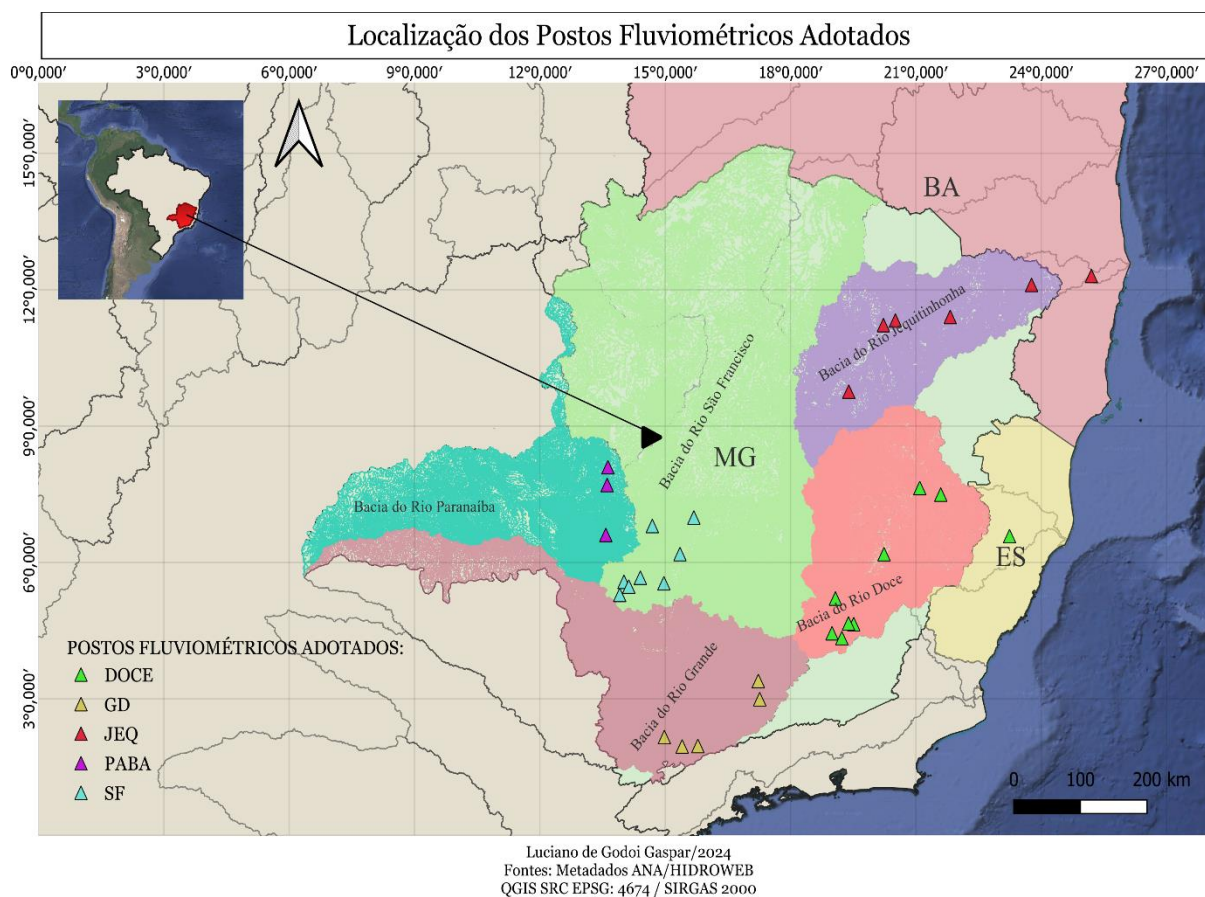
a. Seleção de dados de vazão anual, diretamente do HidroWeb – Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). A qualidade dos dados foi considerada na escolha, especialmente quanto à presença de lacunas na série temporal. Foram adotadas séries de, pelo menos, 44 anos de extensão e seções controladas por barramentos foram evitadas.

b. Tratamento e análise pretérita dos dados das vazões máximas, médias e mínimas dos postos de medição selecionados, considerando a representatividade de cada posto e a qualidade das informações disponíveis.

c. Tratamento e análise prognóstica, por meio da aplicação de métodos geoestatísticos de projeção (retas de regressão linear e teste do sinal).

Inicialmente, foram buscados postos de medição que se encaixassem nos critérios e objetivos desta pesquisa: séries com no mínimo 50 anos de dados contínuos, localizadas onde não houvesse interferência de Hidroelétricas e/ou barragens e represas. A busca foi realizada na página da ANA/HIDROWEB, selecionando a opção “pesquisa por séries históricas”, por bacia hidrográfica e por nome do rio. A seleção dos postos foi feita a partir das informações que cada uma delas oferece ao serem importadas para o software HIDRO 1.4 (aplicativo disponibilizado pela ANA), sendo verificadas as coordenadas geográficas e a localização de cada posto (para descartar estações imediatamente a jusante de barramentos), a consistência dos dados, para selecionar séries com o mínimo de lacunas e a extensão do registro temporal das séries. Nesse processo constatou-se que, para cada rio pesquisado, a quantidade de estações com dados que atendiam aos critérios da pesquisa seria diferente para cada bacia, especialmente com relação à extensão temporal, já que em algumas das bacias pesquisadas não foram encontradas séries com mais de 50 anos, sendo, então, utilizadas as séries com maior extensão de registro de dados encontradas, como, por exemplo, o posto Patos de Minas, na bacia do rio Araguari, que apresenta a série mais curta, com 44 anos. Assim, para o rio Doce, foram selecionados 9 postos, para o rio São Francisco, 8 postos, para o rio Jequitinhonha, 6 postos, para o rio Grande, 5 postos e para o rio Paranaíba, apenas 3 postos preencheram os critérios seletivos (Figura 1).

Figura 1: mapa da localização dos postos fluviométricos



Nesse ponto da pesquisa percebeu-se que os dados consistidos disponibilizados pela ANA iam até o ano de 2014 e a partir de 2015 existiam apenas dados brutos, sendo que alguns postos não apresentaram dados pós 2014, caso de todos os postos da bacia do rio Grande. O tratamento dos dados obtidos foi feito a partir das planilhas baixadas e importadas para o Excel. Estas planilhas, geradas pelo programa HIDRO 1.4, apresentaram algumas notações utilizadas pela ANA, quando os dados possuem alguma inconsistência, por ex.: o asterisco (\*), representa valor estimado, ponto de interrogação (?), representa valor duvidoso e cerquilha (#), representa régua seca. Para serem trabalhados no Excel, estas inconsistências foram excluídas, assim como, nas séries temporais, os anos que apresentaram mais de duas lacunas com falta de dados mensais foram desconsiderados, para que a aplicação dos cálculos de regressão linear e teste do sinal apresentassem resultados mais satisfatórios. As tabelas e os gráficos produzidos no Excel foram divididos por bacia e seus postos selecionados, organizados

em ordem crescente, de acordo com o código de cada estação. Os gráficos apresentam a descrição do nome da estação, localidade, código e período de registro de dados. As tabelas das séries foram divididas em 4 partes iguais, partindo do menor valor até o maior valor da série e este intervalo representa, em seu primeiro quartil (0% - 25%) valores de vazão baixa, identificados na cor azul, em seu segundo e terceiro quartis (25% a 75%) valores de vazão normal, identificados nas cores verde e amarela e o último quartil (75% - 100%) representa os níveis de vazão alta, identificados na cor vermelha. A etapa seguinte consistiu na aplicação do cálculo de regressão linear em cada tabela, obtendo-se, assim, os gráficos que representaram a tendência de aumento, redução ou estabilidade das vazões, ao longo do período de registro de dados. Conforme Ferreira (2012, p.320):

A linha de tendência fluviométrica foi feita através da análise de regressão linear com a variável tempo. Se ela for estendida para os anos que dão continuidade à série histórica é possível prever os valores futuros. O gráfico é construído por meio da equação:  $y = a.x + b$ . As constantes “a” e “b” podem ser obtidas no Microsoft Excel por meio da função =INCLINAÇÃO para “a” e =INTERCEPÇÃO para “b”.

Para a aplicação do teste do sinal foram utilizados os mesmos dados que geraram os gráficos de regressão linear. As séries de dados de vazões médias, máximas e mínimas foram divididas em duas subséries com a mesma quantidade de anos, denominadas  $X_i$  e  $Y_i$ , e em seguida foi calculada a diferença ( $D_i$ ) para cada par de observações. Segundo Ferreira (2012, p.321):

O teste do sinal é mais uma alternativa simples para detectar tendências em séries temporais, embora não recomendado como ferramenta única. Inicialmente a série temporal deve ser dividida em duas subséries de igual tamanho, seguindo a cronologia original. Se o número de sinais positivos for aproximadamente igual ao número de sinais negativos, a tendência indica manutenção do comportamento da variável estudada. Se o sinal negativo prevalecer admite-se que está havendo tendência de aumento (a primeira subsérie apresenta valores menores). Se prevalecer o sinal positivo a situação é de redução da variável estudada (a primeira subsérie apresenta valores maiores)

Com a aplicação da equação ( $D_i = X_i - Y_i$ ), se  $D_i > 0$ , ao par foi atribuído um sinal positivo (+). Se  $D_i < 0$ , ele recebeu um sinal negativo (-), se  $D_i = 0$  exclui-se o par de observações e o tamanho da amostra foi reduzido.

## 5. RESULTADOS

Foram produzidos 93 gráficos de Regressão Linear e 93 gráficos do Testes do Sinal, que contêm as análises pretéritas e prognósticas detalhadas das vazões médias, máximas e mínimas e as comparações entre os dois métodos estatísticos utilizados. As análises pretéritas descrevem os valores das médias anuais das vazões média, máxima e mínima ao longo do período de registro de dados de cada posto, os desvios padrão e as percentagens referentes aos valores de vazão baixa, normal e alta, além dos gráficos de Regressão Linear. As análises prognósticas descrevem os resultados obtidos especificamente com a aplicação do cálculo de regressão linear e teste do sinal e a comparação dos resultados de cada método. Os resultados mostraram que a tendência de redução das vazões médias é predominante nos Rios São Francisco, Jequitinhonha, Doce e Paranaíba, nos pontos onde os postos estão localizados, com algumas variações em relação às máximas e mínimas, o que pode representar alterações na curva de permanência do volume hídrico. O Rio Grande foi a exceção e apresentou tendência predominante de aumento das vazões médias e máximas.

### 5.1 Bacia do Rio São Francisco

Para a bacia do rio São Francisco foram selecionados os postos listados no Quadro 1.

**Quadro 1.** Postos fluviométricos selecionados na bacia do rio São Francisco, MG.

Município	Posto	Código	Alt. (m)	Latitude	Longitude
Vargem Bonita	Vargem Bonita	40025000	744	-20.327	-46.366
S. Roque de Minas	Faz. Samburá	40032000	734	-20.150	-46.303
S. Roque de Minas	Faz. da Barra	40037000	668	-20.215	-46.232
BambuÍ	Faz. Ajudas	40040000	681	-20.095	-46.062
Iguatama	Iguatama	40050000	573	-20.170	-45.715
Moema	Pte. Chumbo	40070000	593	-19.776	-45.479
Martinho Campos	Pto. Andorinhas	40100000	532	-19.281	-45.275
São Gotardo	Barra Funchal	40930000	679	-19.395	-45.886

Observando os resultados da bacia do Rio São Francisco, 100% dos postos pesquisados (8) apresentaram tendência de redução das vazões médias, com poucas diferenças nas vazões máximas e mínimas, nas quais prevaleceu a tendência de redução, embora tenham aparecido algumas tendências de estabilidade ou aumento. O Quadro 2 sintetiza os resultados referentes às médias anuais das vazões médias, máximas e mínimas, ao longo do período de registro de dados de cada posto selecionado na bacia do rio São Francisco e suas tendências fluviométricas, de acordo com os resultados da aplicação do cálculo de regressão linear e teste do sinal.

**Quadro 2.** Dados médios e tendências fluviométricas, de acordo com os resultados da aplicação do cálculo de regressão linear e teste do sinal nos postos da bacia do rio São Francisco.

Bacia	Posto/ Período	Município	Vazão	(Médias do período) m <sup>3</sup> /s	R.L.	T.S.
SF	Vargem Bonita	Vargem Bonita	Média	8,8	▼	▼
	80 anos		Máxima	92,7	▼	▼
			Mínima	2,9	▼	▼
SF	Faz. Samburá	S.Roque de Minas	Média	19,1	▼	▼
	54 anos		Máxima	126,2	▼	▲
			Mínima	7,2	▼	▼
SF	Faz. Da Barra	S.Roque de Minas	Média	22,2	▼	▼
	56 anos		Máxima	247,6	▲	—
			Mínima	4,7	▼	▼
SF	Faz. Ajudas	Bambuí	Média	5,4	▼	▼
	79 anos		Máxima	43,5	▼	▼
			Mínima	1,4	▼	▼
SF	Iguatama	Iguatama	Média	106,7	▼	▼
	97 anos		Máxima	546,9	▲	▲
			Mínima	29,9	▲	▲
SF	Pt. Do Chumbo	Moema	Média	179,2	▼	▼
	54 anos		Máxima	734,3	▲	▼
			Mínima	46,4	▼	▼
SF	Prt.Andorinhas	Martinho Campos	Média	221,3	▼	▼
	63 anos		Máxima	920,1	▼	▼
			Mínima	53,6	▼	▲
SF	Barra Funchal	São Gotardo	Média	18,4	▼	▼
	78 anos		Máxima	215,3	▲	▲
			Mínima	2,4	▼	▼

R.L. (Regressão Linear) T.S. (Teste do Sinal) ▼ Redução ▲ Aumento — Estabilidade

## 5.2 Bacia do Rio Jequitinhonha

Para a Bacia do rio Jequitinhonha foram selecionados os postos relacionados no quadro 3.

**Quadro 3.** Postos fluviométricos selecionados na bacia do rio Jequitinhonha, MG.

Município	Posto	Código	Alt. (m)	Latitude	Longitude
Berilo	Porto Mandacaru	54150000	273	-16.678	-42.485
Cel. Murta	Barra do Salinas	54195000	350	-16.617	-42.309
Carbonita	Carbonita	54230000	625	-17.579	-42.995
Itaobim	Itaobim	54580000	238	-16.569	-41.503
Jacinto	Jacinto	54780000	160	-16.135	-40.306
Itapebi (BA)	Itapebi (BA)	54950000	100	-16.014	-39.425

Para a bacia do Rio Jequitinhonha, os resultados indicaram tendência de redução em 100% dos postos pesquisados (6), em todos os índices de vazões médias, máximas e mínimas, exceto um resultado do teste do sinal, que apresentou leve aumento em uma das vazões máximas.

**Quadro 4.** Dados médios e tendências fluviométricas dos postos selecionados na bacia do rio Jequitinhonha, de acordo com os resultados da aplicação do cálculo de regressão linear e teste do sinal.

Bacia	Posto/ Período	Município	Vazão	(Médias do período) m³/s	R.L.	T.S.
JEQ	Prt. Mandacaru	Berilo	Média	148,4	▼	▼
	75 anos		Máxima	1399,2	▼	▼
			Mínima	27,7	▼	▼
JEQ	Barra do Salinas	Cel. Murta	Média	148,6	▼	▼
	48 anos		Máxima	1248,6	▼	▼
			Mínima	32,9	▲	▲
JEQ	Carbonita	Carbonita	Média	26,5	▼	▼
	53 anos		Máxima	305,4	▼	▼
			Mínima	6,6	▼	▼
JEQ	Itaobim	Itaobim	Média	277,7	▼	▼
	90 anos		Máxima	3083,6	▼	▼
			Mínima	64,0	▼	▼
JEQ	Jacinto	Jacinto	Média	332,4	▼	▼
	79 anos		Máxima	2668,4	▼	▼
			Mínima	74,2	▼	▼
JEQ	Itapebi	Itapebi (BA)	Média	385,1	▼	▼
	78 anos		Máxima	3509,5	▼	▼
			Mínima	80,7	▼	▼

### 5.3 Bacia do Rio Doce

Para o Rio Doce, os nove postos selecionados estão relacionados no quadro 5. Oito deles estão no estado de Minas Gerais e um no estado do Espírito Santo.

**Quadro 5.** Postos fluviométricos selecionados na bacia do rio Doce, MG e ES.

Município	Posto	Código	Alt. (m)	Latitude	Longitude
Brás Pires	Brás Pires	56055000	632	-20.847	-43.241
Sen. Firmino	Senador Firmino	56065000	729	-20.911	-43.097
Seriquite	Seriquite	56085000	621	-20.723	-42.922
Porto Firme	Fazenda Varginha	56090000	345	-20.714	-42.999
Mariana	Fazenda Paraíso	56240000	473	-20.376	-43.191
Córrego Novo	Cach. dos Óculos	56539000	210	-19.776	-42.476
Gov. Valadares	Gov. Valadares	56850000	150	-18.883	-41.950
Galiléia	Tumiritinga	56920000	135	-18.971	-41.641
Colatina (ES)	Colatina	56994500	62	-19.533	-40.629

Verificando os resultados da bacia do Rio Doce notou-se que 100% dos postos pesquisados (9) apresentaram tendência de redução dos índices de vazões médias e mínimas, mas quase todos os postos restantes apresentaram tendência de aumento das vazões máximas, o que pode indicar alterações na curva de permanência do volume hídrico escoado.

**Quadro 6.** Dados médios dos postos selecionados na bacia do rio Doce e suas tendências fluviométricas, de acordo com os resultados da aplicação do cálculo de regressão linear e teste do sinal.

Bacia	Posto/ Período	Município	Vazão	(Médias do período) m³/s	R.L.	T.S.
DOCE	Brás Pires	Brás Pires	Média	19,9	▼	▲
	84 anos		Máxima	136,1	▲	▲
			Mínima	7,6	▼	▼
DOCE	Sen. Firmino	Senador Firmino	Média	5,2	▼	▼
	81 anos		Máxima	31,9	▼	▼
			Mínima	2,1	▼	▼
DOCE	Seriquite	Seriquite	Média	4,2	▼	▼
	77 anos		Máxima	43,8	▲	▲
			Mínima	1,8	▼	▼
DOCE	Faz. Varginha	Porto Firme	Média	4,0	▼	▼
	81 anos		Máxima	19,9	—	▼
			Mínima	1,9	▼	▼
DOCE	Faz. Paraíso	Mariana	Média	19,0	▼	▼
	89 anos		Máxima	157,7	▼	▼
			Mínima	7,8	▼	▼

DOCE	Cach. Óculos	Córrego Novo	Média	219,4	▼	▼
	48 anos		Máxima	1116,7	▲	▲
			Mínima	83,7	▼	▼
DOCE	Gov. Valadares	Gov. Valadares	Média	532,9	▼	▼
	53 anos		Máxima	2663,2	▲	▲
			Mínima	196,1	▼	▼
DOCE	Tumiritinga	Galileia	Média	656,3	▼	▼
	48 anos		Máxima	3171,0	—	—
			Mínima	257,0	▼	▼
DOCE	Colatina	Colatina	Média	894,1	▼	▼
	84 anos		Máxima	4391,5	▲	▲
			Mínima	335,6	▼	▼

#### 5.4 Bacia do Rio Grande

O quadro 7 apresenta a relação dos postos selecionados na bacia do Rio Grande.

Município	Posto	Código	Alt. (m)	Latitude	Longitude
Madre de Deus de Minas	Madre de Deus de Minas	61012000	875	-21.492	-44.326
Andrelândia	Andrelândia	61052000	951	-21.738	-44.305
Virgínia	Bairro Sta Cruz	61280000	1083	-22.370	-45.215
Itajubá	S. J. de Itajubá	61285000	845	-22.377	-45.477
Santa Rita do Sapucaí	Sta. Rita do Sapucaí	61305000	827	-22.250	-45.708

**Quadro 7.** Postos fluviométricos selecionados na bacia do rio Grande, MG.

Os resultados da bacia do Rio Grande, diferentemente das outras quatro, apresentaram tendência de aumento das vazões médias e máximas em quatro das cinco (5) estações estudadas, com algumas variações nas tendências das vazões mínimas. A única exceção entre os postos selecionados nesta bacia apresentou tendência de redução das vazões médias, máximas e mínimas.

**Quadro 8.** Dados médios dos postos selecionados na bacia do Rio Grande e suas tendências fluviométricas, de acordo com os resultados da aplicação do cálculo de regressão linear e teste do sinal.

Bacia	Posto/ Período	Município	Vazão	(Médias do período) m³/s	R.L.	T.S.
GD	Md. Deus Minas	Md. Deus Minas	Média	50,5	—	▲
	80 anos		Máxima	247,2	▲	▲
			Mínima	19,4	▼	—
GD	Andrelândia	Andrelândia	Média	5,4	▲	▲
	79 anos		Máxima	33,1	▲	▲

			Mínima	2,6	▲	▲
GD	B. Santa Cruz	Virgínia	Média	7,1	▼	▲
	47 anos		Máxima	50,4	▲	▲
			Mínima	3,1	▼	▼
GD	S. J. de Itajubá	Itajubá	Média	12,8	▲	▲
	79 anos		Máxima	78,9	▲	▲
			Mínima	4,9	▲	▲
GD	S. R. do Sapucaí	S. R. do Sapucaí	Média	57,0	▼	▼
	83 anos		Máxima	239,8	▼	▼
			Mínima	21,8	▼	▼

### 5.5 Bacia do Rio Paranaíba

Os postos selecionados na bacia do Rio Paranaíba estão relacionados no quadro 9.

**Quadro 9.** Postos fluviométricos selecionados na bacia do rio Paranaíba, MG

Município	Postos	Código	Alt. (m)	Latitude	Longitude
Patos de Minas	Santana de Passos	60010000	851	-18.841	-46.550
Patos de Minas	Patos de Minas	60011000	795	-18.601	-46.539
Ibiá	Fazenda São Mateus	60250000	852	-19.517	-46.571

Analisando os resultados da bacia do Rio Paranaíba verificou-se que 100% dos postos pesquisados (3) apresentaram tendência de redução das vazões médias, com alguns casos de estabilidade ou aumento nas vazões máximas e mínimas.

**Quadro 10.** Dados médios dos postos selecionados na bacia do rio Paranaíba e suas tendências fluviométricas, de acordo com os resultados da aplicação do cálculo de regressão linear e teste do sinal.

Bacia	Posto/ Período	Município	Vazão	(Médias do período) m³/s	R.L.	T.S.
PABA	Santana de Passos	Patos de Minas	Média	46,6	▼	▼
	76 anos		Máxima	263,1	▲	—
			Mínima	10,2	▼	▼
PABA	Patos de Minas	Patos de Minas	Média	60,6	▼	▼
	44 anos		Máxima	284,6	▼	▼
			Mínima	12,1	▼	▼
PABA	Faz. São Mateus	Ibiá	Média	29,0	▼	▼
	72 anos		Máxima	162,9	▲	▼
			Mínima	11,911	▲	▲

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a aplicação da regressão linear, os gráficos representando os dados de vazão de cada posto apresentaram uma equação e uma linha de tendência com a indicação de aumento, estabilidade ou redução. A aplicação do teste do sinal também apresentou, em gráficos de barras, resultados que indicaram qual a tendência das vazões, naquele ponto específico, daquele curso d'água. Nesta pesquisa, os resultados dos dois métodos aplicados foram comparados para se saber se o resultado da tendência apresentada na regressão linear se confirmava pelo teste do sinal, ou não, o que permitiu fazer análises prognósticas do comportamento hídrico das bacias estudadas com maior grau de precisão. No entanto, a compreensão sobre a problemática das tendências fluviométricas e suas alterações demanda outras pesquisas sobre os fatores biogeográficos, climáticos, fisiográficos e informações sobre o uso das terras, todos relacionados às alterações no comportamento hidrológico das bacias, com repercussões na disponibilidade hídrica. Conforme Ferreira (2012, p.317):

O desafio é prever valores futuros com base em valores passados, o que requer uma boa memória histórica de informações, embora um bom conjunto de dados não seja suficiente para uma previsão precisa de situações futuras. É importante a escolha adequada de metodologias de previsão de séries temporais, algumas muito simples e outras que envolvem procedimentos mais complexos.

Com as análises pretéritas das séries históricas e com os resultados dos métodos estatísticos aplicados na presente pesquisa, pode-se dizer que as tendências de redução das vazões em pontos dos principais rios do estado mineiro predominam, em quatro das cinco bacias estudadas. Em relação às análises das séries temporais de dados, outras metodologias podem ser utilizadas. De acordo com Ferreira (2012, p.317):

Existem diversas metodologias destinadas à previsão de séries temporais, dentre as quais as que recorrem a modelos de suavização exponencial, modelos auto-regressivos, regressão linear, médias móveis ou Modelos ARIMA (AutoRegressive Integrate Moving Average). Tecnologias de inteligência computacional tais como redes neurais, lógica nebulosa e algoritmos genéticos têm possibilitado a criação de metodologias avançadas de análise de tendências em séries temporais.

Por fim, a presente pesquisa organizou um banco de dados e oferece informações e análises do comportamento pretérito e análises prognósticas de possíveis cenários futuros das bacias hidrográficas do estado de Minas Gerais e

pretende auxiliar na busca de soluções para os mais diversos problemas relacionados às questões hidrológicas, oferecendo aporte teórico para projetos ambientais que visem a melhoria da gestão dos recursos hídricos dos municípios do estado, que, de acordo com esse e vários outros estudos, vêm sofrendo influência das mudanças do uso do solo, que alteram suas características naturais, em função dos desmatamentos, do avanço das monoculturas e pastagens, da compactação, urbanização e impermeabilização dos solos, especialmente em áreas de recarga hídrica, além de serem diretamente impactados, de maneira cada vez mais drástica, pelas mudanças climáticas e alterações nos regimes pluviométricos, reduzindo preocupantemente a disponibilidade hídrica em diversos cursos d'água.

**Agradecimentos:** O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio da concessão de bolsa de iniciação científica.

## 7. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br> acessado em: 12/06/2024.

FERREIRA, V. O. Análise de Tendências em Séries Pluviométricas: Algumas Possibilidades Metodológicas. Geonorte, Edição Especial 2, V.1, N.5, p.317 – 324, 2012.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). Disponível em: <http://www.igam.mg.gov.br/> acessado em 12/12/2023.

MAPA DA REDE HIDROMETEOROLÓGICA NACIONAL. Hidroweb v. 3.2.7 Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa> acessado em: 12/12/2023.

NÓBREGA, R. L. B.; ET AL. Efeitos da conversão da vegetação nativa de cerrado em pastagem nas propriedades hidrofísicas do solo, evapotranspiração e vazão na fronteira agrícola amazônica. PLoS ONE 2017, 12, e0179414.

PALIT, A. K.; POPOVIC, D. Computational Intelligence in Time Series Forecasting. 1. ed. Londres: Springer-Verlag, 2005. 372p.

PORTAL DOS COMITÊS. IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas). Disponível em: <https://comites.igam.mg.gov.br/comites-estaduais-mg> acessado em 12/12/2023.

SALMONA, Y. B. Um futuro preocupante para as vazões dos rios no Cerrado brasileiro provocado pelo uso da terra e pelas mudanças climáticas. In: *Jornal de acesso livre Sustainability*. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/5/4251> acessado em: 12/12/2023 Artigo publicado em fevereiro de 2023.

SILVEIRA, C. S.; FILHO, F. S.; MARTINS, E.S.P.R.; OLIVEIRA, J.L.; COSTA, A.C.; NOBREGA, M.T.; *et al.* Climate change in the São Francisco river basin: Analysis of precipitation and temperature. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 2, p. 416-428, 2016.

SPERA, S.A. ET AL. Mudança no uso do solo afeta reciclagem de água no último país fronteira agrícola. *Globo. Chang. Biol.* 2016, 22, 3405–3413.

TUCCI, Carlos E. M. Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre recursos hídricos. In: *Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas*. (ANA). Brasília. Maio/22.