

ESTUDO DE TENDÊNCIA DE VAZÕES DE RIOS DAS PRINCIPAIS BACIAS HIDROGRÁFICAS BRASILEIRAS

TREND STUDY OF THE STREAMFLOW IN THE MAIN RIVER BASINS IN BRAZIL

Flávia Almeida Lira 

Graduada em Engenharia Ambiental e Urbana pela Universidade Federal do ABC (UFABC) – Santo André (SP), Brasil.

Andréa de Oliveira Cardoso 

Doutora em Meteorologia pela Universidade de São Paulo (USP). Professora do Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas (CECS) da UFABC – Santo André (SP), Brasil.

Endereço para correspondência:

Andrea Cardoso – Avenida dos Estados, 5.001, CECS, Bloco A, Torre 1, Sala 608 – Santa Terezinha – CEP 09210-580 – Santo André (SP), Brasil – E-mail: flalira@gmail.com

Recebido em: 10/07/2017

Aceito em: 03/05/2018

RESUMO

A análise de tendências de vazões pode auxiliar no planejamento hídrico e na compreensão do comportamento hidrológico. Este estudo objetivou analisar tendências de vazões em bacias hidrográficas brasileiras, utilizando o método de Mann-Kendall. Avaliaram-se tendências trimestrais e anuais de 16 postos fluviométricos distribuídos nas principais bacias. Os resultados apontam tendências positivas nas vazões anuais de 75% dos postos da Região Sul do Brasil e na faixa sul do Sudeste; e tendências negativas anuais de 50% dos postos na faixa norte do Sudeste e no Nordeste e Norte do país. Resultados semelhantes foram observados nas vazões trimestrais. Observou-se ainda tendência de intensificação dos extremos, principalmente no Sul e no Nordeste, o que pode intensificar ou gerar conflitos no uso da água ou aumentar a ocorrência de cheias, inundações e estiagens. Variabilidades climáticas e ações antrópicas são fatores que podem ter contribuído para as tendências observadas.

Palavras-chave: Mann-Kendall; Sen; rios; variações.

ABSTRACT

The analysis of river flow trends can help in water planning and in understanding the hydrological behavior. This study aims to analyse flow trends in Brazilian river basins, using the Mann-Kendall method. 16 fluviometric stations, spread over the main Brazilian basins, were analysed. The results show that positive annual trends were observed in the flow of 75% of the fluviometric stations in the South of Brazil and in the South portion of the Southeast; and negative annual trends in 50% of the stations in the North portion of the Southeast, Northeast and North of the country. Similar results were detected at the quarterly flow rates. It was also observed a tendency to intensify the extremes, mainly in the South and Northeast of Brazil, which can generate or worsen conflicts in the use of water or increase the occurrence of floods or droughts. Climate variability and human actions are factors that may have contributed to the changes observed in the river flows.

Keywords: Mann-Kendall; Sen; river; variability.

INTRODUÇÃO

Devido às dimensões continentais do Brasil e às suas condições fisiográficas e climáticas, as chuvas e, conseqüentemente, a vazão dos rios são irregularmente distribuídas ao longo das regiões hidrográficas. Essa condição torna complexo o planejamento hídrico, visto que a população brasileira está distribuída desigualmente pelo território e o país desempenha diversas atividades socioeconômicas que demandam água. Um bom exemplo disso é que enquanto a Região Hidrográfica da Amazônia detém 73,7% dos recursos hídricos superficiais do país e concentra apenas 5,1% da população brasileira, a Região Hidrográfica do Paraná possui apenas 6,0% dos recursos hídricos superficiais, concentra 32% da população brasileira e é destaque nacional na retirada e no consumo de água (ANA, 2013).

Algumas regiões do Brasil apresentam variações no regime de precipitação, em termos do comportamento das estações chuvosa e seca, conforme mostrado no estudo de Rao *et al.* (2016), ao analisarem um período mais recente de precipitação (1979–2011). Sobre a Amazônia, a estação seca apresenta maior variação anual e há tendência de aumento na precipitação na faixa norte. Na faixa oeste do Nordeste há aumento da precipitação. No sudeste do Brasil verifica-se significativa diminuição das chuvas nas estações chuvosa e seca, que também foi observada na vazão de rios de São Paulo e Minas Gerais.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997) institui que a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas, no entanto a distribuição não uniforme de água nas regiões hidrográficas brasileiras e a concentração da população em áreas urbanas geram demanda excessiva por água que supera a disponibilidade. Essa necessidade acarreta problemas de escassez, tornando necessária a busca por mananciais superficiais, cada vez mais distantes, como também a exploração de mananciais subterrâneos, para suprir a demanda básica.

Somado a essa condição já preocupante, Marengo, Tomasella e Nobre (2010) apontam que não há um quadro claro sobre os possíveis impactos da mudança do clima na distribuição espacial e temporal dos recursos hídricos no continente sul-americano. No entanto, destacam que há evidências científicas que apontam para

o sério risco das mudanças climáticas nos recursos hídricos do Brasil, que, acompanhadas de crescente população, urbanização, industrialização e mudanças no uso da terra, podem gerar conseqüências significativas nas atividades relativas ao uso da água.

A vazão de cursos d'água é uma das principais variáveis para avaliar a disponibilidade hídrica e, atualmente, tem sido intensamente estudada, visto que pequenas flutuações geram significativos impactos sociais e econômicos (COSTA; ALVES, 2011). Nas últimas décadas, mudanças no clima e no uso e na ocupação do solo em bacias hidrográficas têm provocado impactos significativos sobre o escoamento, gerando efeito no comportamento das enchentes, nas vazões mínimas e médias (TUCCI, 2002).

O relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) alerta que é provável (probabilidade de 60 a 100%) que a frequência e a intensidade de grandes eventos de precipitação tenham aumentado na América do Norte e na Europa. O estudo mostra ainda que a falta de dados de longo prazo dificulta a associação de mudanças climáticas causadas pelo homem com a magnitude de enchentes, no entanto a detecção recente de tendências crescentes em precipitações extremas e vazões em algumas bacias hidrográficas implica maiores riscos de inundações em escala regional (IPCC, 2014).

Segundo Joseph, Falcon e Sharif (2013), a identificação de tendências anuais e sazonais na vazão dos cursos d'água regionais contribui para o entendimento das mudanças climáticas e é essencial para o desenvolvimento de modelos hidrológicos, a previsão hidrológica e o planejamento dos recursos hídricos. No Brasil, o estudo sobre variáveis hidrológicas tem importância estratégica na geração de energia, visto que dos 160,5 GW de capacidade instalada de geração de energia elétrica, 98,7 GW provêm de energia hidráulica (ANEEL, 2017). A predominância da hidroeletricidade no Brasil revela que a matriz energética depende do padrão de chuvas e da gestão de reservatórios de água, de forma que a existência de períodos secos pode comprometer a habilidade do setor em atender à demanda por eletricidade, tal como ocorreu em 2001 com o racionamento de energia (SILVA; MARCHI NETO; SEIFERT, 2016).

Em condições de disponibilidade hídrica favorável é estratégico utilizar a fonte hidráulica, por possuir o menor custo de geração de energia, dentre as opções renováveis (SILVA; MARCHI NETO; SEIFERT, 2016). No entanto, o Brasil prevê um aumento de 3,7% no consumo de energia por ano até 2026 (BRASIL, 2017), que, associado à vulnerabilidade do setor a variáveis climáticas, pode indicar a necessidade de uma maior diversificação da matriz de energia.

Queiroz *et al.* (2016) realizaram um estudo analisando o possível impacto das mudanças climáticas no fornecimento de energia elétrica no Brasil e concluíram que, nas novas usinas hidrelétricas planejadas, o efeito das mudanças climáticas fará com que a geração total de energia seja cerca de 28% menor do que o planejado. Esse resultado indica impactos nos projetos de futuras hidrelétricas e, conseqüentemente seu retorno financeiro, além de alertar para possíveis impactos no abastecimento de energia em uma matriz em que grande parte da produção é proveniente de hidrelétricas.

Diversos estudos observacionais de tendência em vazão de cursos d'água têm sido realizados em todo o território brasileiro. Groppo *et al.* (2001) analisaram a série histórica de vazão e precipitação na Bacia do Rio Piracicaba, dos anos de 1947 a 1996, e observaram que, apesar de terem sido detectadas tendências positivas na maioria dos postos de precipitação analisados, foram verificadas diminuições significativas na vazão dos principais rios formadores do Rio Piracicaba (Atibaia e Jaguari). Os autores atribuem a tendência negativa na vazão à retirada de água da bacia para o abastecimento da Grande São Paulo.

Marengo e Alves (2005) realizaram um estudo apurado em séries de vazões e precipitação na Bacia do Rio Paraíba do Sul, dos anos de 1930 a 2000, e observaram tendências decrescentes de vazão em quase todos os postos fluviométricos estudados, com exceção de um que não apresentou tendência significativa. As tendências observadas não parecem estar associadas com as variações de chuva na bacia. Os autores concluíram que as tendências negativas podem indicar impacto humano na forma de gerenciamento dos recursos hídricos, geração de energia, esgotos lançados, irrigação e crescimento populacional.

Costa e Alves (2011) desenvolveram um estudo abrangendo os postos do Operador Nacional do Sistema Elé-

trico (ONS) para analisar tendências anuais em séries históricas de vazões, dos anos de 1931 a 2008. Os resultados indicaram tendências positivas nos postos das Regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, e negativa na Região Nordeste. Os autores concluem que algumas das causas nas tendências observadas podem ser devidas aos índices climáticos El Niño Oscilação Sul (ENOS) e oscilação decadal do Pacífico (ODP), bem como alterações no uso e na ocupação do solo.

Santana, Silva e Santos (2011) analisaram a tendência em séries de vazões na Bacia do Alto do Rio Grande, de 1931 a 2002, e observaram que 12,7% dos postos apresentaram tendência positiva nas vazões médias anuais e tendência negativa na Bacia do Rio das Mortes, entre os municípios de Barbacena e Antônio Carlos. Os autores acreditam que parte das tendências pode estar associada a mudanças no regime de chuvas, porém mais estudos detalhados são necessários para determinar em qual proporção.

Na Região Nordeste, Penereiro e Orlando (2013) estudaram tendências em séries temporais anuais de dados climáticos e hidrológicos, dos anos de 1971 a 2012, na Bacia do Rio Parnaíba e concluíram que apenas 3 dos 18 postos analisados apresentaram tendências negativas de vazão, o que indica que não há evidências de alterações no regime de vazão da bacia, salvo em casos pontuais.

Uliana *et al.* (2015) estudaram a significância de tendências em séries temporais de vazões e precipitação mensal e anual, dos anos de 1939 a 2005, de duas estações localizadas no município de Alegre, no Estado do Espírito Santo, no qual observou-se tendência positiva no mês de outubro a partir de 1963. Os autores acreditam que o aumento na vazão no mês de outubro pode ser consequência da mudança do regime de chuvas de agosto e setembro, porém alertam para a necessidade de mais estudos que levem em consideração a influência de fatores climáticos e antrópicos na vazão da região.

O teste de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975) é um dos mais usados na avaliação de tendências em séries históricas naturais que se distanciam da distribuição normal e podem estar contaminadas com valores discrepantes, como é o caso de variáveis hidrológicas (HAMED, 2008). O propósito do teste é avaliar estatisticamente se há uma tendência monotônica,

ascendente ou descendente, dos dados de vazão em relação ao tempo. Uma tendência ascendente (descendente) indica que a vazão dos rios estudados aumenta (diminui) consistentemente em relação ao tempo (GILBERT, 1987).

Muitos estudos utilizaram o teste de Mann-Kendall para a detecção de tendências em séries hidrológicas, conforme os já citados de Groppo *et al.* (2005), Marengo e Alves (2005), Penereiro e Orlando (2013). Além disso, Marengo (1995) estudou tendências em variáveis hidrológicas, a partir de dados de diversos rios no Peru, no Brasil, na Argentina e na Venezuela, utilizando o teste de Mann-Kendall. Também utilizaram o método: Burn e Hag Elnur (2002), para detectar tendências em variáveis hidrológicas em uma rede de 248 rios no Canadá; Birsan *et al.* (2005), ao estudar a vazão em 48 bacias hidrográficas na Suíça; Hamed (2008), ao estudar dados anuais de vazão de 57 estações espalhadas pelo planeta; Lettenmaier, Wood e Wallis (1994), na porção continental dos Estados Unidos; Kahya e Kalayci (2004), na Turquia; Xu, Takeuchi e Ishidaira (2003), no Japão; Wang e Vrijling (2005), em rios no oeste da Europa; Wang, Ding e Jhun (2006), em Seul, na Coreia do Sul; Dixon, Lawler e Shamseldin (2006), no oeste da Grã-Bretanha; Zhang *et al.* (2006), Zheng *et al.* (2007) e Mu *et al.* (2007), nas bacias dos Rios Yellow e Yangtzé, bem como no Platô de Loess, na China; entre outros.

Além de identificar a tendência de uma série temporal, é desejável estimar a sua magnitude. Uma forma de expressar essa magnitude é por meio da inclina-

ção da reta de tendência (HIRSCH; SLACK; SMITH, 1982). Outra forma de determinar a declividade é utilizando o método não paramétrico desenvolvido por Sen (1968).

Muitos estudos utilizam o teste de Mann-Kendall associado ao método de estimativa de Sen para a detecção de tendências e estimativa da inclinação, conforme os já citados realizados por Lettenmaier, Wood e Wallis (1994), Kahya e Kalayci (2004), Costa e Alves (2011); e também Zhai *et al.* (2005), na detecção de tendências nas séries de precipitação de 740 estações chinesas; Novotny e Stefan (2007), na análise de variáveis hidrológicas nos cinco principais rios de Minnesota nos Estados Unidos; Gemmer *et al.* (2008), na detecção de tendências nas séries de precipitação na Bacia do Rio Yangtzé, na China; e Gocic e Trajkovic (2013), na análise de sete variáveis meteorológicas na Sérvia.

Dados os indicativos das tendências de vazão sobre as bacias brasileiras, é importante conduzir estudos aprofundados com séries atualizadas, que avaliem o comportamento anual e sazonal, bem como as variações de extremos, o que pode contribuir para a compreensão das tendências observadas e para a relação com fatores climáticos. Nesse contexto, o objetivo desta pesquisa foi realizar uma análise de tendência nas séries de vazões de rios, em escala anual e sazonal, avaliando também a variação de extremos ao longo do tempo, visando a compreender as características de vazão em locais estratégicos, para geração de energia hidráulica, das principais bacias hidrográficas nacionais.

METODOLOGIA

O presente estudo foi realizado com base em séries históricas mensais de vazão obtidas no portal do ONS. Foram selecionados 84 anos de dados (1931 a 2014) de 16 postos fluviométricos, distribuídos em bacias hidrográficas brasileiras estratégicas para o aproveitamento energético. No Quadro 1, observam-se os postos fluviométricos selecionados, bem como as regiões e bacias hidrográficas em que se encontram.

Para o desenvolvimento desta pesquisa, calcularam-se as médias trimestrais e anuais, sendo considerado que dezembro, janeiro e fevereiro (DJF) correspondem ao

verão; março, abril e maio (MAM), ao outono; junho, julho e agosto (JJA), ao inverno; e setembro, outubro e novembro (SON), à primavera.

Foram utilizados três métodos para avaliar as características de vazão dos rios selecionados:

- Detecção de tendências através do método estatístico de Mann-Kendall;
- Estimativa da magnitude da tendência pelo método de Sen;
- Estudo da variação de limiares de vazão extrema.

Detecção de tendências de Mann-Kendall

Mann (1945) apresentou um teste não paramétrico que testa a aleatoriedade dos dados ao longo do tempo e que constitui uma aplicação particular do teste de Kendall para correlação (KENDALL, 1975). O propósito do teste de detecção de tendência de Mann-Kendall é avaliar se há tendência monotônica ascendente ou descendente. Para isso, testa-se a hipótese nula (H_0) de que os dados vêm de uma população na qual as variáveis aleatórias são independentes e identicamente distribuídas. A hipótese alternativa (H_a) é que os dados seguem uma tendência monotônica no tempo.

Considerando uma série histórica $X=x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, o teste estatístico é dado pela Equação 1:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \tag{1}$$

Em que:

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} 1 & \text{se } x_j - x_k > 0 \\ 0 & \text{se } x_j - x_k = 0 \\ -1 & \text{se } x_j - x_k < 0 \end{cases}$$

Sendo que x_j e x_k são observações obtidas nos tempos j e k .

Kendall (1975) mostrou que S tende à normalidade e definiu a média ($E[S]$) e a variância de S

($VAR[S]$), para a situação na qual pode haver empates (observações iguais), como na Equação 2:

$$E[S] = 0$$

$$VAR[S] = \frac{1}{18} n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5) \tag{2}$$

g : número de grupos empatados (com valores iguais);
 t_p : número de observações no p -ésimo grupo.

Portanto, a estatística S é a contagem do número de vezes que X_j ultrapassou X_k , para $j > k$, mais que X_k ultrapassou X_j . Uma estatística relacionada a S é o τ (Kendall's tau), que pode ser definido na Equação 3:

$$\tau = \frac{S}{D} \tag{3}$$

Quadro 1 – Bacias e postos fluviométricos estudados, pertencentes à Região Hidrográfica destacada.

Região Hidrográfica	Bacia	Posto fluviométrico
Atlântico Sul	Rio Jacuí	Ernestina
Uruguai	Rio Uruguai	Barra Grande
Paraná	Rio Iguaçu	G. B. Munhoz
	Rio Paraná	Porto Primavera
	Rio Paranapanema	Jurumirim
	Rio Tietê	Barra Bonita
	Rio Grande	Camargos
	Rio Doce	Salto Grande
	Rio Paranaíba	Emborcação
Atlântico Sudeste	Rio Paraíba do Sul	Paraibuna
São Francisco	Rio São Francisco	Três Marias
		Xingó
		Sobradinho
Tocantins/Araguaia	Rio Tocantins	Serra da Mesa
		Tucuruí
Parnaíba	Rio Parnaíba	Boa Esperança

Em que:

$$D = \left[\frac{1}{2} \left(n(n-1) - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{n-1} p t_j (t_j - 1) \right) \right]^{\frac{1}{2}} \left[\frac{1}{2} n(n-1) \right]^{\frac{1}{2}}$$

Assim como S , se τ for positivo (negativo), indica que há tendência ascendente (descendente).

A probabilidade (p -valor) de x se encontrar entre dois pontos Z_i e Z_r em uma distribuição normal pode ser calculada pela Equação 4:

$$P(Z_i < x < Z_r) = \int_{z_i}^{z_r} \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (4)$$

Método de estimativa da inclinação de Sen

Em 1968, Sen desenvolveu um método não paramétrico para estimar a inclinação da reta de tendência, baseado na correlação de Kendall. O método de Sen é uma extensão do método de Theil (1950 *apud* GILBERT, 1987), não é muito afetado por erros grosseiros ou por observações atípicas (*outliers*) e pode ser calculado com dados faltantes. Sendo um modelo linear $f(t)$ descrito pela Equação 5:

$$f(t) = Qt + B \quad (5)$$

Em que:

Q = inclinação;

B = constante.

Calculam-se as inclinações para cada par de dados (Q_i) (SEN, 1968) (Equação 6):

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad (6)$$

Variação dos limiares de vazão extrema

Foram também investigadas variações nos limiares de vazões relacionadas a vazões muito baixas e muito altas da série.

Sendo X uma variável aleatória de vazão, com uma função de distribuição $F(X)$ definida pela Equação 9:

$$F(X) = P[X > x] \quad (9)$$

Em que:

μ = média;

σ = desvio padrão;

Z_i = valor da variável normal padrão à esquerda;

Z_r = valor da variável normal padrão à direita.

Ao calcular o valor p , estamos testando a probabilidade de a hipótese nula (H_0) ser verdadeira. O nível de significância escolhido neste trabalho foi de $\alpha = 0,05$, isto é, para que a hipótese nula (H_0) seja rejeitada, o valor p deve ser menor ou igual a α . Isso significa que, para um valor p menor ou igual a 0,05, pode-se afirmar com 95% de confiança que há tendência.

Em que:

i = par de dados, $i = 1, 2, \dots, n$;

x_j e x_k = medições obtidas nos tempos j e k , sendo $j > k$.

Se há n dados x_j na série temporal, então o número de estimativas de inclinação (N) será (Equação 7):

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad (3.12) \quad (7)$$

A inclinação (Q), segundo o método de Sen, pode ser estimada como a mediana dos N valores de Q_i . Os valores de Q_i são ordenados em ordem crescente e a inclinação de Sen é dada pela Equação 8 (DRÁPELA; DRÁPELOVÁ, 2011):

$$Q = \begin{cases} \frac{Q_{N+1}}{2} & \text{se } N \text{ for ímpar} \\ \frac{1}{2} \left(\frac{Q_N}{2} + \frac{Q_{N+2}}{2} \right) & \text{se } N \text{ for par} \end{cases} \quad (8)$$

Adaptando as definições de Pinkayan (1966) para vazões, uma vazão é considerada:

- Muito baixa se $X \leq 0,15$;
- Baixa se $0,15 < X \leq 0,35$

- Normal se $0,35 < X \leq 0,65$;
- Alta se $0,65 < X \leq 0,85$;
- Muito alta se $0,85 < X$.

Neste trabalho, analisaram-se os limiares de vazões extremas muito baixas e muito altas. Para a realização desta análise, o conjunto foi dividido em três períodos: 1931–1954, 1955–1984 e 1985–2014, para efeito de comparação entre os períodos observados.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Utilizando-se os métodos de Mann-Kendall e Sen, foram obtidos os resultados da análise de tendência para as estações estudadas (Tabela 1). As tendências significativas positivas foram destacadas na Tabela 1, com a cor azul escura, enquanto as tendências negativas foram destacadas com a cor azul-claro. A magnitude das tendências (Q), obtidas pelo método de Sen, também pode ser observada na Tabela 1 e representa o acréscimo ou o decréscimo do valor de vazão durante todo o período estudado em m^3/s .

Na Tabela 2 observam-se os resultados obtidos na análise de variação dos limiares de vazões extremas nos três períodos analisados (1931–1954, 1955–1984 e 1985–2014). O sinal positivo (+) representa aumento das vazões ao longo dos três períodos estudados, enquanto o sinal negativo (-) configura diminuição e o zero (0) simboliza nenhum aumento ou diminuição sistemática. Os sinais destacados com a cor azul-escuro (claro) foram aqueles que concordaram com as tendências ascendentes (descendentes) de Mann-Kendall observadas nas vazões médias.

Os postos de medição Barra Grande (Rio Uruguai), Ernestina (Rio Jacuí) e G. B. Munhoz (Rio Iguçu), localizados na Região Sul do país, apresentaram tendências positivas nas médias anuais e no inverno. Observou-se também aumento das vazões muito altas para os três postos no verão e na primavera, sendo que Barra Grande e Ernestina também apresentaram aumento das vazões muito baixas. Já no outono apenas G. B. Munhoz apresentou aumento das vazões muito altas e muito baixas.

Costa e Alves (2011) encontraram o resultado semelhante em seu trabalho de análise de tendências nas estações da ONS, para as vazões anuais médias da Região Sul do país. Guetter e Prates (2002), que estudaram a presença de degraus climáticos nas séries de vazões médias de algumas bacias brasileiras, observaram que em algumas bacias do Sul do país houve

crescimento significativo entre as vazões dos períodos de 1941–1971 e de 1972–2000. Para a estação G. B. Munhoz, Guetter e Prates (2002) encontraram taxa de variação de +23%, em escala anual, comparando as vazões dos dois períodos.

Na Região Sudeste do Brasil, encontram-se as estações Jurumirim (Rio Paranapanema), Barra Bonita (Rio Tietê), Paraibuna (Rio Paraíba do Sul), Camargos (Rio Grande), Salto Grande (Rio Doce) e Três Marias (Rio São Francisco). Entre o Sudeste e o Centro-Oeste, encontram-se Porto Primavera (Rio Paraná) e Emborcação (Rio Paranaíba). Ao sul da Região Sudeste, Porto Primavera e Jurumirim apresentaram tendências positivas nas vazões médias anuais e em todas as estações do ano (Tabela 1). Além disso, ambas apresentaram aumento das vazões muito baixas no verão, no inverno e na primavera, e aumento das vazões muito altas no inverno, conforme se pode observar na Tabela 2. Na Figura 1 encontram-se as análises de Mann-Kendall e Sen para Porto Primavera, que destaca as tendências positivas observadas em todas as estações.

Costa e Alves (2011) observaram tendências de mesmo sinal no Sudeste e Centro-Oeste do país para as vazões anuais. Guetter e Prates (2002) observaram aumento das vazões do período de 1941–1971, quando comparado a 1972–2000 para os Rios Paranapanema e Paraná nas médias anuais e trimestrais, nos dois postos que estudaram para cada um dos rios. Groppo *et al.* (2005) também encontraram tendências positivas nas vazões médias do Rio Paranapanema.

Os aumentos nas vazões médias do Sul e parte sul do Sudeste podem ter como principal causa dois fatores: o desmatamento e as variabilidades climáticas. Tucci e Clarke (1997) estudaram o impacto do uso do solo nas vazões médias de diversas bacias e constataram que a literatura apresenta vários artigos de bacias experimentais demonstrando que o desmatamento para culturas anuais, processo comum no Brasil, produz aumento do

escoamento médio. Destacam, ainda, que essa alteração pode ser importante dependendo da cobertura anterior, das condições climáticas e do solo. Tucci e Clarke (1997) salientam que os resultados do desmatamento ainda são inconclusivos para grandes e médias bacias hidrográficas, porém, nas pequenas bacias, o aumento do escoamento é resultado da redução da evapotranspiração. À medida que escoar para jusante, o fluxo adicional é retido, criando oportunidade para evaporação, e o efeito do aumento do escoamento é reduzido. No entanto, se o sistema de drenagem comporta o aumento do escoamento, a tendência é o escoamento também aumentar nas bacias maiores.

A Região Hidrográfica do Uruguai encontra-se intensamente desmatada, com apenas alguns fragmentos de vegetação original. A Bacia do Rio Uruguai apresentou significativas mudanças no uso do solo depois dos anos 1950 e mais recentemente depois dos anos 1970, com o aumento das culturas de soja. O mesmo ocorreu no norte do Estado do Paraná, onde houve forte incre-

mento de culturas anuais como a soja, milho e trigo (ANA, 2015; TUCCI, 2002). Portanto, é possível que parte do aumento nas vazões médias seja decorrente do intenso desmatamento nas regiões.

No entanto, Tucci (2002) destacou que a anomalia da diferença de pressão entre Tahiti e Darwin no Oceano Pacífico, com valores negativos ou com tendência decrescente, desde parte da década de 1970 até 2001, coincidiu com valores acima da média nas vazões observadas nos Rios Paraguai, Uruguai e Paraná. Valores negativos na anomalia de pressão do Pacífico indicam tendência de temperaturas do mar mais altas, de forma que há maior evaporação do mar e maior umidade na atmosfera, potencializando elevada quantidade de precipitação. Costa e Alves (2011) citam também que, após a metade da década de 1970, os períodos de El Niño passaram a ser mais intensos que os períodos de La Niña e explicam que houve mudança de fase na ODP, que passou a ser positiva.

Tabela 1 – Resultados obtidos das análises de Mann-Kendall e Sen para as 16 estações fluviométricas.

Região hidrográfica	Bacia	Posto fluviométrico	Anual			DJF			MAM			JJA			SON		
			Tau (τ)	Valor p	Q (m^3/s)	Tau (τ)	Valor p	Q (m^3/s)	Tau (τ)	Valor p	Q (m^3/s)	Tau (τ)	Valor p	Q (m^3/s)	Tau (τ)	Valor p	Q (m^3/s)
Atlântico Sul	Rio Jacuí	Ernestina	0,279	0,000	19,4	0,205	0,006	11,4	0,097	0,198	-	0,196	0,009	19,3	0,251	0,001	27,1
Uruguai	Rio Uruguai	Barra Grande	0,238	0,001	121,6	0,211	0,005	99,6	0,109	0,144	-	0,161	0,031	131,4	0,156	0,036	115,5
Paraná	Rio Iguaçu	G.B. Munhoz	0,208	0,005	240,1	0,137	0,065	-	0,096	0,200	-	0,179	0,016	374,3	0,139	0,061	-
	Rio Paraná	Porto Primavera	0,298	0,000	2069,1	0,193	0,009	2542,1	0,185	0,013	1950,4	0,333	0,000	1623,4	0,269	0,000	1182,8
	Rio Paranapanema	Jurumirim	0,301	0,000	101,1	0,210	0,005	128,5	0,197	0,008	73,5	0,299	0,000	80,8	0,240	0,001	67,3
	Rio Tietê	Barra Bonita	0,187	0,012	114,3	0,131	0,079	-	0,059	0,428	-	0,226	0,002	81,9	0,203	0,006	89,6
	Rio Grande	Camargos	-0,105	0,159	-	-0,060	0,422	-	-0,114	0,126	-	-0,156	0,038	-10,5	-0,178	0,018	-19,9
	Rio Doce	Salto Grande	-0,190	0,011	-40,8	-0,125	0,094	-	-0,185	0,013	-49,7	-0,295	0,000	-36,9	-0,154	0,038	-27,7
	Rio Paranaíba	Emborcação	-0,064	0,389	-	-0,020	0,793	-	-0,114	0,124	-	-0,121	0,103	-	-0,108	0,147	-
Atlântico Sudeste	Rio Paraíba do Sul	Paraibuna	0,004	0,960	-	0,004	0,957	-	-0,073	0,328	-	0,014	0,853	-	0,026	0,728	-
São Francisco	Rio São Francisco	Três Marias	-0,051	0,492	-	-0,021	0,781	-	-0,033	0,660	-	-0,064	0,391	-	-0,153	0,039	-
		Xingó	-0,211	0,004	-711,3	-0,128	0,085	-	-0,175	0,019	-1287,0	-0,281	0,000	-495,1	-0,157	0,035	-292,7
		Sobradinho	-0,281	0,003	-726,0	-0,147	0,049	-921,4	-0,170	0,022	-1187,5	-0,306	0,000	-498,0	-0,200	0,007	-374,9
Tocantins/ Araguaia	Rio Tocantins	Serra da Mesa	-0,130	0,081	-	-0,086	0,250	-	-0,125	0,093	-	0,024	0,746	-	-0,199	0,008	-132,5
		Tucuruí	0,021	0,778	-	-0,053	0,475	-	0,101	0,176	-	-0,209	0,005	-1099,9	-0,132	0,076	-582,5
Parnaíba	Rio Parnaíba	Boa Esperança	-0,162	0,029	-58,9	-0,269	0,000	-172,4	-0,106	0,155	-	0,188	0,012	33,5	-0,193	0,010	-53,4

Os postos Emborcação e Paraibuna não apresentaram quaisquer tendências no período estudado, enquanto Barra Bonita apresentou tendências positivas nas médias anuais, no inverno e no outono. Tucci (2002) que estudou o aumento de vazão entre os períodos anteriores e posteriores a 1970, no Rio Tietê, observou aumento menor de vazão, quando comparado a outras sub-bacias do Rio Paraná.

O autor destaca que esse resultado era esperado, já que o desmatamento no Estado de São Paulo ocorreu muito antes da década de 1970 e, portanto, é de se esperar que as vazões analisadas reflitam apenas a variabilidade climática.

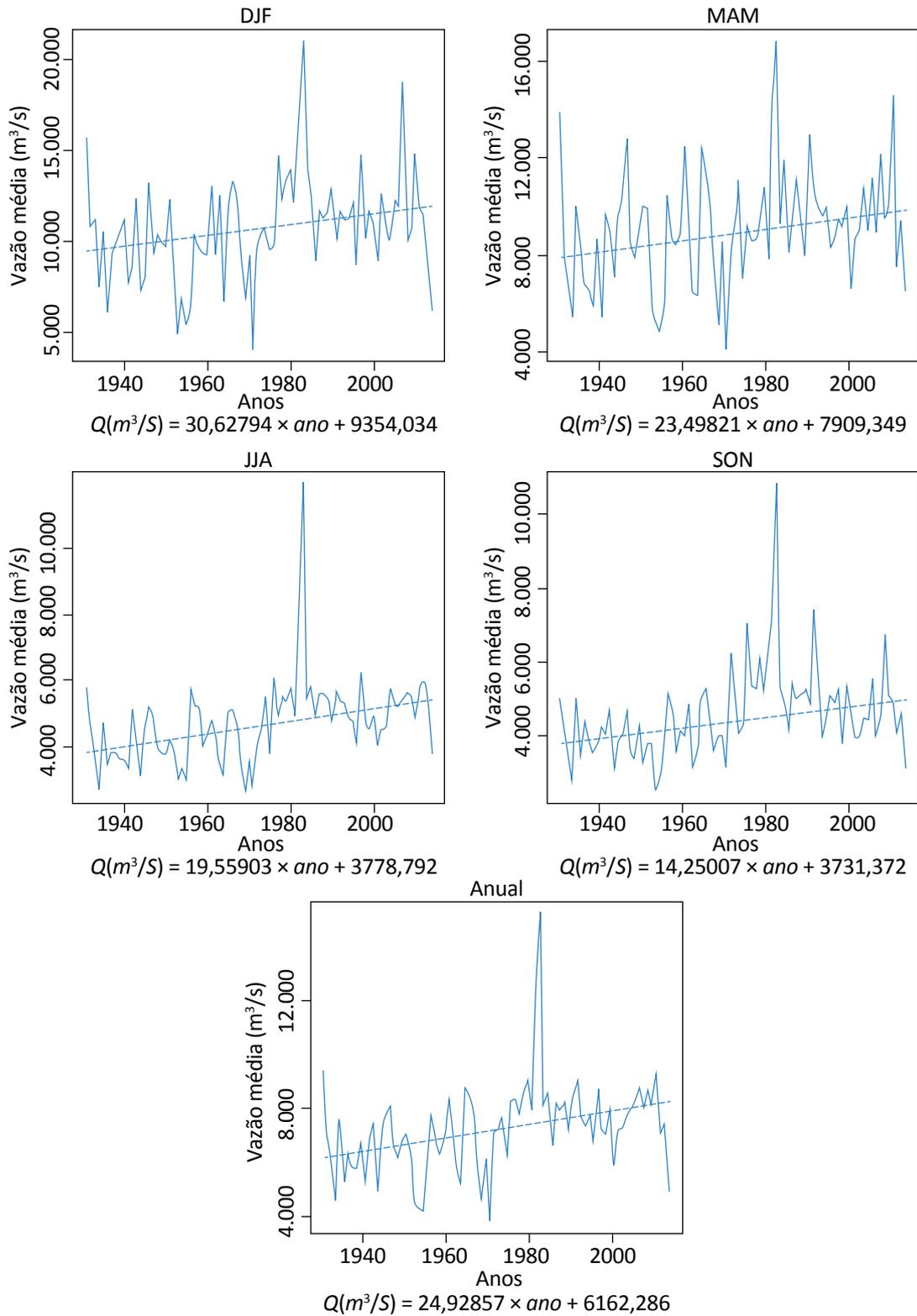
Marengo e Alves (2005) observaram, em seu estudo de vazão na Bacia do Rio Paraíba do Sul, que boa parte dos postos estudados apresenta tendência descendente significativa. No entanto, no próprio estudo de Marengo e Alves (2005), um dos postos fluviométricos não apresentou tendência significativa, conforme o que foi observado no posto de Paraibuna, no presente estudo. Isso significa que, apesar de a bacia como um todo apresentar tendências negativas, alguns postos fluviométricos podem

não apresentar tendência. Além disso, o estudo de Marengo e Alves (2005) considerou um registro de dados até o ano de 2000, o que pode gerar resultados diferentes dos observados neste estudo, que considera dados até 2014.

Ao norte da Região Sudeste, Salto Grande, Camargos e Três Marias apresentaram tendências negativas similares apenas na primavera. Essa diminuição de vazão não é observada nos limiares de vazões muito altas e muito baixas na primavera, visto que apenas Salto Grande apresenta diminuição nos limiares de vazões muito baixas e apenas Camargos apresenta diminuição nas vazões muito altas, ou seja, redução dos valores de vazão que podem amenizar as cheias. Salto Grande também apresenta tendências negativas nas vazões médias no outono e no inverno, sendo que no inverno também apresenta diminuição das vazões extremas, período sazonal em que a vazão já é mais baixa. Na Bacia dos Rios Tocantins, Serra da Mesa e Tucuruí apresentaram tendências negativas similares apenas na primavera. Ambos os postos também apresentam diminuição dos limiares de vazões muito altas, na mesma estação do ano. Tucuruí apresentou ainda vazões médias e extremas decrescentes no inverno.

Tabela 2 – Sinal de variação dos limiares de vazões extremas nos três períodos analisados (1931–1954, 1955–1984 e 1985–2014).

Região Hidrográfica	Bacia	Posto fluviométrico	DJF		MAM		JJA		SON	
			15%	85%	15%	85%	15%	85%	15%	85%
Atlântico Sul	Rio Jacuí	Ernestina	+	+	0	0	0	+	+	+
Uruguai	Rio Uruguai	Barra Grande	+	+	0	0	+	0	+	+
Paraná	Rio Iguaçu	G.B. Munhoz	0	+	+	+	+	+	0	+
	Rio Paraná	Porto Primavera	+	0	+	0	+	+	+	0
	Rio Paranapanema	Jurumirim	+	0	0	+	+	+	+	0
	Rio Tietê	Barra Bonita	0	0	0	0	+	+	+	0
	Rio Grande	Camargos	0	0	0	0	-	0	0	-
	Rio Doce	Salto Grande	-	0	0	-	-	-	-	0
	Rio Paranaíba	Emborcação	0	0	0	-	-	0	0	0
Atlântico Sudeste	Rio Paraíba do Sul	Paraibuna	0	0	0	0	0	0	0	0
São Francisco	Rio São Francisco	Três Marias	0	0	0	-	-	-	0	0
		Xingó	0	0	-	0	-	0	0	0
		Sobradinho	0	0	-	0	-	0	0	0
Tocantins/ Araguaia	Rio Tocantins	Serra da Mesa	0	-	-	-	0	0	-	-
		Tucuruí	0	-	0	0	-	-	0	-
Parnaíba	Rio Parnaíba	Boa Esperança	-	0	0	0	0	0	0	0



DJF: verão; MAM: outono; JJA: inverno; SON: primavera.

Figura 1 – Análise de tendências trimestrais e anual, segundo Mann-Kendall-Sen, para o posto fluviométrico de Porto Primavera (Rio Paraná).

Estudos de Lopes *et al.* (2016) indicaram tendência negativa no padrão principal de eventos secos de vazão sobre a Bacia Amazônica, sendo esse o primeiro modo de seca sazonal fortemente relacionado com o ENOS, apresentando correlações opostas entre as faixas norte e sul da Amazônia, e, em anos de El Niño, a faixa sul, que se estende até proximidades da estação de Tucuruí, apresenta-se mais seca, opostamente à faixa norte da bacia. Esse sinal de tendência negativa corrobora as tendências negativas encontradas no presente estudo.

No Nordeste, Xingó e Sobradinho, no Rio São Francisco, e Boa Esperança, no Rio Parnaíba, apresentaram tendências negativas similares nas vazões anuais e na primavera. Em Xingó e Sobradinho há ainda diminuição das vazões médias e das vazões muito baixas do outono e inverno. A mesma tendência decrescente nas vazões médias da primavera, observada em Xingó e Sobradinho, foi verificada em Três Marias, que se encontra mais ao sul, no Alto São Francisco. As tendências descendentes no posto Sobradinho podem ser observadas na Figura 2.

Costa e Alves (2011) também observaram pequena tendência de queda nas vazões médias anuais do Norte e do Nordeste do país. Marengo (2001) observou queda sistemática desde 1979 nas vazões do Rio São Francisco, para o posto Sobradinho. Segundo o autor, esse resultado não está associado a reduções de chuva na bacia coletora, mas sim ao uso de água na agricultura ou ao aproveitamento energético, entre outros. Em termos de variabilidade natural do clima, a ocorrência de episódios intensos de El Niño pode contribuir para a redução de chuvas na região em períodos cruciais para o aumento do escoamento superficial e recarga dos aquíferos.

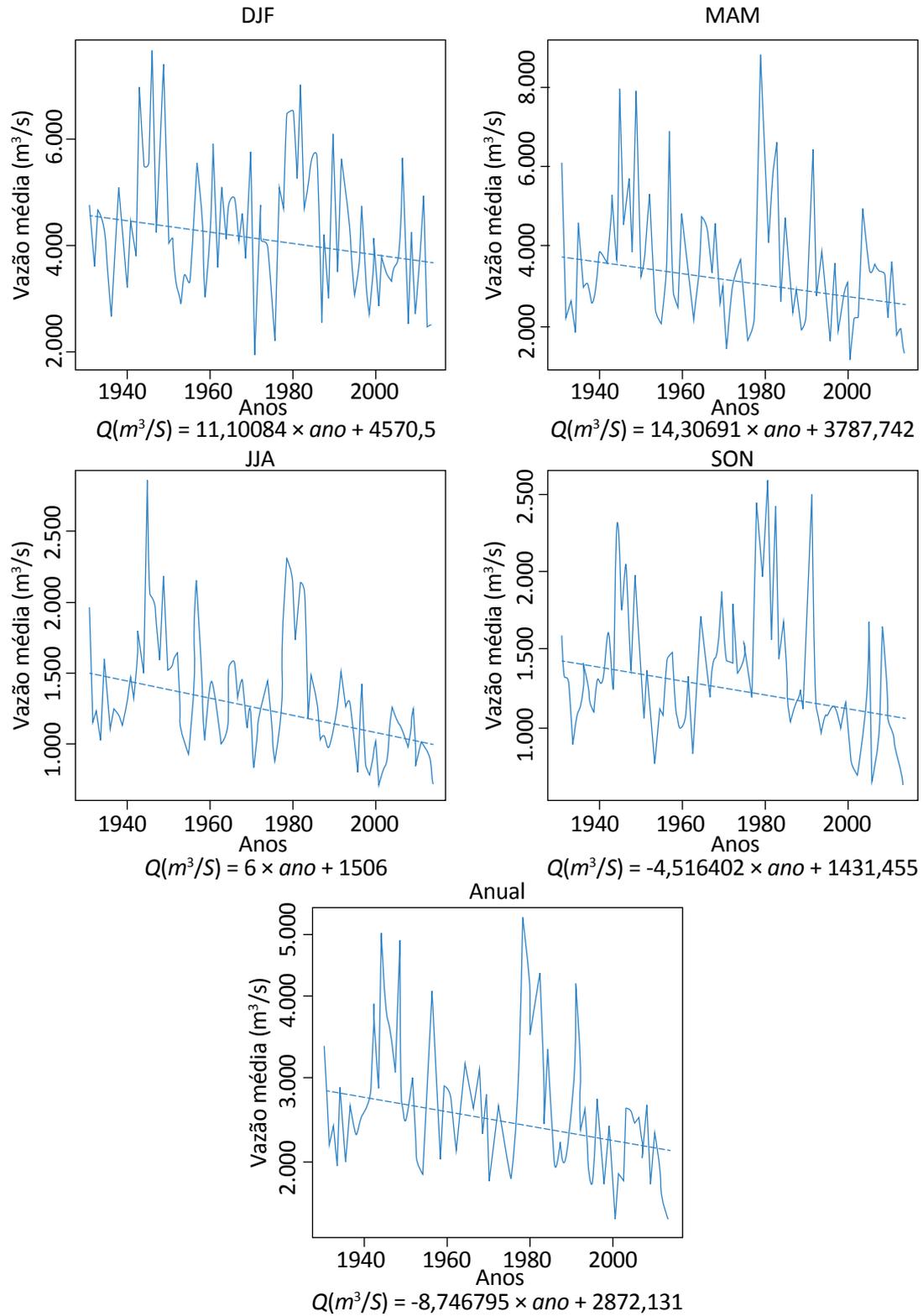
Marengo e Tomasella (1998) estudaram as vazões médias do Rio São Francisco nos três meses do ano com maior vazão e constataram que o posto de Juazeiro apresentou tendência decrescente significativa, no entanto os autores destacam que a usina hidrelétrica de Sobradinho iniciou suas operações em 1979, que foi aproximadamente o período em que as vazões em Juazeiro apresentaram uma redução gradual, quando comparada às vazões de Sobradinho. Silva e Molion (2003) destacaram, em seu trabalho sobre a Bacia do Rio São Francisco, que, embora o Lago de Sobradinho cumpra bem o seu papel de regularizador de vazão do rio, sua localização em uma região semiárida sob a influência dos ventos alísios de SE resulta em perda de água por evaporação, o que pode afetar as vazões a jusante do

reservatório. Os autores observaram na Estação Fluviométrica de Pão de Açúcar, a jusante de Sobradinho, redução de 15% nas vazões médias observadas, quando comparadas às vazões dos períodos de 1926–1973 e de 1980–1995. Marengo *et al.* (2011) citam que em alguns pontos do Nordeste as temperaturas médias do ar aumentaram em 0,5–0,6°C em 30 anos, e afirmam ainda que um provável aumento na evaporação como consequência do aumento da temperatura poderia é também uma das causas da queda das vazões nos rios.

Penereiro e Orlando (2013), que analisaram as séries temporais de dados climáticos e hidrológicos na Bacia do Rio Parnaíba, observaram que apenas 3 das 18 estações estudadas apresentaram tendências negativas significativas nas séries de vazões anuais. Segundo os autores, isso indica que não há evidências de alterações nos índices de vazões, salvo em casos pontuais. No geral, Marengo (2008) afirmou que não foram observadas tendências sistemáticas em longo prazo na Amazônia, no Pantanal e no Nordeste, sendo mais relevantes variações interanuais e interdecadais associadas à variabilidade natural do clima, na mesma escala temporal de variabilidade de fenômenos interdecadais dos Oceanos Pacífico e Atlântico Tropical.

Pode-se observar ainda que, apesar de alguns postos fluviométricos não apresentarem tendência nas vazões médias de algumas estações do ano, observa-se aumento ou diminuição dos limiares de vazões extremas, o que indica que os extremos estão se intensificando. Esse resultado é preocupante, pois pode resultar em intensificação das consequências associadas a esses eventos. As diminuições de vazões muito baixas podem gerar ou agravar conflitos de uso da água, em especial no Nordeste, que apresenta baixa disponibilidade hídrica, em períodos de estiagens. Por outro lado, o aumento das vazões muito altas pode gerar cheias e inundações, o que tem sido recorrente no Sul do Brasil, principalmente em anos de El Niño.

Outra consequência associada à tendência de diminuição de vazão no Norte e no Nordeste é a apontada por Queiroz *et al.* (2016) em seu estudo sobre os impactos das mudanças climáticas na geração de energia hidrelétrica. Os autores apontam que maior diminuição das chuvas na região norte tem impacto direto na energia assegurada do sistema interligado de energia brasileiro, visto que novos investimentos hidrelétricos planejados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) preveem novas usinas nessa região (aumento na contribuição nacional de 10 para 23% até 2030).



DJF: verão; MAM: outono; JJA: inverno; SON: primavera.

Figura 2 – Análise de tendências trimestrais e anual, segundo Mann-Kendall-Sen, para o posto fluviométrico de Sobradinho (Rio São Francisco).

CONCLUSÃO

Por meio da análise de tendência pelo método de Mann-Kendall foi possível obter informações importantes, que podem contribuir para o estudo do comportamento das vazões em longo prazo, nas principais bacias hidrográficas brasileiras. Este estudo acrescentou a estudos anteriores o período mais atualizado de dados disponíveis da ONS (1931–2014) e pôde confirmar alguns dos resultados já observados para os anos anteriores. Além disso, este trabalho apresentou uma análise de tendência para cada estação do ano, captando tendências que não são observadas nas vazões anuais, mas são verificadas em determinadas épocas do ano. A investigação para as categorias extremas de vazão reforçou os resultados médios, evidenciando também tendências nas faixas de vazões extremas.

Foram observadas tendências positivas significativas nas vazões anuais e nas estações do ano na Região Sul, com exceção do outono. Para o sul da Região Sudeste, também foram observadas tendências positivas significativas, com destaque para os postos de Porto Primavera e Jurumirim, que apresentaram tendência de aumento das vazões anuais e em todas as estações do ano. Esses resultados vão ao encontro do que já foi observado em outros estudos e podem ser decorrentes de variabilidades climáticas, tais como anomalias negativas da diferença de pressão entre Tahiti e Darwin no Pacífico e períodos mais frequentes de El Niño a partir da década de 1970, e de ações antrópicas de desmatamento e alteração do uso e cobertura do solo. Portanto, o presente estudo indica a persistência no aumento de vazões no Sul do Brasil e sul da Região Sudeste até anos recentes.

Os aumentos dos valores da vazão no Sul e em parte do Sudeste também são observados nas vazões extremas, nas quais há aumento nos limiares de vazões muito altas e muito baixas no verão, no inverno e na primavera. Esses resultados indicam que os aumentos observados

nas vazões dessas regiões não se restringem apenas às vazões médias, o que pode gerar consequências importantes nas regiões, tais como cheias e inundações.

A Região Norte, representada pelos postos de Serra da Mesa e Tucuruí no Rio Tocantins, apresentou tendências negativas apenas na primavera. Enquanto na Região Nordeste foram observadas tendências descendentes em, pelo menos, dois dos três postos estudados em todas as estações do ano e nas médias anuais, sendo que apenas as médias anuais e a primavera apresentaram tendências iguais nos três postos. Essas tendências negativas, em especial a jusante do posto de Sobradinho, no Rio São Francisco, também foram observadas por outros autores e foram atribuídas ao uso de água pela agricultura ou ao aproveitamento energético e à intensificação dos fenômenos de evaporação pela construção de barragens, bem como ao aumento das temperaturas nos últimos 30 anos na região.

Foi observada também diminuição nos limiares de vazões muito baixas no Nordeste no outono e no inverno, o que pode intensificar ainda mais conflitos já existentes pelo uso da água em curto e longo prazo, pois esses são os períodos de maiores vazões na Região Nordeste.

As tendências negativas observadas reforçam a necessidade de maior diversificação da matriz energética brasileira, dada a influência sobre as vazões exercidas pelas flutuações nos padrões de chuva, via fenômenos de variabilidade climática, além dos impactos resultantes das projeções de mudanças climáticas, que tornam esse setor mais suscetível às alterações do clima.

Em linhas gerais, o presente estudo identificou tendências positivas na vazão da Região Sul do Brasil e na faixa sul do Sudeste, tendências negativas na faixa norte do Sudeste e no Nordeste e no Norte do país, com tendência de intensificação dos extremos, principalmente no Sul e no Nordeste brasileiros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal do ABC (UFABC), pelo apoio técnico, e ao Conselho Nacional de

Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio ao Projeto Universal (nº 471700/2013-4).

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013*. Brasília, 2013. 432 p. Disponível em: <http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2013_rel.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2016.
- _____. *Portal da Agência Nacional das Águas*. 2015. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/default.aspx>>. Acesso em: 10 dez. 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). *Portal ANEEL: Matriz de Energia Elétrica*. Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacida.cfm>>. Acesso em: 27 jun. 2017.
- BIRSAN, M. V.; MOLNAR, P.; BURLANDO, P.; PFAUNDLER, M. Streamflow trends in Switzerland. *Journal of Hydrology*, v. 314, n. 1-4, p. 312-329, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.06.008>
- BRASL. Empresa de Pesquisas Energéticas. Ministério de Minas e Energia. *Plano Decenal de Expansão de Energia 2026*. Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/PDE2026.pdf>>. Acesso em: 10 dez. 2016.
- BURN, D. H.; HAG ELNUR, M.A. Detection of hydrologic trends and variability. *Journal of Hydrology*, v. 255, n. 1-4, p. 107-122, 2002. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00514-5](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00514-5)
- COSTA, B.; ALVES, C. Análise de tendências e padrões de variação das séries históricas de vazões do operador nacional do sistema (ONS). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011, Maceió. Maceió, 2011. p. 1-17.
- DIXON, H.; LAWLER, D. M.; SHAMSELDIN, A. Y. Streamflow trends in western Britain. *Geophysical Research Letters*, v. 33, n. 19, p. 1-7, 2006. <https://doi.org/10.1029/2006GL027325>
- DRÁPELA, K.; DRÁPELOVÁ, I. Application of Mann-Kendall test and the Sen's slope estimates for trend detection in deposition data from Bily Kriz (Beskydy Mts., the Czech Republic) 1997–2010. *Beskydy*, v. 4, n. 2, p. 133-146, 2011.
- GEMMER, M.; JIANG, T.; SU, B.; KUNDZEWICZ, Z. W. Seasonal precipitation changes in the wet season and their influence on flood/drought hazards in the Yangtze River Basin, China. *Quaternary International*, v. 186, n. 1, p. 12-21, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.10.001>
- GILBERT, R. O. *Statistical methods for environmental pollution monitoring*. [S.l.]: Van Nostrand Reinhold Company, 1987. 336 p.
- GOCIC, M.; TRAJKOVIC, S. Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia. *Global and Planetary Change*, v. 100, p. 172-182, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2012.10.014>
- GROPPO, J.; MILDE, L.; GUAMERO, M.; MORAES, J.; MARTINELLI, L. Análise de Séries temporais de vazão e de precipitação na Bacia do Rio Piracicaba. *Revista de Ciência e Tecnologia*, v. 8, n. 18, p. 109-117, 2001.
- GROPPO, J. D.; MORAES, J. M.; BEDUSCHI, C. E.; MARTINELLI, L. A. Análise de séries temporais de vazão e precipitação em algumas bacias do estado de São Paulo com diferentes graus de intervenções antrópicas. *Geociências*, v. 24, n. 2, p. 181-192, 2005.
- GUETTER, A. K.; PRATES, J. E. Degrau climático nas séries de vazões das bacias brasileiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12., 2002. *Anais...* p. 2099-2110, 2002.
- HAMED, K. H. Trend detection in hydrologic data: the Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of Hydrology*, v. 349, n. 3-4, p. 350-363, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.11.009>

HIRSCH, R. M.; SLACK, J. R.; SMITH, R. A. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *Water Resources Research*, v. 18, n. 1, p. 107-121, 1982.

JOSEPH, J. F.; FALCON, H. E.; SHARIF, H. O. Hydrologic Trends and Correlations in South Texas River Basins: 1950-2009. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 18, n. 12, p. 1653-1662, 2013. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000709](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000709)

KAHYA, E.; KALAYCI, S. Trend analysis of streamflow in Turkey. *Journal of Hydrology*, v. 289, n. 1-4, p. 128-144, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2003.11.006>

KENDALL, M. *Rank Correlation Methods*. Londres: Charles Griffin Book, 1975. 160 p.

LETTENMAIER, D. P.; WOOD, E. F.; WALLIS, J. R. Hydro-climatological trends in the continental United States, 1948-88. *Journal of Climate*, v. 7, n. 4, p. 586-607, 1994. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(1994\)007%3C0586:HCTITC%3E2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1994)007%3C0586:HCTITC%3E2.0.CO;2)

LOPES, A. V.; CHIANG, J. C. H.; THOMPSON, S. A.; DRACUP, J. A. Trend and uncertainty in spatial-temporal patterns of hydrological droughts in the Amazon basin. *Geophysics Research Letters*, v. 43, p. 3307-3316, 2016. <https://doi.org/10.1002/2016GL067738>

MANN, H. B. Nonparametric Tests Against Trend. *The Econometric Society*, v. 13, n. 3, p. 245-259, 1945. [https://doi.org/0012-9682\(194507\)13:3<245:NTAT>2.0.CO;2-U](https://doi.org/0012-9682(194507)13:3<245:NTAT>2.0.CO;2-U)

MARENGO, J. A. Água e Mudanças Climáticas. *Estudos Avançados*, v. 22, n. 63, p. 83-96, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-40142008000200006>

_____. Mudanças Climáticas Globais e Regionais: Avaliação do Clima Atual do Brasil e Projeções de Cenários Climáticos do Futuro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, p. 1-18, 2001.

_____. Variations and change in South American streamflow. *Climatic Change*, v. 31, n. 1, p. 99-117, 1995. <https://doi.org/10.1007/BF01092983>

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Tendências Hidrológicas da Bacia do Rio Paraíba do Sul. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 20, n. 2, p. 215-226, 2005.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E.; LACERDA, F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: MEDEIROS, S. de S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. de O.; PAZ, V. P. da S. (Orgs.). *Recursos Hídricos e Regiões Áridas e Semiáridas* Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. p. 383-422.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J. Trends in streamflow and rainfall in tropical South America: Amazonia, eastern Brazil, and northwestern Peru Flow: Record Lengths. *Journal of Geophysical Research*, v. 103, p. 1775-1783, 1998.

MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; NOBRE, C. A. Mudanças climáticas e recursos hídricos. In: BICUDO, C.E.M.; TUNDISI, J.G.; SCHEUENSTUHL, M.C.B. (Orgs.). *Águas do Brasil: Análises Estratégicas*. São Paulo: Instituto de Botânica, 2010. p. 199-215.

MU, X.; ZHANG, L.; MCVICAR, T.R.; CHILE, B.; GAU, P. Analysis of the impact of conservation measures on stream flow regime in catchments of the Loess Plateau, China. *Hydrological Processes*, v. 21, p. 2124-2134, 2007. <https://doi.org/10.1002/hyp.6391>

NOVOTNY, E. V.; STEFAN, H. G. Stream flow in Minnesota: Indicator of climate change. *Journal of Hydrology*, v. 334, n. 3-4, p. 319-333, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.10.011>

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva: IPCC, 2014. 151 p.

PENEREIRO, J. C.; ORLANDO, D. V. Análises de tendências em séries temporais anuais de dados climáticos e hidrológicos na bacia do Rio Parnaíba entre os estados do Maranhão e Piauí / Brasil. *Revista Geográfica Acadêmica*, v. 7, n. 2, 2013. <http://dx.doi.org/10.18227/1678-7226rga.v7i2.2988>

PINKAYAN, S. Conditional Probabilities of Occurrence of Wet and Dry Years Over a Large Continental Area. *Hydrology Papers*, v. 12, p. 53, 1966.

QUEIROZ, A. R.; LIMA, L. M. M.; LIMA, J. W. M.; SILVA, B. C.; SCIANNI, L.A. Climate change impacts in the energy supply of the Brazilian hydro-dominant power system. *Renewable Energy*, v. 99, p. 379-389, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.07.022>

RAO, V. B.; FRANCHITO, S. H.; SANTO, C. M. E.; GAN, M. A. An update on the rainfall characteristics of Brazil: seasonal variations and trends in 1979-2011. *International Journal of Climatology*, p. 291-302, 2016. <https://doi.org/10.1002/joc.4345>

SANTANA, T. B.; SILVA, B.; SANTOS, A. Análise de Tendências de Longo Prazo em Séries de Vazões: Estudo de caso na bacia do Alto Rio Grande (MG). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19., 2011. Maceió, 2011. p. 1-14.

SEN, P. K. Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of American Statistical Association*, v. 63, n. 324, p. 1379-1389, 1968. <http://psycnet.apa.org/doi/10.2307/2285891>

SILVA, D. F. da; MOLION, L. C. B. *Influência da variabilidade climática interanual na hidrologia da bacia do rio São Francisco*. 20 p. Tese (Trabalho de Conclusão do Curso Bacharelado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2003.

SILVA, R. C.; MARCHI NETO, I.; SEIFERT, S. S. Electricity supply security and the future role of renewable energy sources In Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, p. 328-341, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.001>

TUCCI, C. E. Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos. In: AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS (Org.). *Câmara Temática sobre Recursos Hídricos*. Brasília: Fórum Brasileiro de Mudanças Climáticas, 2002. p. 150.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 2, n. 1, p. 135-152, 1997. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v2n1.p135-152>

ULIANA, E. M.; SILVA, D. D.; ULIANA, E. M.; RODRIGUES, B. S.; CORRÊDO, L. P. Análise de tendência em séries históricas de vazão e precipitação: uso de teste estatístico não paramétrico. *Ambiente & Água*, v. 10, n. 1, p. 82-88, 2015. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1427>

WANG, B.; DING, Q.; JHUN, J. G. Trends in Seoul (1778-2004) summer precipitation. *Geophysical Research Letters*, v. 33, n. 15, p. 1-5, 2006. <https://doi.org/10.1029/2006GL026418>

WANG, W.; VRIJLING, J. K. Trend and Stationarity Analysis for Streamflow Processes of Rivers in Western Europe in the 20Th Century. In: IWA INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER ECONOMICS, STATISTICS AND FINANCE, 2005. *Anais...* 2005. p. 8-10.

XU, Z. X.; TAKEUCHI, K.; ISHIDAIRA, H. Monotonic trend and step changes in Japanese precipitation. *Journal of Hydrology*, v. 279, n. 1-4, p. 144-150, 2003. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00178-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00178-1)

ZHAI, P.; ZHANG, X.; WAN, H.; PAN, X. Trends in Total Precipitation and Frequency of Daily Precipitation Extremes over China. *Journal of Climate*, v. 18, p. 1096-1108, 2005. <https://doi.org/10.1175/JCLI-3318.1>

ZHANG, Q.; LIU, C.; XU, C.-Y.; XU, Y.; TONG, J. Observed trends of annual maximum water level and streamflow during past 130 years in the Yangtze River basin, China. *Journal of Hydrology*, v. 324, n. 1-4, p. 255-265, 2006. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.09.023>

ZHENG, H.; ZHANG, L.; LIU, C.; SHAO, Q.; FUKUSHIMA, Y. Changes in stream flow regime in headwater catchments of the Yellow River basin since the 1950s. *Hydrological Processes*, v. 21, p. 886-893, 2007. <https://doi.org/10.1002/hyp.6280>

