

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

ANÁLISE DE ESTACIONARIDADE EM SÉRIES HIDROLÓGICAS NO LOCAL DO FUTURO APROVEITAMENTO HIDROELETRICO SÃO LUIZ DO TAPAJÓS

Saulo Aires de Souza,¹ Alexandre Abdalla Araujo¹ & Flávio Hadler Troger¹

RESUMO – A detecção de mudanças em séries hidrológicas é de extrema importância, tanto do ponto de vista prático quanto científico. Sistemas de recursos hídricos são projetados e operados com base no pressuposto de que as séries hidrológicas são estacionárias. No âmbito da Agência Nacional de Águas (ANA), as implicações em não analisar a existência de eventual mudança na série, podem trazer impactos na disponibilidade hídrica ofertada aos diferentes usuários. O objetivo deste artigo é avaliar as características estatísticas anuais, sazonais, mínimas e máximas das séries de vazões médias mensais naturais afluentes ao local da usina hidrelétrica (AHE) São Luiz do Tapajós, localizada na bacia do rio Tapajós, de modo a identificar eventuais comportamentos não estacionários em alguma dessas estatísticas e verificar se as eventuais mudanças de comportamento estão em consonância com o comportamento estatístico observado nas séries de precipitação. Observando os resultados conclui-se que a série de vazão anual apresenta evidências de características não estacionárias, sem no entanto, descartar que essas evidências podem estar relacionadas às flutuações naturais oriundas da dependência temporal inerente à região.

ABSTRACT – Detecting changes in hydrological series is extremely important, from both, practical and scientific point of view. Water resources systems are projected and operated based on the assumption that the hydrological series are stationaries. In the framework of the Brazilian National Water Agency, the implications of failing to analyze possible changes in the series, can affect water availability offered to the several users. The aim of this work is to evaluate the annual, seasonal, minimum and maximum statistic characteristics of the monthly mean near-natural streamflow series affluent to the *São Luiz do Tapajós* hydroelectric power plant, placed in *Tapajós* river basin, in order to identify any eventual non-stationary behavior and to check whether the eventual changes are consistent with the statistical behavior observed in the rainfall series. From the results, it can be concluded that the annual streamflow series show evidences of non-stationary characteristics, but it should not discarded the possibility that such evidences may be related to the natural fluctuations coming from the time-dependence intrinsic of the region.

Palavras-Chave – Estacionariedade de séries de vazões; estudos hidrológicos; teste estatísticos.

1) Especialistas em recursos hídricos da Agência Nacional de Águas, SIA Trecho 4, Lote 370, Ed. Sotreq, CEP 71.200-041 - Brasília/DF. (61) 2109-5559. saulo.souza@ana.gov.br, alexandre.araujo@ana.gov.br e troger@ana.gov.br.

1 INTRODUÇÃO

Deteção de mudanças em séries hidrológicas é de extrema importância tanto do ponto de vista prático quanto científico. Sistemas de recursos hídricos são projetados e operados com base no pressuposto de que as séries hidrológicas são estacionárias. Se esta afirmação é incorreta, os procedimentos existentes para o desenvolvimento de projetos de diques, barragens e reservatórios, entre outros, devem ser revistos. Sem esta revisão existe o risco dos sistemas estarem super ou subdimensionados, tendo como consequência, um alto custo para o primeiro caso, ou o não atendimento adequado ao seu propósito, no segundo caso.

Estudos dessa natureza são também importantes para a compreensão do impacto antrópico nos sistemas naturais. A urbanização, o desmatamento, as emissões de gases de efeito estufa, as mudanças nas práticas agrícolas e a construção de barragens são apenas alguns exemplos de atividades humanas que podem alterar aspectos importantes do ciclo hidrológico. Neste contexto, Merz *et al.* (2012) discutiram uma mudança no paradigma atual de análise de estacionaridade, propondo considerar não apenas a detecção da mudança, mas também buscar as causas que podem explicá-las.

Os principais problemas relacionados à água estão ligados ao seu excesso (nas cheias) ou à falta desse recurso (nas vazões baixas ou secas). Isso significa que, além de analisar as características médias, é essencial estudar as mudanças nas características de extremos hidrológicos.

No âmbito da Agência Nacional de Águas (ANA), as implicações em não analisar a existência de eventual mudança na série, podem trazer impactos na disponibilidade hídrica ofertada aos diferentes usuários. Por exemplo, caso exista uma tendência decrescente nas vazões, o impacto pode se dar na oferta de água estimada para fins de outorga, ao ser reservada uma vazão superior àquela que de fato poderá existir no futuro. Já para o caso de ser observada uma tendência crescente, poderá ocorrer o inverso, ou seja, estimar-se uma disponibilidade menor de água, podendo comprometer a implantação de novas atividades econômicas e o crescimento em determinada região, ou mesmo subestimar eventuais planos de inundações existentes ou a serem concebidos.

Sendo assim, considera-se importante sinalizar aos usuários as evidências de qualquer comportamento de mudança identificado na série que possa vir a comprometer o planejamento para o uso do recurso hídrico futuro. Consideremos, por exemplo o caso dos usuários do setor elétrico: a informação referente ao tipo de não estacionaridade nas séries de vazões afluentes aos aproveitamentos hidroelétricos é de fundamental importância, visto que os modelos de planejamento da expansão e operação do setor se aplicam a séries de vazões com a premissa de

estas terem um comportamento estocástico estacionário. Detzel *et al.* (2011) apontaram que pelo fato dos modelos utilizarem registros históricos na estimativa dos parâmetros, a condição de estacionariedade está implícita, sendo desta forma, imprudente realizar essas estimativas sem antes efetuar uma análise de estacionariedade. Ainda, Queiroga (2003) aponta a adoção da estacionariedade como possível fonte de erros e imprecisões em modelos hidrológicos.

Outra análise muito importante é a de estacionariedade sazonal das séries hidrológicas. Esta análise tem por objetivo avaliar, de modo mais refinado, as eventuais mudanças verificadas nas vazões anuais, além de subsidiar a identificação das possíveis causas que resultaram na mudança de alguma estatística da série anual. Vale ressaltar que na grande parte dos casos, os planejamentos de médio e curto prazo em recursos hídricos são elaborados na escala mensal, tornando essencial uma avaliação capaz de sinalizar aos usuários, os meses nos quais eventuais mudanças podem sugerir maior atenção. Stahl *et al.* (2010) fizeram uma avaliação da estacionariedade sazonal em 441 pequenas bacias de 15 países da Europa, verificando que as análises anual e sazonal devem ser distinguidas. Nas séries anuais, grande parte das tendências identificadas foi devida à tendência apresentada nos meses do período úmido europeu. No entanto, em diversas séries, identificou-se uma tendência de diminuição das vazões nos meses da primavera e verão, quando as séries anuais não apontavam mudança.

O objetivo deste artigo é avaliar as características estatísticas anuais, sazonais, mínimas e máximas das séries de vazões médias mensais naturais afluentes ao local da usina hidrelétrica (AHE) São Luiz do Tapajós, localizada na bacia do rio Tapajós, de modo a identificar eventuais comportamentos não estacionários em alguma dessas estatísticas e verificar se as eventuais mudanças de comportamento estão em consonância com o comportamento estatístico observado nas séries de precipitação.

2 ANÁLISE DE ESTACIONARIDADE

Os principais procedimentos para se avaliar eventuais mudanças no regime hidrológico de determinada região são, em primeiro lugar, a realização de uma análise exploratória dos dados (AED) hidrológicos disponíveis e, posteriormente, a aplicação de testes estatísticos de estacionariedade que demonstrem, objetivamente, se as eventuais diferenças detectadas são estatisticamente significantes.

A AED mais comum é efetuada por meio de inspeção visual e cálculo ou avaliação das estatísticas descritivas, utilizando como principais recursos a sensibilidade e a experiência do analista. A visualização gráfica dos dados pode fornecer importantes indicações a respeito das significativas diferenças que porventura as séries venham apresentar. Vale ressaltar que, apesar de

existirem muitos testes para avaliação da significância estatística de diferenças nas séries, considera-se imprescindível a análise gráfica exploratória dos dados, antes da aplicação desses testes (WCP, 2000).

Após a AED é conveniente que as possíveis diferenças observadas graficamente nessa etapa sejam verificadas mediante testes estatísticos, a fim de avaliar o grau de significância dessas alterações. Esses testes estatísticos envolvem a formulação de uma hipótese (hipótese nula), baseada em uma declaração conjectural sobre o comportamento probabilístico da população da variável hidrológica em questão. A rejeição ou não rejeição da hipótese formulada a priori dependerá do confronto entre a conjectura e a realidade física (dados observados), baseando-se em uma certa probabilidade ou nível de significância (α) definidos previamente. O nível de significância mede se o teste estatístico é muito diferente da gama de valores que deveriam ocorrer tipicamente sob a hipótese nula.

O nível escolhido não depende dos dados, mas declara até que ponto o risco de cometer um erro tipo I é aceitável. O erro tipo I é o erro cometido quando se rejeita a hipótese nula erroneamente. Por exemplo, em um nível de significância de 5%, aceita-se que, em média, pode-se estar rejeitando uma hipótese nula quando, na realidade, não se deveria rejeitá-la em 5% das vezes. Assim, quanto menor for o nível de significância, menos o analista quer correr o risco de rejeitar uma hipótese verdadeira, o que implica em situações em que o resultado de rejeição para um nível muito baixo indica fortes evidências de rejeição da hipótese nula, visto que a probabilidade de se estar rejeitando-a erroneamente é muito baixa.

Assim, os resultados obtidos podem ser interpretados segundo o nível de significância adotado. No presente artigo são utilizados 3 níveis de significância ($\alpha = 0,01$, $\alpha = 0,05$ e $\alpha = 0,10$), sendo representados pelos seus valores críticos. Nas situações em que as estatísticas dos testes em valor absoluto (testes bicaudais) forem superiores aos valores críticos, sugere-se a rejeição da hipótese nula para aquele teste. Desta maneira, os critérios considerados são:

- Quando o módulo da estatística do teste (ET) > valor crítico (VC), para $\alpha = 0,01$ existe uma evidência **muito forte** que a hipótese nula não é verdadeira, devendo por tanto ser rejeitada – o resultado será expresso na tabela de resultados como S(0,01);
- Quando o módulo da ET < VC, para $\alpha = 0,01$, mas ET > VC para o $\alpha = 0,05$ existe uma evidência **forte** que a hipótese nula não é verdadeira, devendo, portanto, ser rejeitada – o resultado será expresso como S(0,05);
- Quando o módulo da ET < VC, para $\alpha = 0,05$, mas ET > VC, para $\alpha = 0,10$ existe uma evidência **possível** que a hipótese nula não seja verdadeira, devendo, portanto, ser rejeitada – o resultado será expresso como S(0,10);

- Quando o módulo da $ET > VC$, para $\alpha = 0,10$, existem **poucas** evidências de que a hipótese nula não é verdadeira, devendo, portanto, não ser rejeitada – o resultado será expresso como NS;

Os critérios mencionados acima são meramente subjetivos, sem qualquer intenção de definir uma regra geral, apenas apresentam uma alternativa, entre as diversas, de como interpretar os resultados. Deste modo, é recomendável explicitar os critérios adotados para rejeitar ou não a hipótese nula.

É importante considerar que os testes estatísticos dão resultados que são expressões de probabilidade e não de certeza. Há sempre a chance de a hipótese nula ser verdadeira quando o resultado do teste sugere que ela deva ser rejeitada. Da mesma forma, se a hipótese nula for aceita, então este resultado diz apenas que as evidências disponíveis não contradizem a hipótese nula, não é prova de que a hipótese nula é verdadeira. Além do mais, se as suposições feitas em um teste estatístico não forem atendidas pelos dados (por exemplo, hipótese de normalidade dos dados), os resultados do teste não serão confiáveis, fazendo com que o nível de significância adotado não reflita o nível de significância verdadeiro. Assim, é muito importante entender quais as restrições que se aplicam a um determinado teste estatístico e em que situações ele é válido. Vale ressaltar que em situações em que não são plenamente atendidos os pré-requisitos de cada teste, métodos de reamostragem podem ser aplicados e suprir a ausência de algum pré-requisito.

Damazio *et al.* (2011) desenvolveram testes estatísticos para fazer a distinção entre flutuações naturais de séries temporais com estrutura de dependência temporal, e mudanças de regime hidrológico suaves ou abruptas, no local da AHE São Luiz do Tapajós. Esses autores concluíram que há casos em que flutuações observadas em séries com estrutura de dependência temporal podem ser confundidas com alguma mudança de comportamento.

Os testes de hipótese podem ser classificados em paramétricos ou não paramétricos. Eles são ditos paramétricos se os dados amostrais, por premissa, tiverem sido extraídos de uma população normal ou de qualquer outra população, cujo modelo distributivo é conhecido, ou previamente especificado. Os testes não paramétricos, por outro lado, não necessitam da especificação prévia do modelo distributivo da população da qual foram extraídos os dados amostrais.

As mudanças nas séries hidrológicas são evidenciadas de varias maneiras: abruptamente, gradualmente ou de forma mais complexa. Estas mudanças podem afetar algumas características estatísticas das séries como a média, a mediana, a variância ou a autocorrelação, entre outras. Deste modo, Os testes estatísticos utilizados neste trabalho foram divididos nas seguintes categorias:

1. Testes para tendências: verificam a significância de mudanças graduais na série de dados. Os testes utilizados para essa categoria foram: Mann Kendall (não paramétrico), Kendall

Sazonal (não paramétrico), teste do ρ de Spearman (não paramétrico) e teste dos coeficientes de regressão linear (paramétrico). Para esses testes, a hipótese nula é a série não apresentar tendência significativa;

2. Testes para mudanças abruptas: verificam a significância da mudança da média, da mediana e da variância da amostra a partir de um ponto (uma data) da série, conhecido ou desconhecido. Os testes utilizados para essa categoria foram: soma acumulada não paramétrica ou Distribution-Free CUSUM (não paramétrico), desvio acumulado ou Cumulative Deviation (paramétrico), teste da razão de verossimilhança de Worsley ou Worsley Likelihood Ratio (paramétrico), soma das ordens ou Rank-Sum (não paramétrico), o teste convencional t Student (paramétrico) e o teste convencional F de Snedecor (paramétrico). Para esses testes a hipótese nula é a série não apresentar mudança abrupta significativa;
3. Testes para verificação da independência: buscam verificar se existe correlação serial entre os dados da amostra. Os testes utilizados para essa categoria foram: cruzamento da mediana ou Median Crossing (não paramétrico), inflexões ou Turning Points (não paramétrico), diferenças de ordens ou Rank Difference (não paramétrico) e Autocorrelação (paramétrico). Para esses testes a hipótese nula é a série ser independente.

Maiores detalhes sobre os testes acima podem ser encontrados em (WCP, 2000).

A direção e significância estatística das tendências nas séries de chuva e vazões foram determinadas, conforme mencionado acima, segundo os testes Mann-Kendall, Spearman's Rho e Regressão Linear. Estes testes têm sido usados extensivamente em estudos de tendências hidrológicas. Porém, eles assumem que a série não apresenta autocorrelação, como por exemplo, na análise da chuva. Entretanto, nada se pode concluir para uma série de vazões, especialmente quando estas séries apresentam variabilidade de longo prazo, resultante de regularização.

As tendências podem estar associadas a mudanças naturais ou antrópicas. Tendências nas séries de vazões ou de cotas de rios que apresentam forte autocorrelação, muitas vezes acontecem devido à grande capacidade de armazenamento de água no solo ou devido à regularização provocada por estruturas hidráulicas presentes na bacia. Estudos de autocorrelação das séries podem evidenciar possíveis efeitos da regularização como causa da tendência sistemática. No entanto, essa análise deve ser complementada com uma análise da variabilidade ou das tendências da chuva na bacia. No caso da análise da precipitação, os registros geralmente apresentam baixa correlação serial, e não afetam os resultados dos testes e, desta forma, os eles podem ser aplicados nas séries de

chuva para confirmar os resultados obtidos através da análise das tendências nas vazões ou nas cotas.

Os testes de mudanças abruptas são essenciais na identificação de alguma intervenção antrópica ou natural que ocorreu pontualmente a partir de determinado período, como por exemplo, a construção de um reservatório de regularização ou uma alteração no regime de precipitação. É importante ressaltar que, em séries curtas, a eventual detecção de um salto (degrau) pode não ser, necessariamente, uma não estacionaridade na média (na mediana ou na variância), sendo, na verdade, parte de uma variabilidade interdecadal (cíclica), com períodos de anos relativamente secos e úmidos sucessivos. Essas variabilidades interdecadais são ciclos resultantes da variabilidade natural do clima e não de uma mudança climática de origem antrópica.

Os testes de aleatoriedade e independência são fundamentais, visto que eles estão vinculados ao entendimento das características de persistência (memória) da bacia, além de atestar a aplicabilidade dos demais testes, dado que uma premissa básica dos testes de hipótese é a condição de independência da série. No presente estudo foi adotado que a hipótese de independência só seria rejeitada caso os resultados de todos os 4 testes aplicados indicassem a rejeição da hipótese de independência. Quando isso ocorresse seria utilizado uma metodologia de reamostragem (*resampling*) de modo a determinar os níveis de confiança de forma mais fidedigna.

Verificada uma eventual mudança na série hidrológica é importante e necessário buscar o entendimento das causas desta mudança. Entre possíveis causas da alteração do comportamento hidrológico (redução ou aumento sistemático ou abrupto nas vazões e cotas, por exemplo) temos:

- Efeitos antrópicos de uso da água, como a construção de barragens e açudes para abastecimento e geração de energia, que podem, inclusive, aumentar a evaporação;
- Desvio de rios para usos na agricultura e que pode aumentar a evapotranspiração;
- Mudanças no uso do solo que podem afetar as vazões;
- Mudanças gradativas no canal do rio, devido à deposição de sedimentos, que podem não ter sido considerados no momento de calcular vazões através do uso de curvas-chave;
- Mudanças gradativas no regime e na distribuição de chuvas na bacia, decorrentes de mudanças climáticas regionais.

3 AREA DE ESTUDO

A UHE São Luiz do Tapajós está localizada no rio Tapajós, afluente pela margem direita do rio Amazonas. A bacia hidrográfica do rio Tapajós está compreendida entre os paralelos 02° e 15° de latitude sul e os meridianos 54° e 60° de longitude oeste, situando-se a leste da bacia do rio Madeira e a oeste da bacia do rio Xingu. Esta bacia é parte integrante da Região Norte e Centro-

Oeste do território nacional. Sua superfície recobre uma área de 492.481 km², distribuída entre os estados de Mato Grosso, Pará, Amazonas e uma parcela muito pequena do estado de Rondônia, correspondente à drenagem da margem esquerda do alto curso do rio Iquê ou Languiaru.

A bacia do rio Tapajós apresenta forma alongada com sentido sul-norte. Tem como principais formadores os rios Juruena e Teles Pires, que após se juntarem, próximo ao paralelo 7° 30' de latitude sul, passa a ser denominado rio Tapajós. A partir deste ponto, depois de percorrer uma extensão de aproximadamente 825 km, deságua na margem direita do rio Amazonas. O trecho final do rio Tapajós tem seu regime de níveis e vazões afetado pelo remanso do rio Amazonas e pela influência da maré. A bacia hidrográfica do rio Tapajós, com seus formadores, é ilustrada na Figura 1. Todos os dados utilizados neste artigo foram retirados de CNEC (2011).

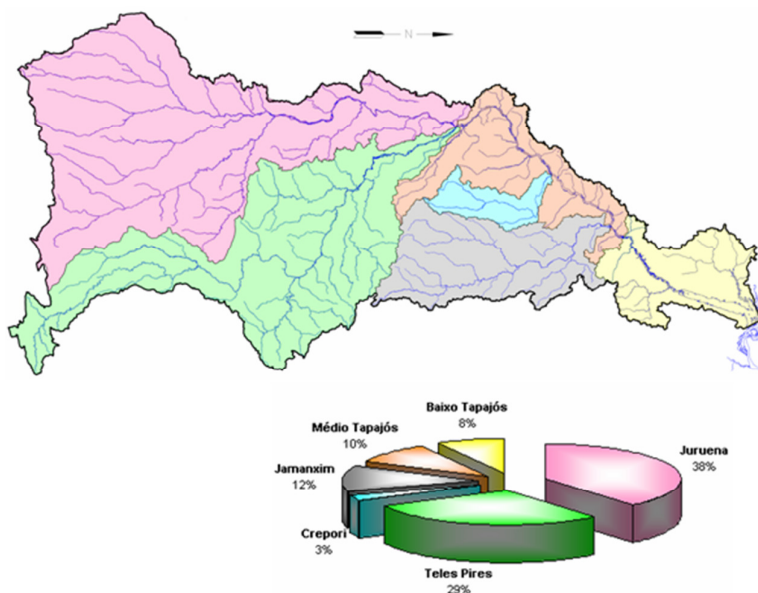


Figura 1: Bacia do Rio Tapajós e Formadores

(Fonte: CNEC (2011))

4 RESULTADOS

No contexto apresentado e considerando que grande parte dos valores da série de vazão no local da AHE São Luiz do Tapajós foi obtida por meio de procedimentos utilizando modelagem chuva-vazão, procurou-se avaliar as principais características de eventuais mudanças nas principais estatísticas das séries de vazões afluentes aos aproveitamentos previstos na bacia do rio Tapajós. As análises foram feitas observando a série como um todo, sendo no entanto, dada uma atenção especial a dois blocos da série: um bloco correspondente ao período estendido e outro ao período de dados, predominantemente observados. Essa atenção será dada principalmente nos testes que necessitam previamente de uma subdivisão da série em dois períodos, para efeitos de comparação.

Essa subdivisão ocorreu no ano de 1973, ou seja, há um segmento contendo valores de 1931 a 1972 e outro, contendo valores de 1973 a 2008.

Foi considerado nas análises que, para a rejeição da hipótese de determinado tipo de estacionaridade (tendência, saltos ou dependência serial), todos os testes específicos para cada tipo, devem indicar essa rejeição, independentemente do nível de significância considerado. Os níveis de significância foram colocados de modo a destacar a magnitude da intensidade de cada teste. Por exemplo, se dos três testes de tendência utilizados, embora dois deles indicassem a rejeição e apenas um indicasse a não rejeição da hipótese de estacionariedade, mesmo assim, não seria rejeitada a hipótese da série não apresentar tendência.

A primeira avaliação realizada foi a tradicional análise das vazões médias anuais, a partir de uma análise exploratória dos dados, por meio da inspeção visual dos hidrogramas.. A figura 2 ilustra o gráfico das vazões médias anuais afluentes à AHE São Luiz do Tapajós, no qual pode ser observada uma tendência decrescente nas vazões anuais, sendo a média do período anterior a 1973 (linha vermelha tracejada) maior que a do período posterior (linha verde tracejada). Isso indica que o o período anterior a 1973, está resultando em vazões, em média, maiores que as vazões do período posterior. No entanto, percebe-se que a variabilidade das vazões não está muito diferente, indicando que a variância das vazões anuais antes de 1973 tem o mesmo comportamento da variância no período posterior.

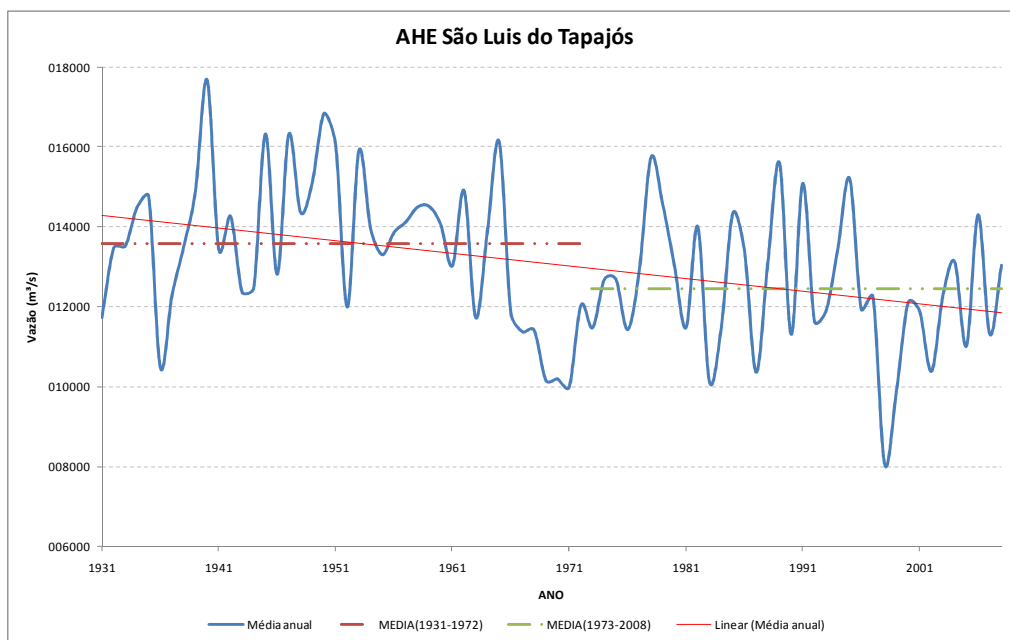


Figura 2. Vazões médias anuais afluentes aos AHE do São Luiz do Tapajós.

De modo a verificar e aprofundar a avaliação visual foram efetuados testes de hipóteses. A tabela 1 apresenta as estatísticas dos testes (ET), os valores críticos (VC) e os resultados dos testes (R) aplicados sobre a série de vazões da AHE São Luiz do Tapajós. De acordo com os resultados

apresentados nesta tabela, verifica-se, inicialmente, que a hipótese de independência dos dados não pode ser rejeitada, uma vez que, pelo menos um resultado apontou a não-significância dos resultados dos testes de independência. Nos testes de tendência para a série de vazões analisada (Mann Kendall, teste do ρ de Spearman e testes dos coeficientes de regressão linear) são indicadas fortes evidências ($\alpha = 0,01$) de que a hipótese nula não seja verdadeira, ou seja, é rejeitada a hipótese de não haver tendência, indicando fortes evidências estatísticas de uma tendência decrescente na série.

Para o teste de igualdade da média (CUSUM, Cumulative Deviation, Worsley Likelihood Ratio, o teste t Student) e mediana (Rank-Sum), de acordo com a tabela 1, os resultados apontam evidências muito fortes ($\alpha = 0,01$) ou fortes ($\alpha = 0,05$) de se rejeitar a hipótese nula de que o período anterior a 1973 tem a mesma média e mesma mediana do período posterior. Já no teste de igualdade das variâncias (Teste F), os resultados indicam que a hipótese de igualdade das variâncias não pode ser rejeitada para o período analisado, confirmando a conclusão obtida na inspeção visual do gráfico da figura 2, na qual foi destacada a possibilidade de uma tendência decrescente significativa e uma mudança abrupta entre o período anterior a 1973 e o período posterior.

Tabela 1 – Testes estatísticos de tendência, mudança abrupta (média, mediana, variância) e independência para as vazões médias anuais do AHE São Luiz do Tapajós.

AHE SÃO LUIS DO TAPAJÓS			
Testes Estatísticos	TOTAL		
	ET	VC	R
Mann-Kendall	-3,089	2,576	S (0,01)
Spearman's Rho	-3,282	2,576	S (0,01)
Linear regression	-3,550	2,649	S (0,01)
Cusum	17,000	14,396	S (0,01)
Cumulative deviation	2,170	1,537	S (0,01)
Worsley likelihood	4,954	3,790	S (0,01)
Rank Sum	-2,561	1,960	S (0,05)
Student's t	2,593	1,994	S (0,05)
Median Crossing	1,709	1,645	S (0,1)
Turning Point	-0,725	1,645	NS
Rank Difference	-2,164	1,960	S (0,05)
Auto Correlation	2,744	2,576	S (0,01)
Teste F	0,552	0,100	NS

Utilizando a mesma série e o mesmo período de análise, Damazio et al (2011) aplicaram um teste de degrau e um teste de mudança de patamar com transição. No primeiro teste observaram que, enquanto o valor da estatística l_{tl} obtida para a série de São Luiz do Tapajós ($t=2,46$) é recusado quando se avalia ao nível de significância de 95% na distribuição construída considerando a independência das vazões, este valor é aceito no mesmo nível de significância quando se avalia a significância da estatística na distribuição construída considerando-se a dependência temporal das vazões. No segundo teste observaram que, enquanto o valor da estatística l_{tl} obtida para a série de São Luiz do Tapajós ($t=4,0$) é recusado ao nível de significância de 99% quando se avalia a significância da estatística na distribuição construída considerando a independência das vazões, este

valor é aceito ao mesmo nível de significância quando se avalia a significância da estatística na distribuição construída considerando-se a dependência temporal das vazões.

Na análise sazonal, cujos resultados estão apresentados na tabela 2, verifica-se, inicialmente, que a hipótese de independência dos dados não pode ser rejeitada para todos os meses, uma vez que, pelo menos um resultado apontou não-significância nos testes de independência. Nos testes de tendência (Mann Kendall, teste do ρ de Spearman e testes dos coeficientes de regressão linear), aplicados nos meses do período úmido (fevereiro, março, abril, maio, novembro e dezembro), há evidências de que a hipótese nula não seja verdadeira, ou seja, é rejeitada a hipótese de não haver tendência, indicando fortes evidências estatísticas de uma tendência decrescente neste período. Já no período seco (de junho a outubro) observa-se, em grande parte dos casos, que a hipótese nula não deve ser rejeitada. Assim, a tendência decrescente observada nos dados anuais é resultado das tendências decrescentes observadas na série do período úmido.

Para o teste de igualdade da média, de acordo com a tabela 2, os resultados apontam que, nos meses de março, abril, setembro, novembro e dezembro, há evidências muito fortes ($\alpha = 0,01$) ou fortes ($\alpha = 0,05$) de rejeição da hipótese nula de que o período anterior a 1973 tem a mesma média e mediana do período posterior,. Já para o teste de igualdade das variâncias (Teste F) os resultados indicam que a hipótese de igualdade das variâncias pode ser rejeitada nos meses julho a dezembro, ou seja, em grande parte do período seco.

Tabela 2 – Testes estatísticos de tendência, mudança abrupta (média, mediana, variância) e independência para as vazões médias mensais do AHE São Luiz do Tapajós.

AHE SÃO LUIS DO TAPAJÓS									
Testes Estatísticos	JAN			FEV			MAR		
	ET	VC	R	ET	VC	R	ET	VC	R
Mann-Kendall	-0,764	1,645	NS	-2,563	1,960	S (0,05)	-3,339	2,576	S (0,01)
Spearman's Rho	-0,925	1,645	NS	-2,752	2,576	S (0,01)	-3,431	2,576	S (0,01)
Linear regression	-1,167	1,668	NS	-2,905	2,649	S (0,01)	-3,513	2,649	S (0,01)
Cusum	9,000	10,775	NS	15,000	14,396	S (0,01)	18,000	14,396	S (0,01)
Cumulative deviation	1,302	1,281	S (0,05)	1,911	1,537	S (0,01)	2,082	1,537	S (0,01)
Worsley likelihood	2,707	2,870	NS	4,213	3,790	S (0,01)	4,680	3,790	S (0,01)
Rank Sum	-0,767	1,645	NS	-1,789	1,645	S (0,1)	-2,781	2,576	S (0,01)
Student's t	0,892	1,667	NS	1,749	1,667	S (0,1)	2,575	1,994	S (0,05)
Median Crossing	1,481	1,645	NS	1,254	1,645	NS	2,165	1,960	S (0,05)
Turning Point	-2,355	1,960	S (0,05)	-0,725	1,645	NS	-1,268	1,645	NS
Rank Difference	-2,697	2,576	S (0,01)	-2,802	2,576	S (0,01)	-3,159	2,576	S (0,01)
Auto Correlation	2,998	2,576	S (0,01)	3,103	2,576	S (0,01)	3,041	2,576	S (0,01)
Teste F	0,470	0,100	NS	0,041	0,050	S (0,05)	0,755	0,100	NS

AHE SÃO LUIS DO TAPAJOS									
Testes Estatísticos	ABR			MAI			JUN		
	ET	VC	R	ET	VC	R	ET	VC	R
Mann-Kendall	-2,804	2,576	S (0,01)	-1,803	1,645	S (0,1)	-0,936	1,645	NS
Spearman's Rho	-2,865	2,576	S (0,01)	-1,873	1,645	S (0,1)	-0,848	1,645	NS
Linear regression	-3,406	2,649	S (0,01)	-2,099	1,995	S (0,05)	-0,677	1,668	N
Cusum	14,000	12,011	S (0,05)	8,000	10,775	NS	5,000	10,775	NS
Cumulative deviation	2,037	1,537	S (0,01)	1,254	1,157	S (0,1)	0,663	1,157	
Worsley likelihood	4,563	3,790	S (0,01)	2,584	2,870	NS	1,842	2,870	NS
Rank Sum	-2,531	1,960	S (0,05)	-1,719	1,645	S (0,1)	-0,476	1,645	NS
Student's t	2,919	2,648	S (0,01)	2,135	1,994	S (0,05)	0,379	1,667	NS
Median Crossing	0,570	1,645	NS	0,570	1,645	NS	0,570	1,645	NS
Turning Point	-0,725	1,645	NS	-0,181	1,645	NS	0,362	1,645	NS
Rank Difference	-0,615	1,645	NS	1,145	1,645	NS	0,654	1,645	NS
Auto Correlation	0,676	1,645	NS	-1,023	1,645	NS	-0,901	1,645	NS
Teste F	0,335	0,100	NS	0,214	0,100	NS	0,230	0,100	NS
AHE SÃO LUIS DO TAPAJOS									
Testes Estatísticos	JUL			AGO			SET		
	ET	VC	R	ET	VC	R	ET	VC	R
Mann-Kendall	0,863	1,645	NS	1,657	1,645	S (0,1)	2,140	1,960	S (0,05)
Spearman's Rho	0,908	1,645	NS	1,746	1,645	S (0,1)	2,290	1,960	S (0,05)
Linear regression	1,026	1,668	NS	1,679	1,668	S (0,1)	2,051	1,995	S (0,05)
Cusum	11,000	10,775	S (0,1)	13,000	12,011	S (0,05)	18,000	14,396	S (0,01)
Cumulative deviation	0,989	1,157		1,421	1,281	S (0,05)	1,930	1,537	S (0,01)
Worsley likelihood	2,006	2,870	NS	2,966	2,870	S (0,1)	4,242	3,790	S (0,01)
Rank Sum	1,859	1,645	S (0,1)	2,832	2,576	S (0,01)	3,754	2,576	S (0,01)
Student's t	-1,951	1,667	S (0,1)	-2,772	2,648	S (0,01)	-3,453	2,648	S (0,01)
Median Crossing	0,570	1,645	NS	0,342	1,645	NS	1,481	1,645	NS
Turning Point	1,449	1,645	NS	-0,725	1,645	NS	-0,181	1,645	NS
Rank Difference	0,738	1,645	NS	-1,049	1,645	NS	-2,935	2,576	S (0,01)
Auto Correlation	-0,042	1,645	NS	0,995	1,645	NS	2,882	2,576	S (0,01)
Teste F	0,046	0,050	S (0,05)	0,000	0,010	S (0,01)	0,011	0,050	S (0,05)
AHE SÃO LUIS DO TAPAJOS									
Testes Estatísticos	OUT			NOV			DEZ		
	ET	VC	R	ET	VC	R	ET	VC	R
Mann-Kendall	0,108	1,645	NS	-2,330	1,960	S (0,05)	-3,016	2,576	S (0,01)
Spearman's Rho	0,177	1,645	NS	-2,322	1,960	S (0,05)	-2,895	2,576	S (0,01)
Linear regression	-0,128	1,668	NS	-2,754	2,649	S (0,01)	-3,399	2,649	S (0,01)
Cusum	8,000	10,775	NS	11,000	10,775	S (0,1)	16,000	14,396	S (0,01)
Cumulative deviation	0,615	1,157	NS	1,272	1,157	S (0,1)	1,959	1,537	S (0,01)
Worsley likelihood	1,714	2,870	NS	3,106	2,870	S (0,1)	4,343	3,790	S (0,01)
Rank Sum	1,388	1,645	NS	-1,569	1,645	NS	-2,701	2,576	S (0,01)
Student's t	-0,852	1,667	NS	2,001	1,994	S (0,05)	2,907	2,648	S (0,01)
Median Crossing	0,570	1,645	NS	0,798	1,645	NS	1,481	1,645	NS
Turning Point	-0,725	1,645	NS	0,362	1,645	NS	-1,268	1,645	NS
Rank Difference	-0,243	1,645	NS	-0,299	1,645	NS	-1,414	1,645	NS
Auto Correlation	-0,847	1,645	NS	-0,070	1,645	NS	0,738	1,645	NS
Teste F	0,064	0,100	S (0,1)	0,000	0,010	S (0,01)	0,003	0,010	S (0,01)

Outra análise, fortemente recomendável, é a verificação do comportamento estacionário ou não-estacionário dos valores extremos da série de vazões mensais. A análise de estacionaridade das séries de vazões máximas e mínimas tem por objetivo avaliar se os valores extremos observados anualmente apresentam algum comportamento de mudança ao longo do tempo, possibilitando

reunir evidências sobre possíveis causas que resultaram em uma eventual mudança de alguma estatística da série de extremos. Vale ressaltar que, na grande parte dos casos as vazões extremas são utilizadas como índices e parâmetros essenciais para os projetos de obras hídricas e outorgas de uso da água. As vazões máximas, por exemplo, são utilizadas na definição das vazões máximas de projeto que condicionam o dimensionamento de barragens, pontes, diques *etc.* As vazões mínimas, são aplicadas, por exemplo, na definição da disponibilidade hídrica nos trechos de uma bacia hidrográfica e influenciam a definição da energia firme das usinas hidrelétricas entre outras utilidades.

As figuras 3 e 4 ilustram os gráficos das vazões máximas e mínimas anuais afluentes aos AHE do São Luiz do Tapajós, respectivamente. Na figura 3, correspondente às máximas, observa-se uma tendência decrescente, sendo a média do período anterior a 1973 (linha vermelha tracejada) maior que a do período posterior (linha verde tracejada). No entanto, observa-se que a variabilidade das vazões não está muito diferente, indicando que a variância das vazões anuais antes de 1973 tem o mesmo comportamento da variância do período posterior. Para as vazões mínimas, conforme pode ser visto na Figura 4, observa-se uma tendência crescente, sendo a média das vazões mínimas do período anterior a 1973 (linha vermelha tracejada) menor que a do período posterior (linha verde tracejada). Observa-se no caso das mínimas, uma forte mudança na variabilidade da série. Analisando, essas duas figuras conjuntamente, pode-se supor, grosso modo, segundo os dados indicam, que, com o passar dos anos, enquanto as vazões máximas tendem a diminuir, as vazões mínimas tendem a aumentar, o que, coletivamente representa uma diminuição na amplitude das vazões ao longo do tempo.

A tabela 3 apresenta os valores de ET, VC e R, correspondentes aos testes estatísticos aplicados às séries de vazões máximas (nas colunas à esquerda) e mínimas (nas colunas à direita). Os resultados confirmam a conclusão obtida nas inspeções visuais do gráficos, nas quais foram destacadas a possibilidade de uma tendência decrescente significativa e uma mudança abrupta entre os períodos anterior e posterior a 1973, no caso das vazões máximas. Nas vazões mínimas, foi destacada a possibilidade de uma tendência crescente significativa e uma mudança abrupta nas médias entre os períodos anterior e posterior a 1973. Os resultados também confirmam a conclusão obtida na inspeção visual do gráfico correspondente. verifica-se, ainda, que no teste F de igualdade da variância para as vazões mínimas a hipótese nula foi fortemente rejeitada ($\alpha = 0,01$).

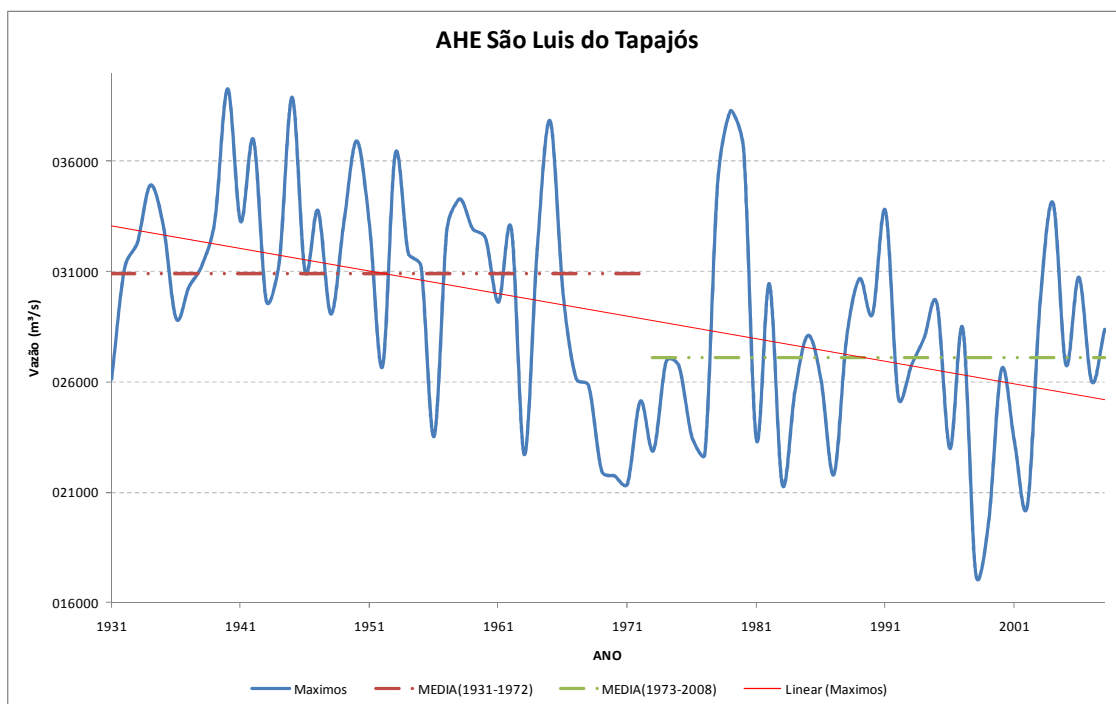


Figura 3. Vazões máximas anuais afluentes ao AHE do São Luiz do Tapajós.

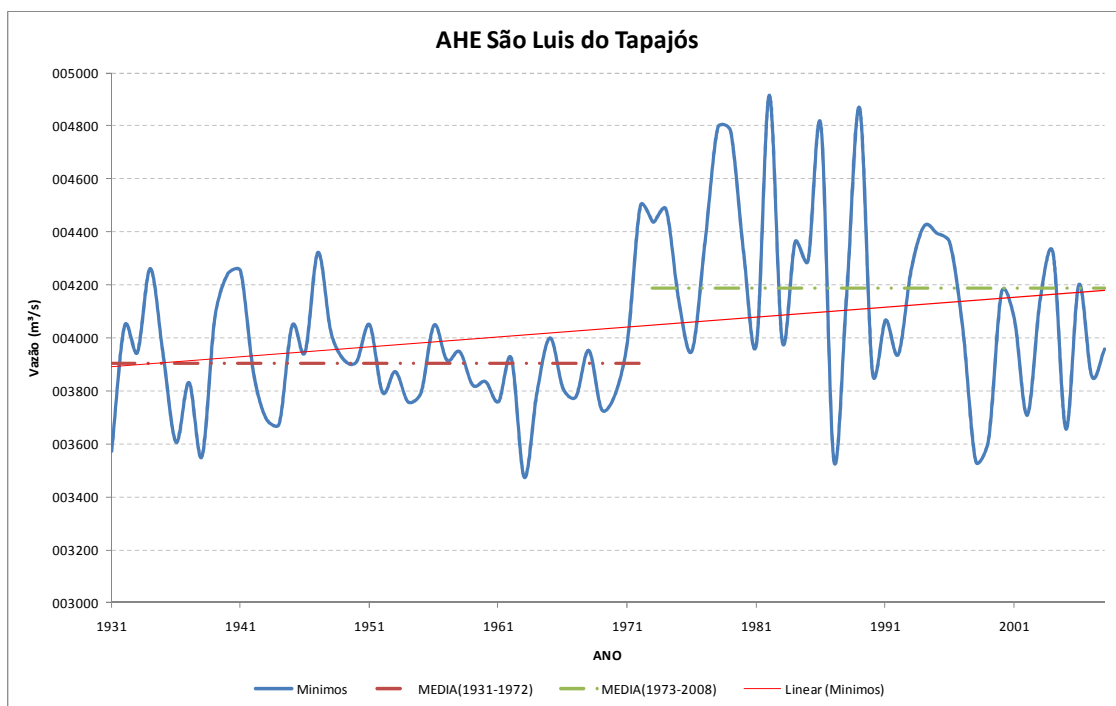


Figura 4. Vazões mínimas anuais afluentes ao AHE do São Luiz do Tapajós.

Tabela 3 – Testes estatísticos de tendência, mudança abrupta (média, mediana, variância) e independência para as vazões MÁXIMAS e MÍNIMAS médias mensais dos AHE previstos nas bacias dos rios Tapajós e Jamanxim.

AHE SÃO LUIZ DO TAPAJÓS						
Testes Estatísticos	MAX			MIN		
	ET	VC	R	ET	VC	R
Mann-Kendall	-3,935	2,576	S (0,01)	2,218	1,960	S (0,05)
Spearman's Rho	-4,122	2,576	S (0,01)	2,356	1,960	S (0,05)
Linear regression	-4,524	2,649	S (0,01)	2,395	1,995	S (0,05)
Cusum	24,000	14,396	S (0,01)	18,000	14,396	S (0,01)
Cumulative deviation	2,411	1,537	S (0,01)	2,087	1,537	S (0,01)
Worsley likelihood	5,706	3,790	S (0,01)	4,684	3,790	S (0,01)
Rank Sum	-3,413	2,576	S (0,01)	3,834	2,576	S (0,01)
Student's t	3,334	2,648	S (0,01)	-3,839	2,648	S (0,01)
Median Crossing	3,305	2,576	S (0,01)	1,481	1,645	NS
Turning Point	-1,811	1,645	S (0,1)	0,362	1,645	NS
Rank Difference	-3,713	2,576	S (0,01)	-2,578	2,576	S (0,01)
Auto Correlation	3,966	2,576	S (0,01)	2,770	2,576	S (0,01)
Teste F	0,853	0,100	NS	0,001	0,010	S (0,01)

Após a análise de estacionaridade da série de vazões é recomendável fazer a mesma análise para série de precipitação representativa da bacia afluente ao mesmo local. Essa análise tem a finalidade de detectar e subsidiar a identificação de possíveis causas de comportamentos não estacionários eventualmente identificados nas séries de vazões, como, por exemplo, se estão associados a causas naturais ou efeitos antrópicos. No caso específico da análise de estacionaridade das vazões é necessário analisar conjuntamente séries de chuva e vazão nas várias estações hidrometeorológicas presentes. Vale ressaltar que a detecção de evidências de um comportamento não estacionário simultaneamente observado na precipitação média e na vazão, não indica, necessariamente, que se tratam de mudanças por causas naturais, uma vez que, a priori, não se pode rejeitar a hipótese da existência de problemas não detectados nas séries observadas de precipitação ou nos processos de preenchimento de falhas ou extensão dessas séries.

A figura 5 ilustra os gráficos das precipitações totais anuais das estações pluviométricas Diamantino, Alto Tapajós e Vilhena, utilizadas no cálculo da precipitação média mensal, apresentada também na figura 5. Observa-se nos gráficos referentes às estações Diamantino e Vilhena, uma pequena tendência decrescente e uma pequena diferença na média. Na estação Diamantino não se observam diferenças significativas na variância, enquanto que na estação de Vilhena, por outro lado, observa-se uma diminuição da variabilidade após a década de 80. Observando-se a estação Alto Tapajós verifica-se claramente uma tendência decrescente e uma diferença na média após o ano de 1973, mais especificamente entre as décadas de 80 e 90, período no qual se observam precipitações bem abaixo da média. Com relação à variabilidade não se observam diferenças significativas na variância das precipitações.

Como a precipitação média foi obtida pela média aritmética ponderada dessas três estações é de se esperar que sejam incorporadas algumas das características de cada estação. Assim,

observando-se o gráfico da precipitação média verifica-se tendência decrescente com uma inclinação maior que Diamantino e Vilhena e menor que Alto Tapajós. As diferenças na média também apresentam o mesmo comportamento que a tendência, num estágio intermediário entre as diferenças apresentadas nas estações Diamantino e Vilhena e as da estação Alto Tapajós. Assim como ocorre na série de Vilhena, observa-se uma diminuição da variabilidade da precipitação média ao longo do tempo.

De modo a corroborar a avaliação visual foram efetuados os testes de hipóteses de tendência e de mudança abrupta (na média, mediana e variância) mencionados anteriormente, além dos testes de independência que atestam adequabilidade dos demais testes. A tabela 4 apresenta as estatísticas dos testes (ET), os valores críticos (VC) e o resultado do teste (R) para precipitações totais anuais das estações Diamantino, Alto Tapajós e Vilhena utilizados no cálculo da precipitação média mensal, também apresentada na mesma Tabela. Primeiramente observa-se que a hipótese de independência foi confirmada, uma vez que para todos os casos, em pelo menos um dos quatro testes efetuados, a hipótese não foi rejeitada. Observa-se que a tendência decrescente apresentada em Diamantino e Vilhena não é significativa, uma vez que, em todos os testes efetuados, o resultado indicou fracas evidências de rejeição da hipótese nula. Já no caso de Alto Tapajós e na precipitação média os testes indicam evidências muito fortes para se rejeitar a hipótese nula.

Para os testes de igualdade da média em Diamantino, apenas o teste t de Student indicou que a diferença apresentada pela média nos dois períodos não é significativa. O teste de igualdade da mediana (Rank-Sum) também apresentou o mesmo resultado. Para os outros testes, os resultados indicam evidências fortes de rejeição da hipótese nula. Em Vilhena todos os testes indicaram a não rejeição da hipótese nula. Já no caso dos dados da estação Alto Tapajós e na precipitação média os testes indicam evidências muito fortes de rejeição da hipótese nula. Já para o teste de igualdade das variâncias (Teste F) os resultados indicam que a hipótese de igualdade das variâncias não pode ser rejeitada para o caso das estações Diamantino e Alto Tapajós. Já para Vilhena e para a precipitação média, os testes indicam, respectivamente, evidências fortes ($\alpha = 0,05$) ou possíveis ($\alpha = 0,10$) de se rejeitar a hipótese nula.

Fazendo uma avaliação sazonal da precipitação média, aplicando os testes de estacionaridade em cada mês, observa-se, na tabela 5, que apenas nos meses de janeiro, outubro e novembro são indicadas tendências decrescentes em todos os testes. Para os demais testes e meses não foram observados resultados com indicativos de não estacionaridade.

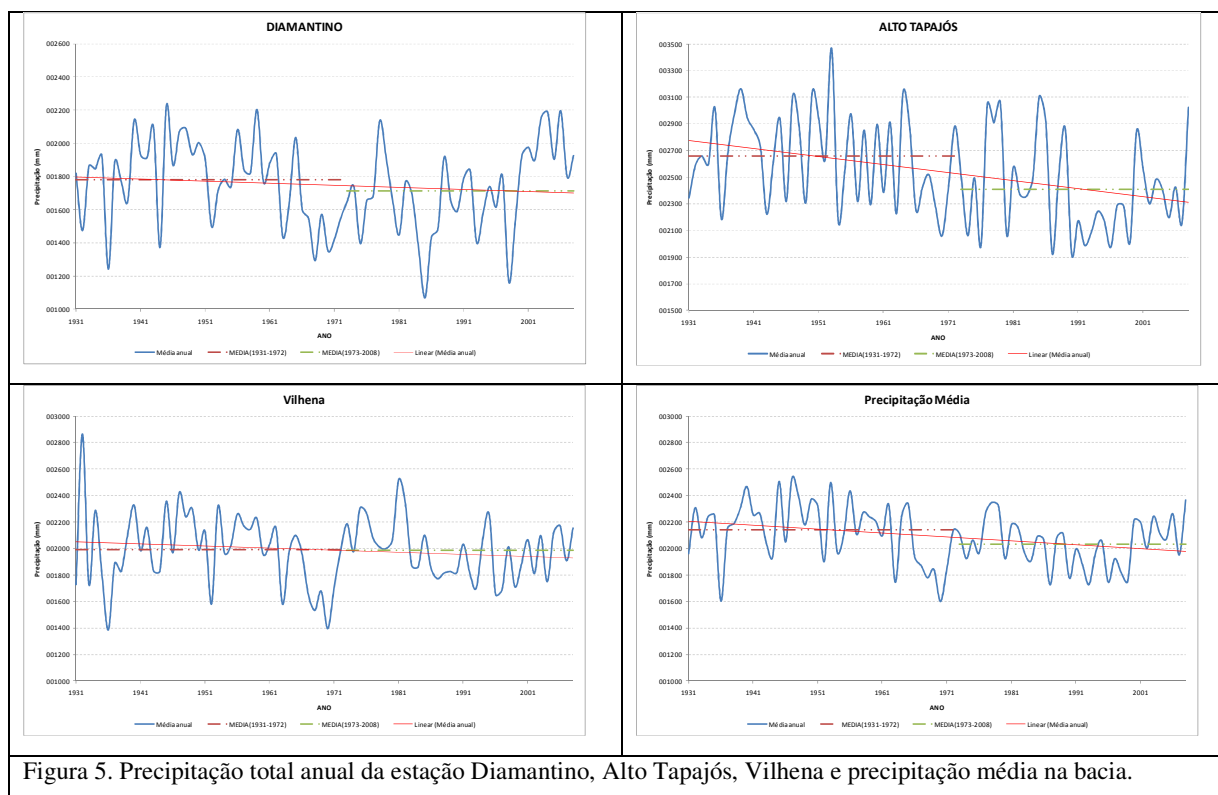


Figura 5. Precipitação total anual da estação Diamantino, Alto Tapajós, Vilhena e precipitação média na bacia.

Tabela 4 – Testes estatísticos de tendência, mudança abrupta (média, mediana, variância) e independência para as precipitações totais anuais das estações analisadas.

DIAMANTINO			
Testes Estatísticos	TOTAL		
	ET	VC	R
Mann-Kendall	-0,923	1,645	NS
Spearman's Rho	-0,964	1,645	NS
Linear regression	-0,955	1,668	NS
Cusum	14,000	12,011	S (0,05)
Cumulative deviation	1,444	1,281	S (0,05)
Worsley likelihood	3,186	3,159	S (0,05)
Rank Sum	-1,108	1,645	NS
Student's t	1,111	1,667	NS
Median Crossing	2,849	2,576	S (0,01)
Turning Point	-0,453	1,645	NS
Rank Difference	-2,991	2,576	S (0,01)
Auto Correlation	2,870	2,576	S (0,01)
Teste F	0,779	0,100	NS

ALTO TAPAJÓS			
Testes Estatísticos	TOTAL		
	ET	VC	R
Mann-Kendall	-3,214	2,576	S (0,01)
Spearman's Rho	-3,377	2,576	S (0,01)
Linear regression	-3,459	2,649	S (0,01)
Cusum	15,000	14,396	S (0,01)
Cumulative deviation	1,797	1,537	S (0,01)
Worsley likelihood	3,909	3,790	S (0,01)
Rank Sum	-3,012	2,576	S (0,01)
Student's t	2,980	2,648	S (0,01)
Median Crossing	0,342	1,645	NS
Turning Point	0,362	1,645	NS
Rank Difference	-0,748	1,645	NS
Auto Correlation	0,812	1,645	NS
Teste F	0,764	0,100	NS

VILHENA			
Testes Estatísticos	TOTAL		
	ET	VC	R
Mann-Kendall	-1,092	1,645	NS
Spearman's Rho	-1,119	1,645	NS
Linear regression	-1,207	1,668	NS
Cusum	6,000	10,775	NS
Cumulative deviation	1,038	1,157	NS
Worsley likelihood	2,144	2,870	NS
Rank Sum	-0,105	1,645	NS
Student's t	0,027	1,667	NS
Median Crossing	0,114	1,645	NS
Turning Point	0,362	1,645	NS
Rank Difference	-1,260	1,645	NS
Auto Correlation	1,178	1,645	NS
Teste F	0,031	0,050	S (0,05)

PRECIPITAÇÃO MÉDIA			
Testes Estatísticos	TOTAL		
	ET	VC	R
Mann-Kendall	-2,649	2,576	S (0,01)
Spearman's Rho	-2,741	2,576	S (0,01)
Linear regression	-2,793	2,649	S (0,01)
Cusum	15,000	14,396	S (0,01)
Cumulative deviation	1,919	1,537	S (0,01)
Worsley likelihood	4,234	3,790	S (0,01)
Rank Sum	-2,250	1,960	S (0,05)
Student's t	2,126	1,994	S (0,05)
Median Crossing	1,254	1,645	NS
Turning Point	-0,181	1,645	NS
Rank Difference	-2,038	1,960	S (0,05)
Auto Correlation	1,905	1,645	S (0,1)
Teste F	0,091	0,100	S (0,1)

Tabela 5 – Testes estatísticos de tendência, mudança abrupta (média, mediana, variância) e independência para as precipitações médias mensais.

PRECIPITAÇÃO MÉDIA									
Testes Estatísticos	JAN			FEV			MAR		
	ET	VC	R	ET	VC	R	ET	VC	R
Mann-Kendall	-2,464	1,960	S (0,05)	-1,911	1,645	S (0,1)	-1,268	1,645	NS
Spearman's Rho	-2,439	1,960	S (0,05)	-1,680	1,645	S (0,1)	-1,572	1,645	NS
Linear regression	-2,798	2,649	S (0,01)	-1,614	1,668	NS	-1,857	1,668	S (0,1)
Cusum	12,000	10,775	S (0,1)	11,000	10,775	S (0,1)	13,000	12,011	S (0,05)
Cumulative deviation	1,697	1,537	S (0,01)	1,112	1,157	N	1,777	1,537	S (0,01)
Worsley likelihood	3,699	3,159	S (0,05)	2,312	2,870	NS	3,931	3,790	S (0,01)
Rank Sum	-1,408	1,645	NS	-1,869	1,645	S (0,1)	-1,549	1,645	NS
Student's t	1,680	1,667	S (0,1)	1,706	1,667	S (0,1)	1,864	1,667	S (0,1)
Median Crossing	1,254	1,645	NS	1,026	1,645	NS	1,026	1,645	NS
Turning Point	-0,181	1,645	NS	0,362	1,645	NS	0,362	1,645	NS
Rank Difference	-1,112	1,645	NS	-0,986	1,645	NS	-0,544	1,645	NS
Auto Correlation	1,411	1,645	NS	0,729	1,645	NS	0,775	1,645	NS
Teste F	0,175	0,100	NS	0,208	0,100	NS	0,015	0,050	S (0,05)

PRECIPITAÇÃO MÉDIA									
Testes Estatísticos	ABR			MAI			JUN		
	ET	VC	R	ET	VC	R	ET	VC	R
Mann-Kendall	-0,246	1,645	NS	1,696	1,645	S (0,1)	0,902	1,645	NS
Spearman's Rho	-0,242	1,645	NS	1,653	1,645	S (0,1)	1,087	1,645	NS
Linear regression	-0,439	1,668	N	1,026	1,668	NS	0,949	1,668	NS
Cusum	3,000	10,775	NS	8,000	10,775	NS	6,000	10,775	NS
Cumulative deviation	0,552	1,157	NS	0,767	1,157	N	0,748	1,157	N
Worsley likelihood	1,375	2,870	NS	2,026	2,870	NS	1,499	2,870	NS
Rank Sum	0,125	1,645	NS	1,619	1,645	NS	1,128	1,645	NS
Student's t	0,028	1,667	NS	-0,999	1,667	NS	-1,321	1,667	NS
Median Crossing	3,305	2,576	S (0,01)	0,570	1,645	NS	0,342	1,645	NS
Turning Point	1,721	1,645	S (0,1)	-0,725	1,645	NS	-0,453	1,645	NS
Rank Difference	2,575	1,960	S (0,05)	0,612	1,645	NS	0,556	1,645	NS
Auto Correlation	-1,696	1,645	S (0,1)	-0,920	1,645	NS	-0,828	1,645	NS
Teste F	0,741	0,100	NS	0,020	0,050	S (0,05)	0,021	0,050	S (0,05)

PRECIPITAÇÃO MÉDIA									
Testes Estatísticos	JUL			AGO			SET		
	ET	VC	R	ET	VC	R	ET	VC	R
Mann-Kendall	2,024	1,960	S (0,05)	2,058	1,960	S (0,05)	-1,234	1,645	NS
Spearman's Rho	2,372	1,960	S (0,05)	2,098	1,960	S (0,05)	-1,231	1,645	NS
Linear regression	1,125	1,668	NS	1,358	1,668	NS	-1,397	1,668	NS
Cusum	9,000	10,775	NS	15,000	14,396	S (0,01)	6,000	10,775	NS
Cumulative deviation	0,923	1,157	N	1,375	1,281	S (0,05)	0,945	1,157	NS
Worsley likelihood	1,868	2,870	NS	2,860	2,870	NS	2,279	2,870	NS
Rank Sum	1,990	1,960	S (0,05)	2,661	2,576	S (0,01)	-0,326	1,645	NS
Student's t	-0,992	1,667	NS	-2,062	1,994	S (0,05)	0,677	1,667	NS
Median Crossing	1,026	1,645	NS	1,709	1,645	S (0,1)	0,342	1,645	NS
Turning Point	-0,996	1,645	NS	1,449	1,645	NS	-0,181	1,645	NS
Rank Difference	-1,246	1,645	NS	-1,344	1,645	NS	0,647	1,645	NS
Auto Correlation	0,329	1,645	NS	0,775	1,645	NS	-1,144	1,645	NS
Teste F	0,680	0,100	NS	0,689	0,100	NS	0,444	0,100	NS

PRECIPITAÇÃO MÉDIA									
Testes Estatísticos	OUT			NOV			DEZ		
	ET	VC	R	ET	VC	R	ET	VC	R
Mann-Kendall	-2,084	1,960	S (0,05)	-2,058	1,960	S (0,05)	-0,155	1,645	NS
Spearman's Rho	-2,053	1,960	S (0,05)	-2,080	1,960	S (0,05)	-0,053	1,645	NS
Linear regression	-2,051	1,995	S (0,05)	-2,353	1,995	S (0,05)	-0,254	1,668	N
Cusum	11,000	10,775	S (0,1)	11,000	10,775	S (0,1)	6,000	10,775	NS
Cumulative deviation	1,132	1,157	NS	1,681	1,537	S (0,01)	0,957	1,157	
Worsley likelihood	2,729	2,870	NS	3,610	3,159	S (0,05)	2,028	2,870	NS
Rank Sum	-2,030	1,960	S (0,05)	-2,190	1,960	S (0,05)	-0,226	1,645	NS
Student's t	1,895	1,667	S (0,1)	2,369	1,994	S (0,05)	0,251	1,667	NS
Median Crossing	0,798	1,645	NS	1,481	1,645	NS	0,798	1,645	NS
Turning Point	-0,725	1,645	NS	-1,540	1,645	NS	-2,898	2,576	S (0,01)
Rank Difference	-1,288	1,645	NS	-1,070	1,645	NS	-2,697	2,576	S (0,01)
Auto Correlation	1,394	1,645	NS	0,626	1,645	NS	2,866	2,576	S (0,01)
Teste F	0,026	0,050	S (0,05)	0,223	0,100	NS	0,037	0,050	S (0,05)

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como meta avaliar as características estatísticas anuais, sazonais, mínimas e máximas das séries de vazões médias mensais naturais afluentes ao local da usina hidroelétrica (AHE) São Luiz do Tapajós, localizada na bacia do rio Tapajós, de modo a identificar eventuais comportamentos não estacionários. Observando os resultados apresentados conclui-se que a série de vazão anual apresenta evidências de características não estacionárias, no entanto, conforme apontado por Damásio *et al* (2011) essas evidências podem estar relacionadas as flutuações naturais oriundas da dependência temporal inerente a região.

Analisando os resultados das séries de vazões sazonais e de precipitação consideradas no estudo como representativas da região, verificaram-se também comportamentos não estacionários, o que para estas séries, principalmente na de precipitação, a hipótese de independência é mais provável.

Assim mesmo admitindo que as evidências do comportamento não estacionário sejam apenas impressões resultantes da dependência temporal, outras variáveis importantes no processo de formação da vazões indicam que outras causas podem também ser as responsáveis pela diferença estatística apresentada. Deste modo, não é possível descartar a hipótese de que as séries de vazões

médias anuais analisadas apresentam comportamento não estacionário, possivelmente resultante da diminuição da precipitação total anual verificada e estimada nas bacias afluentes ao longo do período.

Mesmo não sendo possível afirmar com certeza se esse comportamento persistirá no futuro, visto que poderia estar relacionado com flutuações naturais de longo período, é de fundamental importância o acompanhamento da evolução das séries de precipitações e de vazões de estações e usinas e na bacia do rio Tapajós, bem como a realização de estudos detalhados sobre os desdobramentos na destinação dos usos, nas outorgas e nas obras que porventura estejam ou sejam planejadas para esse rio.

6 BIBLIOGRAFIA

CNEC. (2011). *ESTUDO DE VIABILIDADE DO AHE SÃO LUIZ DO TAPAJÓS - NOTA TÉCNICA – ESTUDOS DE VAZÕES MÉDIAS E MÁXIMAS*. NE268-GE-000-NT-0004.

DAMÁZIO, J. M.; COSTA, F.S.; MACEIRA, M. E. P; FALCAO, R. L; NEVES, A. R; *TESTES DE ESTACIONARIEDADE PARA SÉRIES TEMPORAIS COM DEPENDÊNCIA TEMPORAL. APLICAÇÃO À SÉRIE DE VAZÕES ANUAIS DO FUTURO APROVEITAMENTO HIDROELÉTRICO SÃO LUIZ DO TAPAJÓS DOS ESTUDOS DO INVENTÁRIO*. (2011). Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Maceió.

DETZEL, D. H. M; BESSA, M. R; VALLEJOS, C. A. V; SANTOS, A. B; THOMSEN, L. S; MINE, M. R. M; BLOOT, M. L; ESTRÓCIO, J. P. (2011). *Estacionariedade das Afluências às Usinas Hidrelétricas*. RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 16 n.3, pp. 95 – 111.

MERZ, B.; VOROGUSHYN, S.; UHLEMANN, S.; DELGADO, J.; HUNDECHA, Y. (2012). *More efforts and scientific rigour are needed to attribute trends in flood time series*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 16, pp. 1379–1387.

QUEIROGA, Y. G. de A. *Estudo e Modelagem dos Erros de Simulação Hidrológica e sua Assimilação na Previsão de Vazões de Curto-Prazo – O Caso da Bacia do Rio Grande na UHE Camargos*. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais, 380 f., 2003.

STAHL, K.; HISDAL, H.; HANNAFORD, J. D.; TALLAKSEN L. M.; VAN LANEN, H. A. J.; SAUQUET, E.; DEMUTH, S.; FENDEKOVA, M.; J'ODAR, J. *Streamflow trends in Europe: evidence from a dataset of near-natural catchments*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 14, pp. 2367–2382.

WCP, WORD CLIMATE PROGRAMME. (2000). *DETECTING TREND AND OTHER CHANGES IN HYDROLOGICAL DATA*. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. Genova, Itália.