

CADERNOS DO IME – Série Estatística

Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ
Rio de Janeiro - RJ - Brasil
ISSN 1413-9022 / v. 30 p. 35 - 51, 2011

TESTES ESTATÍSTICOS DE ESTACIONARIEDADE NO VALOR ESPERADO PARA SÉRIES TEMPORAIS COM DEPENDÊNCIA TEMPORAL SENSÍVEIS A MUDANÇAS GRADUAIS OU ABRUPTAS

Jorge Machado Damázio

UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro
CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
damazio@ime.uerj.br

Fernanda da Serra Costa

UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro
CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
fcosta@ime.uerj.br

Maria Elvira Piñeiro Maceira

UERJ - Universidade do Estado do Rio de Janeiro
CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
melvira@ime.uerj.br

Resumo

O artigo apresenta o desenvolvimento de testes estatísticos de verificação de estacionariedade no valor esperado para séries temporais com estrutura de dependência temporal com vistas a distinguir flutuações naturais de mudanças de valor esperado suaves ou abruptas. Os testes são aplicados à série de 75 anos de aflúncias anuais ao aproveitamento hidroelétrico de São Luiz do Tapajós fornecida pelos estudos hidrológicos dos Estudos de Inventário da Bacia dos Rios Tapajós e Jimanxim, localizadas na região Amazônica.

Palavras-chave: *Testes Estatísticos, Estacionariedade de Séries de Vazões, Estudos Hidrológicos, Extensão de Séries de Vazões.*

1. Introdução

A capacidade de se obter caracterizações razoavelmente precisas das flutuações temporais de médio e longo prazo de variáveis climáticas a partir de registros de medições cobrindo períodos de tempo limitados é um importante desafio estatístico presente nas avaliações de recursos naturais. Exemplos são os estudos de potenciais eólicos e hidráulicos para a geração de energia elétrica, dependentes respectivamente de séries de medições de vento e de vazões fluviais. Estes tipos de estudos idealmente devem se apoiar em registros que cubram períodos de tempo suficientemente longos, capazes de caracterizar os regimes climáticos (eólicos ou hidrológicos) vigentes nos locais dos aproveitamentos. Quando a disponibilidade de registros abrange apenas curtos períodos de medição, não ultrapassando uma década, a incerteza resultante é usualmente o maior componente das incertezas do planejamento na capacidade de geração dessas plantas. Nestas situações, no caso das vazões fluviais, os estudos procuram estender o registro disponível através de técnicas de transladação espacial de dados de estações fluviométricas próximas com longos registros, uso de modelagem chuva-vazão fazendo uso de medições de precipitação de estações pluviométricas com longos registros, e uso de dados de estudos de re-análise de clima. Através destas técnicas obtém-se uma série temporal de vazões estendida, abrangendo um longo período, que passa a ser considerada como se fosse a série medida e cujas características estocásticas passam a orientar os estudos energéticos do local.

Dois problemas estatísticos podem ser encontrados no uso de longos registros obtidos por extensão. O primeiro problema, próprio de qualquer registro longo de variável climática, independente se o registro foi obtido por extensão ou se proveniente puramente de medições, refere-se a que se, por um lado, registros longos possibilitam maior precisão nas inferências quanto ao comportamento das flutuações de longo prazo, por outro lado, permitem que seja levantada a hipótese de que estas flutuações passem a ser consideradas como evidências de mudanças em curso nos regimes eólicos ou hidrológicos nas regiões dos aproveitamentos. O segundo problema ocorre quando a extensão abrange um período de tempo da mesma ordem de grandeza do período abrangido pelas medições. Neste caso é natural que se procure analisar se o trecho estendido pode ser considerado como representativo das vazões ou ventos que ocorreram no local, verificando-se se as diferenças entre as características das duas

partes da série (parte estendida e parte medida) são apenas flutuações naturais do processo ou manifestação de uma improvável mudança abrupta do regime hidrológico ou eólico coincidente com o início das medições.

No caso de plantas hidroelétricas, a distinção entre mudanças (suaves ou abruptas) no regime hidrológico e flutuações naturais de longo prazo não é simples, já que o processo natural de formação das vazões fluviais incorpora à estas séries uma estrutura de dependência temporal (Hipel e McLeod, 1994) cuja flutuação natural pode ser facilmente confundida com as hipóteses alternativas (mudança suave ou abrupta no regime hidrológico). Neste caso, a aplicação de testes estatísticos clássicos, onde o pressuposto é que as observações nas amostras são resultado de sorteios independentes, passam a apresentar uma maior probabilidade de identificar erroneamente como mudança de regime hidrológico uma flutuação natural de processos com dependência temporal embutida. A influência da estrutura de dependência temporal na capacidade do teste clássico de Mann-Whitney de distinguir mudanças de flutuações naturais foi analisada por Yue e Wang, 2002, enquanto que Hirsch *et al.*, 1991 apresenta alguns testes estatísticos que consideram a estrutura de dependência temporal para identificação de tendência em séries de qualidade da água.

Neste artigo apresenta-se o desenvolvimento de testes estatísticos que permitem distinguir flutuações naturais de séries temporais com estrutura de dependência temporal de mudanças suaves ou abruptas de valor esperado. Os testes são aplicados à série de aflúências anuais ao aproveitamento hidroelétrico (AH) de São Luiz do Tapajós fornecida pelos estudos hidrológicos dos Estudos de Inventário da Bacia dos Rios Tapajós e Jimanxim (ELETRONORTE *et al.*, 2008).

2. Testes de Estacionariedade no Valor Esperado para Séries Temporais com Dependência Temporal

A distinção entre flutuações naturais e mudanças de valor esperado em séries temporais pode ser efetuada a partir da aplicação de testes estatísticos para verificação da hipótese, comumente utilizada como pressuposto em diversos modelos estocásticos, referida como estacionariedade da série. Se uma série temporal é estacionária, suas características estatísticas são invariantes no tempo. Em particular, a estacionariedade de primeira ordem indica que o valor esperado dos valores da série é invariante temporalmente. Os testes apresentados neste trabalho consideram que:

- Uma série temporal pode conter uma transição onde observa-se uma mudança do valor esperado de um patamar para outro, podendo a mudança ser abrupta ou suave.
- Flutuações naturais da série temporal podem ser confundidas com mudanças de patamar de valor esperado.
- Quanto maior o grau de dependência temporal da série maior a probabilidade da confusão.

A mudança de patamar de valor esperado durante uma transição será modelada através da função:

$$y(t) = K + \alpha \left[2F\left(\frac{t-a}{L} + 0,5|p\right) - 1 \right] \quad (1)$$

onde:

K – nível médio da transição

$|\alpha|$ – metade do tamanho da mudança de patamar da transição

a – centro do período da transição

L – comprimento da transição

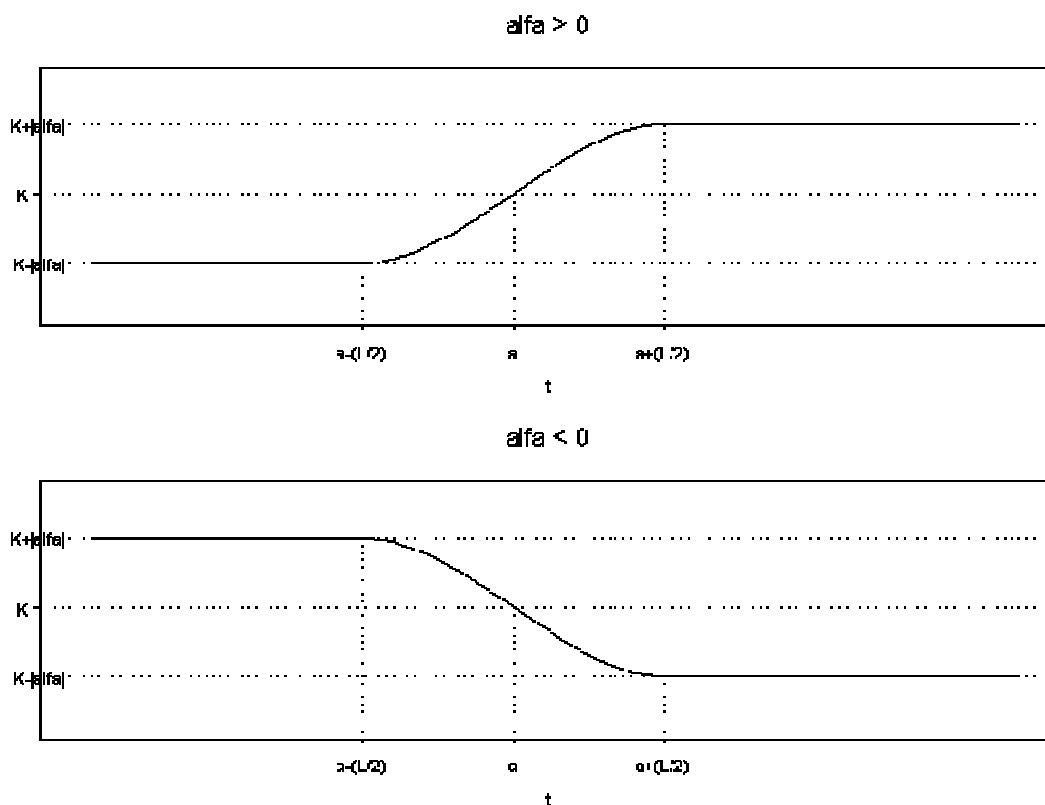
p - parâmetro de forma da transição

$F(t|p)$ - é a função acumulada da distribuição Beta padrão normalizada simétrica cuja densidade é:

$$f(t|p) = \frac{1}{B(p, p)} t^{p-1} (1-t)^{p-1} \quad (2)$$

A figura 1 apresenta a forma da função em (1) para os casos de α positivo ou negativo. Pode-se observar para α positivo que a função assume o valor de um patamar inferior $K-\alpha$ para instantes anteriores ao instante $a-L/2$. No instante $a-L/2$, inicia-se uma transição para o patamar superior $K+\alpha$. A transição se estende até o instante $a+L/2$, assumindo a função neste período a forma S governada pelo parâmetro p . Após a transição, a função se mantém no valor do patamar superior $K+\alpha$.

Figura 1 – Função adotada para modelar mudança de patamar de valor esperado



A função em (1) pode servir para modelar mudanças abruptas ou graduais de patamar de valor esperado. No caso de mudanças abruptas, o parâmetro L é fixado em 1 e o parâmetro a no valor do ano da ocorrência da mudança menos 0,5.

Tanto o teste orientado à detecção de mudança gradual, quanto o teste de mudança orientado à detecção de mudança abrupta baseiam-se na verificação da significância de estimativas do parâmetro α .

2.1. Teste de Mudança Gradual de Patamar de Valor Esperado

No teste de mudança gradual o procedimento consiste em estimar os parâmetros K , α , a , L e p e verificar a hipótese nula $\alpha = 0$. Para a estimação adota-se o método de mínimos quadrados em duas fases. Na primeira fase estima-se os parâmetros (a, L, p) por procura exaustiva, utilizando em substituição aos valores da série uma descrição de tendências observadas na série através de uma suavização por regressões locais. Na segunda fase, fixados os parâmetros (a, L, p) obtidos na fase 1, estima-se K e α por regressão linear utilizando os valores da série.

Seja $x(t)$, $t=t_1, t_n$ a série observada de n valores anuais, sendo t_1 o ano inicial e t_n o ano final.

A fase 1 é composta de dois passos:

Passo 1.1- Utilizando um algoritmo de suavização robusta por regressões lineares locais, (Cleveland, 1979), obtem-se a série suavizada $x_s(t)$, $t=t_1, t_n$.

Passo 1.2- Implementa-se um programa para percorrer um paralelepípedo no R^3 para os parâmetros (a, L, p) . Em cada ponto do paralelepípedo:

a) calcula-se os valores de uma variável auxiliar $z_s(t)$ para t entre t_1 e t_n através de:

$$z_s(t) = 2F\left(\frac{t-a}{L} + 0,5|p\right) - 1 \quad (3)$$

b) exprimindo a série suavizada como:

$$x_s(t) = K + \alpha z_s(t) + \varepsilon(t) \quad (4)$$

onde $\varepsilon(t)$ é um termo aleatório, estima-se K e α por regressão linear clássica dos valores da série suavizada $x_s(t)$ nos valores de $z_s(t)$.

c) calcula-se o valor da função objetivo por:

$$f(K, \alpha, a, L, p) = \sum_{t=t_1}^{t_n} \left(x_s(t) - K - \alpha \left[2F\left(\frac{t-a}{L} + 0,5|p\right) - 1 \right] \right)^2 \quad (5)$$

O resultado da fase 1 é o conjunto de parametros (K, α, a, L, p) que minimiza (5).

A fase 2 também é composta de dois passos:

Passo 2.1- Fixa-se os valores ótimos de (a, L, p) obtidos na fase 1, e calcula-se os valores de uma variável auxiliar $z(t)$ para t entre t_1 e t_n através de:

$$z(t) = 2F\left(\frac{t-a}{L} + 0,5|p\right) - 1 \quad (6)$$

Passo 2.2- Exprimindo as observações como

$$x(t) = K + \alpha z(t) + \varepsilon(t) \quad (7)$$

onde $\varepsilon(t)$ é um termo aleatório, estima-se K e α por regressão linear clássica das observações da série $x(t)$ nos valores de $z(t)$. Nesta fase, além da estimativa de K e α , obtém-se a estatística t correspondente ao parâmetro α , dada pela razão entre a estimativa e o seu erro padrão.

A teoria clássica de regressão linear fornece um teste de significância para α usando valores críticos obtidos da distribuição t-student com $n-1$ graus de liberdade. Este teste é aproximadamente válido para o caso de independência temporal dos termos aleatórios em (7). Para se considerar a dependência temporal a distribuição da estatística t é obtida por simulação de séries sintéticas utilizando um modelo de série temporal auto-regressivo ajustado à série analisada. Para cada série sintética gerada, aplica-se o procedimentos das fases 1 e 2, obtendo-se da regressão linear da fase 2 o valor da estatística t correspondente ao parâmetro α . Com estes valores constrói-se a distribuição empírica da estatística $|t|$.

2.2. Teste de Mudança Abrupta de Patamar de Valor Esperado ou Teste de Degrau

No caso do teste orientado para verificar mudanças abruptas (Teste de Degrau) a fase 1 reduz-se a fixar os valores dos parâmetros (a, L, p) em: a = ano do início das medições (ano do degrau) -0.5 , $L = 1$ e $p=1$. Parte-se então para a fase 2, onde calcula-se os valores da variável auxiliar $z(t)$ através de (6) e procede-se à regressão entre $x(t)$ e $z(t)$ para se obter as estimativas dos parâmetros (K, α) e da estatística t correspondente ao parâmetro α . Assim como no caso do teste de mudança gradual, para se considerar a dependência temporal a distribuição da estatística $|t|$ é obtida por simulação de séries sintéticas utilizando um modelo de série temporal auto-regressivo ajustado à série analisada.

3. Aplicação

No caso brasileiro, para as usinas hidroelétricas que operam no âmbito do Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN), a caracterização estatística adequada das flutuações temporais de médio e longo prazo das afluições é fundamental para que os cenários de afluições futuras utilizados nos modelos da cadeia de otimização da operação energética das usinas do SIN (Maceira et al., 2002) reproduzam, na intensidade e frequência adequada, possíveis sequências de maior ou de menor afluições. O uso de registros fluviométricos de curta duração neste aspecto é especialmente danoso, já que fica impossibilitada a caracterização estatística de flutuações de longo prazo.

Seguindo a orientação de procurar o uso de registros hidrológicos longos como base de apoio, a prática do planejamento da expansão do setor elétrico brasileiro tomou

como padrão usual que estudos hidrológicos, realizado na etapa dos Estudos de Viabilidade das usinas hidroelétricas, disponibilizem para os estudos energéticos, tanto da fase de planejamento da expansão, quanto da fase de planejamento da operação, séries de afluências médias mensais a partir de janeiro de 1931. O padrão de disponibilizar séries a partir de 1931 coloca um desafio a ser enfrentado nos estudos hidrológicos, já que, em todo o país são relativamente poucas as estações fluviométricas cuja operação foi iniciada antes de 1931. As metodologias mais comumente utilizadas para suplantar o problema são a extensão do registro por transladação de dados de estações fluviométricas de longo registro na mesma rede fluvial, ou uso de dados de estações pluviométricas de longo registro na região através de modelos de chuva-vazão ou através de regressão. Desta forma obtém-se uma série estendida até janeiro de 1931 cujas flutuações de longo prazo podem ser validadas utilizando os testes apresentados na sessão anterior contra as hipóteses alternativas de mudanças de regime hidrológico suave ou abrupta no ano de início das medições.

Como exemplo do uso dos testes desenvolvidos na sessão anterior, utilizou-se a série de vazões médias mensais entre janeiro de 1931 e dezembro de 2005 no local do AH São Luiz do Tapajós obtida nos estudos de Inventário da bacia dos rios Tapajós e Jimanxim (ELETRONORTE, CNEC e Camargo Corrêa, 2008). Esta série contém um período estendido através de modelo chuva-vazão compreendido entre janeiro de 1931 e dezembro de 1972, sendo o restante oriundo de medições fluviométricas na rede fluvial da bacia. Na figura 2 apresenta-se o gráfico da evolução das vazões médias anuais, os círculos vazios correspondem aos valores do período de 1931 a 1972 e os círculos cheios aos valores do período de 1973 a 2005. As linhas tracejadas correspondem às médias de cada nuvem de pontos, a média das vazões médias anuais do período entre 1931 a 1972 (12.278,6 m³/s) é superior a média das vazões médias anuais do período entre 1973 a 2005 (11.256,3 m³/s). A figura 3 apresenta a função de mudança de patamar de valor esperado em (1) obtida na fase 2 do método de estimação apresentado na sessão anterior e que sugere a hipótese de mudança suave entre dois patamares: um patamar inicial no entorno dos 12700 m³/s até o meio da década de 50, seguido de uma tendência decrescente a partir do meio da década de 50 que, ao final do registro atinge um patamar no entorno dos 10600 m³/s.

Figura 2 – Vazões médias anuais no AH São Luiz do Tapajós

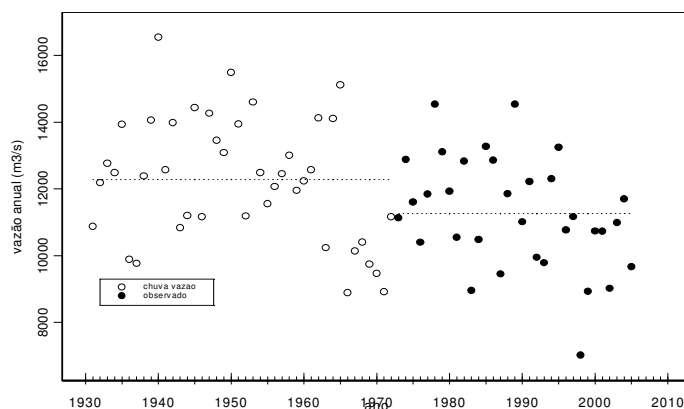
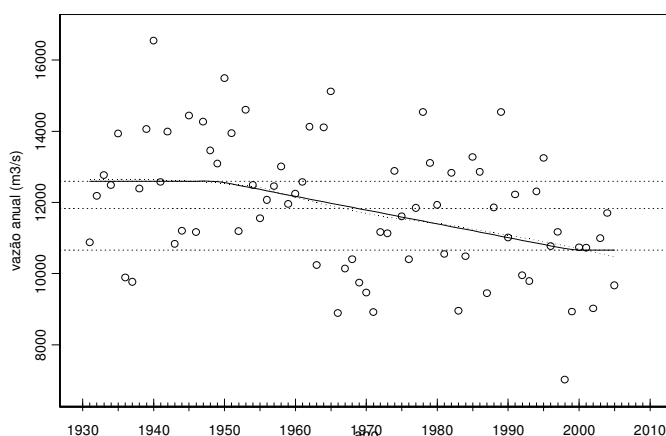


Figura 3- Vazões médias anuais no AH São Luiz do Tapajós com curva de mudança suave de patamar de valor esperado



A análise da série de vazões médias anuais através das figuras 2 e 3 leva à três possíveis hipóteses para as flutuações da série:

H1) Série flutua entorno de patamar constante 11.828 m³/s

H2) Série flutua entorno de dois patamares distintos (primeiro patamar de 12.278,6 m³/s e segundo de 11.256 m³/s), degrau em 1973.

H3) Série flutua entorno de dois patamares distintos (primeiro patamar no entorno de 12.700 m³/s e segundo, no entorno de 10.600 m³/s) com mudança suave ocorrendo do meio da década de 50 até o final do registro.

3.1. Aplicação de Teste t clássico de igualdade de médias

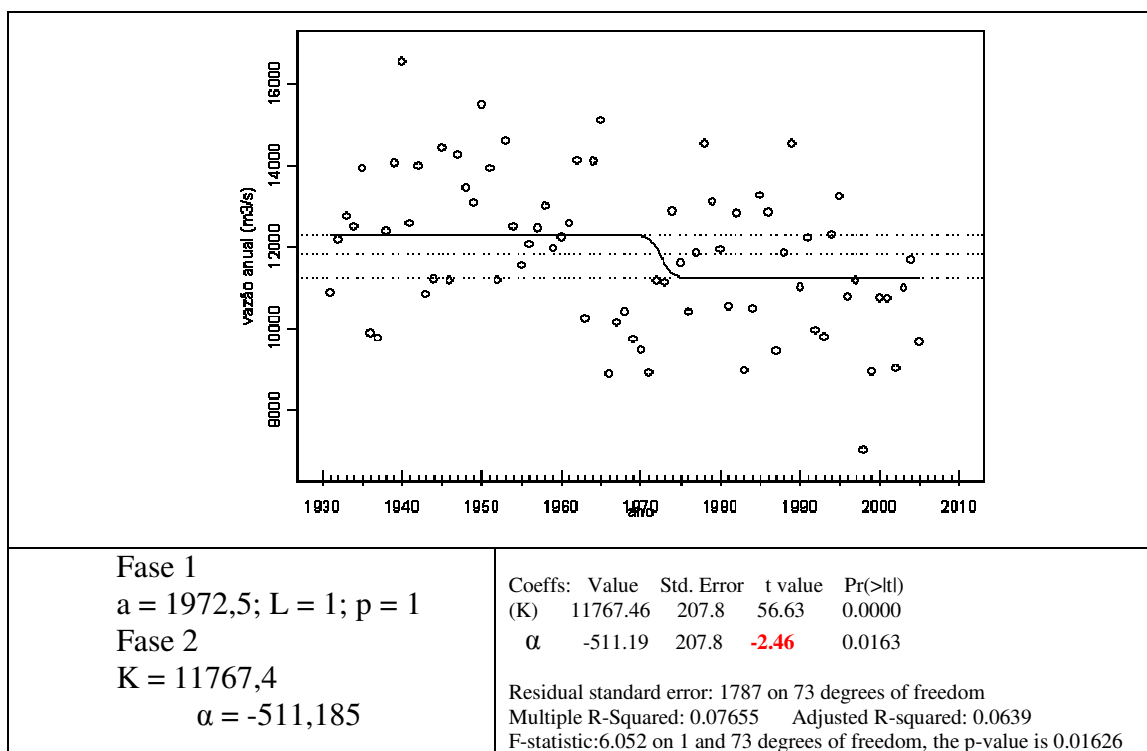
Neste caso a hipótese H1: série flutua entorno de patamar constante 11.828 m³/s é considerada como hipótese nula e, a hipótese H2: série flutua entorno de dois patamares distintos (primeiro patamar de 12.278,6 m³/s e segundo de 11.256 m³/s),

degrau em 1973, é considerada como hipótese alternativa e, aplicando-se o teste t clássico de igualdade de médias (mais especificamente o teste Welch Modified Two-Sample t-Test) obtém-se para a estatística do teste o valor $t = 2.4918$, com número de graus de liberdade = 71.62 e $p\text{-value} = 0.015$.

3.2. Cálculo da Estatística do Teste de Degrau

No cálculo da estatística do Teste de Degrau descrito no item 2 para as séries de vazões médias anuais do AH São Luiz do Tapajós, na fase 1 fixou-se o parâmetro a em 1972,5. A figura 4 apresenta as estimativas dos parâmetros e os resultados da regressão linear da segunda fase e o gráfico da função. O valor obtido na fase 2 para a estatística t do parâmetro α foi -2,46.

Figura 4 – Ajuste da Função Degrau à série de vazões médias anuais do AH São Luiz do Tapajós

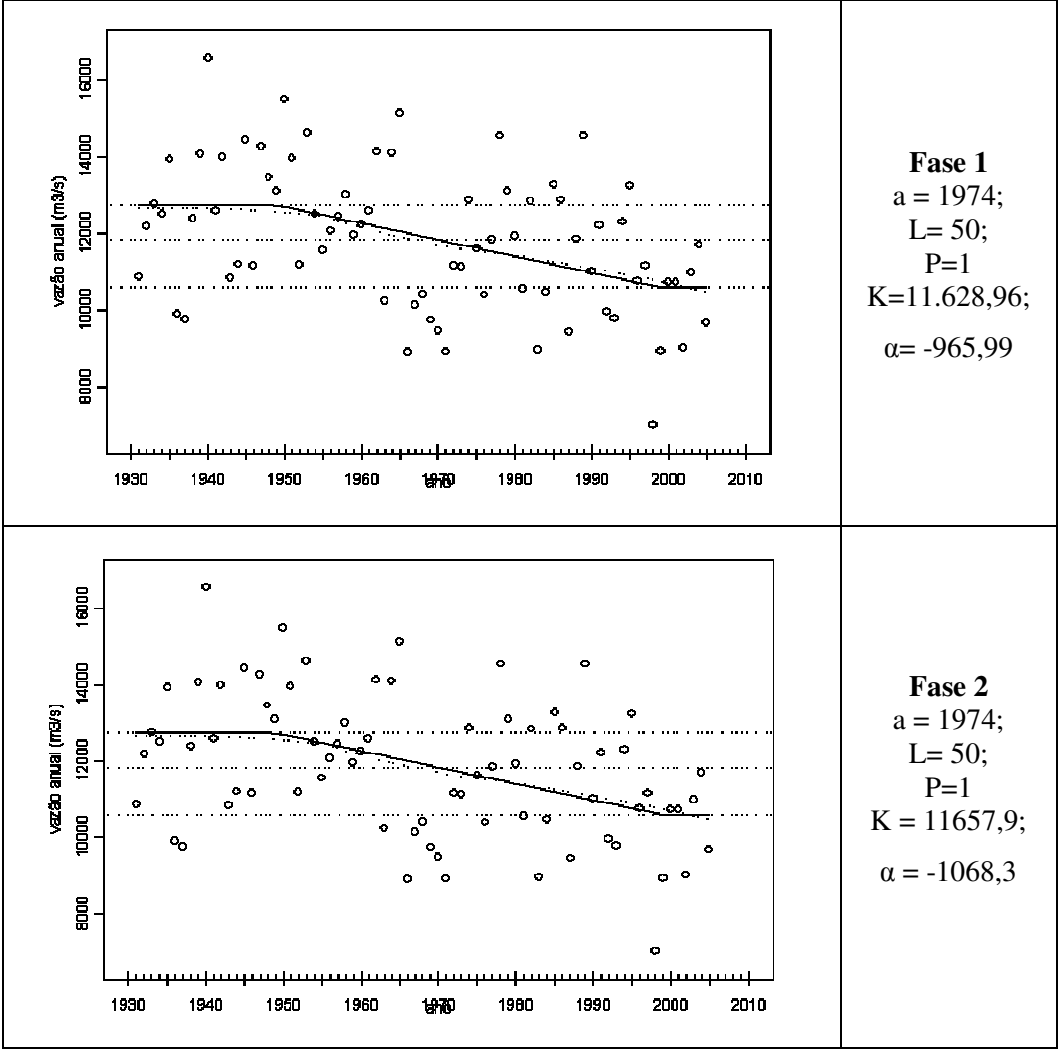


3.3. Aplicação do Teste de Mudança Gradual de Patamar de Valor Esperado

No cálculo da estatística do Teste de Mudança Gradual de Patamar de Valor Esperado, descrito no item 2, para a série de vazões médias anuais do AH São Luiz do Tapajós, adotou-se na fase 1 um paralelepípedo para (a, L, p) com a entre 1948 e 1988, L entre 30 e 50, p entre 1 e 50. Para percorrer o paralelepípedo, adotou-se passo 1 para a , percorreu-se três valores de L (30, 40 e 50) e quatro valores para p (1, 2, 10 e 50). A

figura 5 apresenta as funções ajustadas nas fases 1 e 2. O quadro 3 apresenta o resultado do ajuste da fase 2. O valor obtido para a estatística t do parâmetro α foi 4,0006.

Figura 5– Ajuste da Função Mudança Gradual de Patamar de Valor Esperado à série de vazões médias anuais do AH São Luiz do Tapajós



Call: lm(formula = obs ~ aux)

Residuals:

Min 1Q Median 3Q Max

-3614 -1292 37.86 1272 3815

Coefficients:

Value Std. Error t value Pr(>|t|)

(Intercept) 11657.8785 199.0591 58.5649 0.0000

aux -1068.2596 267.0231 -4.0006 0.0001

Residual standard error: 1684 on 73 degrees of freedom

Multiple R-Squared: 0.1798 Adjusted R-squared: 0.1686

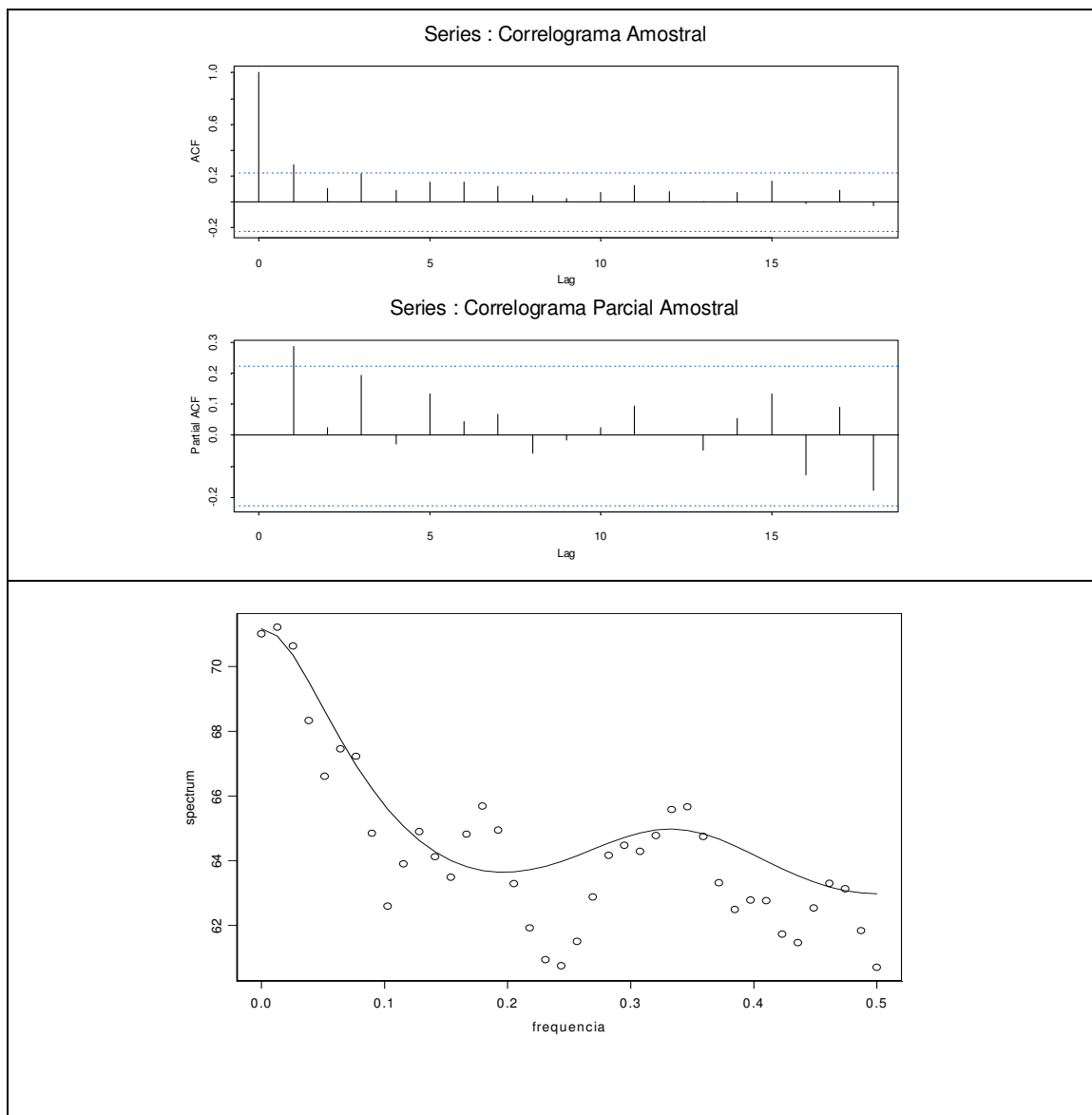
F-statistic: 16.01 on 1 and 73 degrees of freedom, the p-value is 0.0001499

Quadro 3 – Resultado do ajuste da fase 2 da Função Mudança de Patamar à série de vazões médias anuais do AH São Luiz do Tapajós

3.4. Construção das distribuições empíricas de l_t

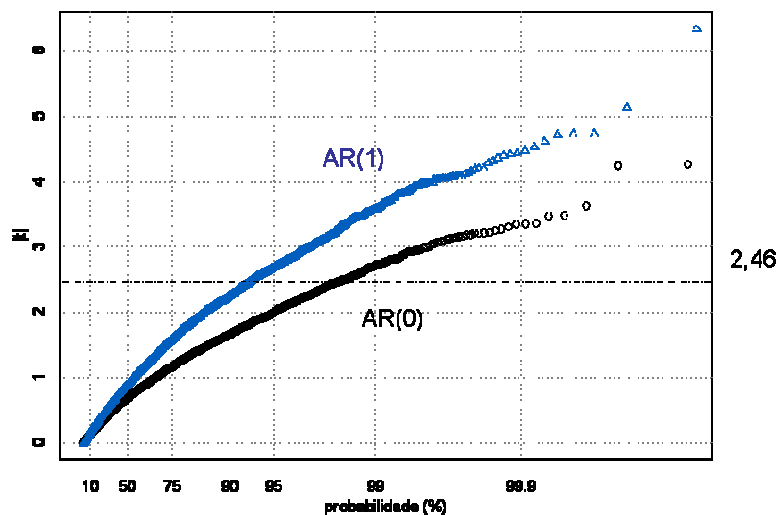
As distribuições das estatísticas l_t dos testes de degrau e de mudança gradual de patamar de valor esperado considerando a dependência temporal foram obtidas através simulação com 7.000 séries sintéticas. Para a geração das séries sintéticas utilizou-se um modelo autoregressivo. Através dos correlograma e correlograma parcial amostrais da série, apresentados na figura 6, pode-se concluir que o modelo indicado é o autoregressivo de ordem 1. Observar também o bom ajuste do AR(1) no spectrum apresentado na figura 6.

Figura 6 – Correlograma e correlograma parcial amostrais da série de vazões médias anuais do AH São Luiz do Tapajós e Spectrum ajustado do modelo AR(1)



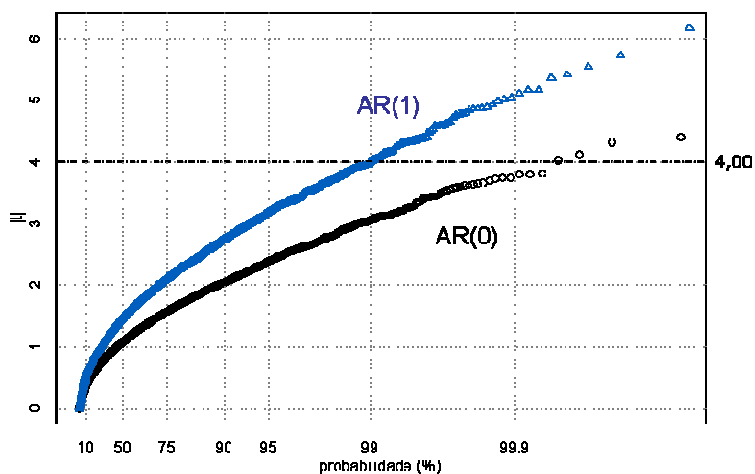
A figura 7 apresenta a distribuição da estatística l_{tl} para o Teste de Degrau obtida na simulação com 7.000 séries gerada pelo modelo AR(1) ajustado a série de vazões médias anuais do AH São Luiz do Tapajós e a mesma distribuição obtida em simulação com 7.000 séries de vazões médias anuais independentes.

Figura 7 – Distribuições de l_{tl} para Teste de Degrau obtidas por simulação considerando valores dependentes, AR(1), e independentes, AR(0).



A figura 8 apresenta a distribuição da estatística l_{tl} para o Teste de Mudança Gradual de Patamar de Valor Esperado obtida na simulação quando se considerou a dependência temporal através do modelo AR(1) ajustado a série de vazões médias anuais do AH São Luiz do Tapajós, e a mesma distribuição obtida em simulação com 7.000 séries de vazões médias anuais independentes.

Figura 8 – Distribuições de l_{tl} para Teste de Mudança Gradual de Patamar de Valor Esperado obtidas por simulação considerando valores dependentes, AR(1), e independentes, AR(0).



No que se refere ao Teste de Degrau pode-se observar que, enquanto o valor da estatística t_l obtida para a série do AH 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.

Em relação ao Teste de Mudança Gradual de Patamar de Valor Esperado pode-se observar que, enquanto o valor da estatística t_l obtida para a série do AH 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.

Nos dois testes observa-se que para o mesmo nível de significância (95% no Teste do Degrau e 99% no teste de Mudança Gradual de Patamar) a aceitação de H_0 é alterada ao se considerar a dependência temporal na distribuição da estatística t_l .

4. Conclusão

Séries com estrutura de dependência temporal costumam se manter por longos períodos acima ou abaixo do nível médio. Entre períodos concomitantes acima e abaixo da média, ou vice-versa, ocorre sempre uma transição, que pode ser também longa. Quando isto ocorre na janela do histórico, as flutuações observadas podem ser confundidas como uma mudança de patamar.

Neste artigo apresentou-se testes desenvolvidos com o objetivo de discriminar mudanças de patamar reais das aparentes que podem estar presentes em séries com estrutura de autocorrelação temporal, podendo-se aplicá-los para testar mudanças de patamar com transição gradual ou abrupta.

Apresentou-se uma aplicação com a série de vazões médias anuais do AH São Luiz do Tapajós fornecidas pelos estudos hidrológicos dos Estudos de Inventário das Bacias dos Rios Tapajós e Jamanxim. Esta série é formada por um trecho inicial, com 42 anos, obtido por técnica de extensão de registro com uso de modelos chuva-vazão, e um segundo trecho, com 33 anos, obtido a partir de medições em estações fluviométricas.

Numa verificação se os dois trechos podem ser considerados como oriundos de uma mesma população, tanto o teste t clássico de diferenças de média, que pressupõem independência temporal, quanto a distribuição de l_{tl} do Teste do Degrau, desenvolvido neste trabalho, obtida pressupondo independência temporal, apontam como significativa a 95% a diferença entre os valores médios dos dois trechos da série. Por outro lado, a distribuição de l_{tl} do Teste do Degrau, quando obtida pressupondo a estrutura de dependência temporal da série (autoregressiva de ordem 1), aponta a mesma diferença como não significativa a 95%.

Aceito o trecho estendido da série como representativo das vazões médias anuais que ocorreram no local de 1931 a 1972, uma análise gráfica da flutuação temporal dos 75 valores permitiu se levantar a hipótese de uma possível mudança de patamar no valor esperado das aflúências no local durante o período. A distribuição l_{tl} do Teste de Mudança Gradual de Patamar de Valor Esperado desenvolvido neste trabalho, obtida pressupondo independência temporal, apontam como significativa a 99% a aparente mudança de patamar da série. Por outro lado, a distribuição de l_{tl} do mesmo teste, quando obtida com a estrutura de dependência temporal da série, aponta a mesma diferença como não significativa a 99%, mostrando que a aparente mudança de patamar na série de vazões anuais do AH São Luiz do Tapajós pode ser considerada como uma manifestação da sua estrutura de dependência temporal.

O exemplo de aplicação, em séries temporais de variáveis que possuem dependência temporal, dos testes apresentados neste trabalho, do Degrau e de Mudança Gradual de Patamar de Valor Esperado, que consideram a dependência temporal das séries, mostrou que a aceitação/rejeição da hipótese nula resultante de testes clássicos nos quais considera-se a independência temporal das variáveis, pode ser alterada quando o teste de hipótese passa a incorporar a dependência temporal da série.

Referências

- CLEVELAND, W. S., Robust Locally Weighted Regression and Smoothing Scatterplots. **Journal of the American Statistical Association** 74, 829-836, 1979.
- ELETRONORTE, CNEC Engenharia S.A. e Camargo Correa 2008, **Estudos de Inventário Hidrelétrico das Bacias dos Rios Tapajós e Jamanxim**, Brasília, Brasil, 2008.
- HIPEL, K. W. e MCLEOD A. I., **Time Series Modelling on Water Resource and Environmental Systems**, Elsevier Science, Amsterdam, The Netherlands, 1994.

HIRSCH, R. M., ALEXANDER, R. B., SMITH, A.B. Selection of Methods for the Detection and Estimation of Trends in Water Quality, **Water Resources Research**, V 27, No 5, 1991

MACEIRA, M. E. P., TERRY, L. A., COSTA, F. S., DAMAZIO, J. M. e MELO, A. C. G, Chain of Optimization Models for Setting the Energy Dispatch and Spot Price in the Brazilian System. In: XIV Power Systems Computation Conference, Seville. **Anais...**Spain, 2002.

MME, **Manual de Inventário Hidroelétrico de Bacias Hidrográficas**, E-Paper, Rio de Janeiro, 2007.

YUE, S e WANG, C. Y., The Influence of Serial Correlation on the Mann-Whitney test for detecting a shift in median, **Advances in Water Resources**, 25, p 325-33, 2000.

STATISTICAL TESTS OF STATIONARITY IN THE EXPECTED VALUE FOR TIME SERIES WITH DEPENDENCE WITH SENSIBILITY FOR GRADUAL AND ABRUPT CHANGES

Abstract

This paper presents the development of statistical tests that distinguish natural fluctuations of time series with autocorrelation structure from smooth or abrupt changes of hydrological regime. The tests are applied to a series with 74 values of annual inflows at São Luis do Tapajós project provided by hydrological studies done in the context of Inventory Studies of the Tapajós and Jimanxim Rivers Basin.

Key-words: *Statistical Tests, Hydrological Studies, Extension of Stream Flow Series.*