

ANÁLISE DE TENDÊNCIA EM EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO NA REGIÃO DO ATLÂNTICO NORDESTE ORIENTAL CONSIDERANDO A MULTIPLICIDADE EM TESTES DE HIPÓTESES

Renato S. Amorim¹, Saulo A. De Souza² & Dirceu S. Reis Jr.³

Resumo – A detecção de mudanças em séries hidrometeorológicas é uma tarefa importante para o planejamento dos recursos hídricos. Os estudos de estacionaridade normalmente não se limitam à análise de uma única estação, mas estendem-se para uma determinada região. Nesses casos, testes de hipóteses são aplicados simultaneamente em todas as estações da região, sendo normalmente reportada a proporção de estações declaradas não-estacionárias. Em geral, se cuidados não forem tomados, existe a possibilidade de superestimar tal proporção devido ao número elevado de detecções falsas, problema conhecido na literatura estatística como multiplicidade. O objetivo deste estudo foi detectar a presença de tendências monotônicas em alguns índices de extremos de precipitação na região hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental considerando a questão da multiplicidade nos testes de hipóteses empregando o conceito de FDR (*False Discovery Rate*). Os resultados mostraram uma forte influência do problema da multiplicidade na quantidade de resultados significativos, sinalizando que a desconsideração dessa questão resulta em interpretações equivocadas sobre a estacionariedade numa região. Foram encontradas fortes evidências da presença de tendências em alguns índices, tais como CDD (crescente), R1(decrecente) e SDII (crescente).

Palavras-Chave – Análise de tendência, índices de extremos, multiplicidade.

TREND ANALYSIS OF RAINFALL EXTREME INDICES IN THE ATLÂNTICO NORDESTE ORIENTAL REGION CONSIDERING THE MULTIPLE TEST ISSUE

Abstract – Detection of changes in hydrometeorological series is an important task for water resources planning. Studies regarding stationarity are seldom limited to a specific gauge, but are very often carried out for a whole region of interest. In these cases, hypothesis tests are applied simultaneously to many gauges in the region so one can report the proportion of gauges that are declared nonstationary. If the analyst is not cautious, results tend to overestimate the proportion nonstationary gauges in the region because of the likely large number of false detections, a problem known in the statistical literature as multiplicity in hypotheses tests. The goal of this paper is to detect monotonic trends in some precipitation extreme indices in the Atlântico Nordeste Oriental region taking into account the multiplicity problem by employing the concept of false discovery rate (FDR). Results show that multiplicity has a strong influence in proportion of gauges declared nonstationary, which means that neglecting such issue in trend analysis may distort the interpretation and analysis of stationarity in a region. Results also show strong evidence of the presence of trend in some extreme indices such as CDD (crescent), R1(decrecent) and SDII (crescent).

¹ Aluno de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da Universidade de Brasília (PTRAH/UnB) e Analista do DNIT. Email: renatosamorim@gmail.com

² Aluno de doutorado do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da Universidade de Brasília (PTRAH/UnB) e Analista da Agência Nacional de Águas. Email: sauloaires@gmail.com

³ Professor Adjunto do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos da Universidade de Brasília (PTRAH/UnB). Email: dirceu.reis@gmail.com.

Keywords – Trend analysis, extremes, multiplicity of hypotheses test

INTRODUÇÃO

A detecção de mudanças em séries hidrometeorológicas é de extrema importância, tanto do ponto de vista prático quanto científico. Sistemas de recursos hídricos são normalmente projetados e operados com base no pressuposto de que as séries hidrológicas são estacionárias. Se esta afirmação se mostra incorreta, os procedimentos existentes, por exemplo para o desenvolvimento de projetos de infraestrutura, deverão ser revistos (ANA, 2013). Os eventos extremos têm recebido notável atenção, tendo em vista os inúmeros estudos que relacionam as mudanças climáticas antropogênicas com mudanças no padrão da distribuição, frequência e intensidade de tais eventos (Asadieh and Krakauer, 2015; IPCC, 2013; Min *et al.*, 2011).

Cada vez mais, os estudos realizados colocam em dúvida a hipótese de estacionaridade. Alguns autores já afirmam que a "estacionaridade está morta" (Milly *et al.*, 2008), embora tenha havido uma discussão importante sobre o tema nos últimos anos (Craig, 2010; Lins e Cohn, 2011; Koutsoniannis e Montanari, 2014; Serinaldi e Kilsby, 2015; Milly *et al.*, 2015). O conceito de estacionaridade implica que as variáveis flutuam aleatoriamente dentro de um envelope de variabilidade imutável. Essas variáveis tem uma função densidade de probabilidade (pdfs) invariante no tempo, cujas propriedades podem ser estimadas a partir de registros disponíveis. A detecção de mudança significativa em características extremas de precipitação pode ser realizada a partir de testes de hipótese estatísticos aplicados às séries temporais dessas variáveis (Koutsoyiannis, 2006; Kundzewicz e Robson, 2004).

Em estudos hidrometeorológicos são aplicados esses testes de hipótese para avaliar a significância estatística de algum tipo de mudança, como por exemplo, a presença de tendência monotônica numa série temporal. Em muitas situações, esses estudos não se limitam à análise de apenas um local específico, mas estendem-se para uma determinada região com a presença de várias estações (Renard *et al.*, 2008). Neste caso, utilizam-se dados observados das estações existentes na região, e aplicam-se os testes de hipótese simultaneamente em todas estas estações (Ventura *et al.*, 2004). Uma primeira ideia é testar cada hipótese separadamente, usando algum nível de significância α . A decisão de aceitar ou rejeitar a hipótese nula é feita individualmente, usando apenas as informações contidas na estação em consideração. Como este procedimento não leva em consideração todo o conjunto de estações da região, acaba violando o nível de significância nominal (α_R) a nível regional. A probabilidade de rejeitar a hipótese nula incorretamente (erro tipo I), quando desconsiderado o problema da multiplicidade de testes, fica maior do que o nível nominal de significância local α pré-especificado. Por exemplo, considere um caso em que se deseja realizar testes de hipótese de tendência numa região com 20 estações pluviométricas empregando um nível de significância de 0,05. Considerando que os dados das estações são independentes e usando as propriedades da distribuição binomial, pode-se mostrar que a probabilidade de se obter pelo menos um falso positivo é de 64%, uma valor bastante elevado e muitas vezes desconhecido do analista. Tal tipo de procedimento costuma resultar num número elevado de estações sendo erroneamente identificadas como não-estacionárias. Essa questão é conhecida como o problema da multiplicidade em testes de hipóteses.

O objetivo do estudo é analisar evidências estatísticas da presença de tendências monotônicas em alguns índices de extremos de precipitação na região hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental considerando a questão da multiplicidade no teste de hipóteses.

AREA DO ESTUDO

A Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental possui uma área de cerca de 286.800 km² (3,4% do território nacional), abrangendo 874 municípios (destes, 739 possuem suas sedes na RH) e 6 Unidades da Federação: Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas. A RH tem quase a totalidade de sua área pertencente à Região do Semiárido nordestino, caracterizada por apresentar períodos críticos de estiagens prolongadas, resultado de baixa pluviosidade e alta evaporação. A população total é de aproximadamente 24,1 milhões de habitantes (IBGE, 2010), predominantemente urbana (80% dos seus habitantes), que vivem principalmente nos centros urbanos localizados próximos ao litoral (principalmente nas cinco regiões metropolitanas: Fortaleza, Natal, João Pessoa, Recife e Maceió). Segundo dados do relatório de conjuntura da Agência Nacional de Águas (ANA, 2014), a precipitação média anual na RH é de 1.052 mm, abaixo da média nacional, de 1.761 mm. A disponibilidade hídrica superficial, considerando a vazão regularizada pelos reservatórios da região, é de 91,5 m³/s, o que corresponde a 0,1% da disponibilidade superficial do país (91.071 m³/s). A vazão média da RH é de 774 m³/s, correspondendo a 0,43% da vazão média nacional (179.516 m³/s).

DADOS

Para a análise de tendência do presente estudo, foram utilizados os dados de precipitação diária disponíveis no banco de dados HIDRO da ANA. Foram selecionadas todas as estações em operação que tinham pelo menos 30 anos de dados sem falha. O total de estações pluviométricas obtidas foi de 209 estações, com tamanho variando de 30 a 105 anos, cobrindo um período de no mínimo 1985 a 2004, embora algumas estações contêm dados da década de 1910. A Figura 1 ilustra os locais das estações pluviométricas selecionadas com indicação do tamanho da série em número de anos sem falha.

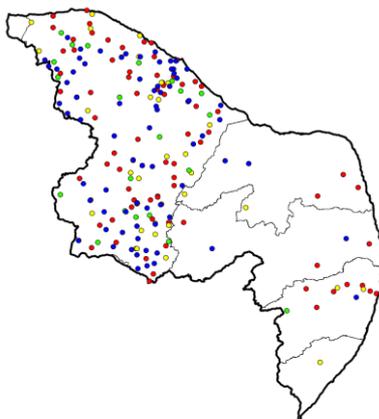


Figura 1 – Estações Pluviométricas localizadas na RH Atlântico NE Oriental com no mínimo 30 anos de dados sem falha. As cores diferenciam as classes por tamanho do registro: vermelho entre 30 e 39 anos de dados sem falha, amarelo entre 40 e 49 anos, verde 50 e 59 anos e azul maiores que 60 anos.

METODOLOGIA

ÍNDICES

A Organização Meteorológica Mundial (OMM), em conjunto com o CCI/CLIVAR/JCOMM24, criou na primeira metade da década de 2000 um grupo de trabalho chamado ETCCDMI (do inglês, “The Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices”) para elaborar uma metodologia para análise de mudanças climáticas que fosse capaz de atender as diversas especificidades de cada continente ou até mesmo de cada país (Zhang & Yang,

2004) sem perder o aspecto global. O ETCCDMI elaborou 27 índices de detecção de mudanças climáticas, dos quais 11 estão relacionados com a precipitação e 16 referem-se à temperatura do ar. Neste estudo foram utilizados 10 índices de extremos de precipitação. A tabela 1 apresenta os índices e suas respectivas descrições.

TESTE LOCAL DE HIPÓTESE DE TENDÊNCIA: MANN-KENDALL

A detecção de mudança significativa de variáveis extremos de precipitação podem ser realizadas a partir de testes de hipótese estatísticos aplicados nas séries temporais destas variáveis (Koutsoyiannis, 2006; Kundzewicz e Robson, 2004). 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 aceitação da hipótese formulada a priori dependerá do confronto entre a conjectura e a realidade física (os dados observados), baseando-se em um nível de significância, definido previamente. O nível de significância expressa o risco que o analista deseja correr em erroneamente rejeitar a hipótese nula quando na verdade a hipótese nula é verdadeira..

O teste de estacionaridade selecionado para as análises foi o teste não paramétrico de Mann-Kendall (MK). Esse teste tem sido amplamente utilizado para a identificação de tendências monotônicas em séries temporais de variáveis hidroclimáticas. Dentre as vantagens do teste, pode-se destacar a não necessidade de especificar determinada distribuição de probabilidade aos dados e a robustez no que diz respeito à presença de outliers na série (Kendall, 1975). O nível de significância adotado foi de 5%. O teste MK assume que a série é independente. Se as observações em uma amostra são correlacionadas temporalmente, o teste MK perde sua capacidade de controlar o erro de tipo I, tornando-se mais liberal, deste modo, a probabilidade de detectar tendência significativa quando não existe tendência é maior do que o nível de significância especificado. No presente estudo foi adotado o procedimento denominado de TFPW para considerar o efeito da autocorrelação na série. Maiores detalhes do procedimento podem ser encontrados em Yue *et al.* (2002).

Tabela 1 - Índices de Extremos Hidroclimatológicos Utilizados

Índice	Nome	Descrição
CDD	Número de Dias Consecutivos Secos	Este índice fornece a contagem do número máximo de dias consecutivos secos no período sazonal ou anual (j). Isto é, a contagem máxima dos dias nos quais não houve de precipitação.
CWD	Número de Dias Consecutivos Úmidos	Este índice fornece a contagem do número máximo de dias no período sazonal ou anual (j) nos quais houve registro de precipitação
PRCPTOT	Precipitação Total	Corresponde ao total de precipitação no período sazonal ou anual (j)
R1	Número de Dias de Chuva	Este índice corresponde ao número total de dias no período sazonal ou anual j, nos quais a precipitação foi maior do que 1 mm.
R10	Número de Dias com Precipitação Maior ou Igual a 10 mm	Este índice corresponde ao número total de dias no período sazonal ou anual j, nos quais a precipitação foi maior do que 10 mm.
R20	Número de Dias com Precipitação Maior ou Igual a 20 mm	Este índice corresponde ao número total de dias no período sazonal ou anual j, nos quais a precipitação foi maior do que 20 mm.
R50	Número de Dias com Precipitação Maior ou Igual a 50 mm	Este índice corresponde ao número total de dias no período sazonal ou anual j, nos quais a precipitação foi maior do que 50 mm.
SDII	Índice Simples de Intensidade Diária	Este índice indica o quão intensa é a precipitação total no período sazonal ou anual (j). Isto porque, para seu cálculo é definido pelo quociente entre o número total de precipitação no período sazonal ou anual (j) pelo número de dias nos quais houve registro de precipitação.
RX1day	Máxima precipitação registrada em 1 dia	Corresponde a máxima precipitação registrada em apenas 1 dia (i) durante o período sazonal ou anual (j).
RX5day	Máxima precipitação registrada em 5 dia	Corresponde a máxima precipitação registrada durante 5 dias (i) durante o período sazonal ou anual (j).

O PROBLEMA DA MULTIPLICIDADE

Estudos de detecção de tendência consistem em aplicar simultaneamente testes de hipóteses em diversas estações localizadas numa dada região. Níveis locais de significância, α_L , são sempre

definidos a priori, refletindo as preferências do analista em relação à possibilidade de cometer um erro ao declarar uma estação não-estacionária, quando na verdade nenhuma tendência está presente nos dados (erro tipo 1). Se a hipótese nula for verdadeira, a probabilidade de se cometer um erro tipo 1 é igual a α_L , previamente definido.

Definir a região de rejeição para um teste local com nível de significância α_L é uma tarefa trivial, porém quando se deseja controlar o erro a nível regional, a tarefa se torna mais complicada, pois não fica claro qual erro deve ser controlado. Os dois procedimentos adotados aqui são baseados em um dos dois erros descritos na sequência, quais sejam, o PCER (*Per-Comparison Type 1 Error Rate*) e o FDR (*False Discovery Rate*), embora outros pudessem ter sido empregados, como por exemplo, o FWER (*Family-Wise Type 1 Error Rate*), que será apresentado rapidamente abaixo tendo em vista sua relação com o FDR.

O procedimento baseado no PCER ignora por completo o problema da multiplicidade, já que a decisão de aceitar ou rejeitar a hipótese nula é feita com base apenas na informação contida na própria estação, sem levar em consideração as decisões tomadas nas outras estações da região. Como não há qualquer perspectiva do que acontece na região, os resultados acabam por violar o nível nominal de significância a nível regional, α_R .

O FWER é um conceito de erro muito popular quando se trata de aplicar simultaneamente múltiplos testes de hipóteses. O FWER é definido como a probabilidade de se cometer pelo menos uma rejeição da hipótese nula de forma equivocada. Controlar o FWER é uma estratégia bastante interessante, porém ela pode ser também bastante restritiva, o que significa dizer que se as evidências de tendência presentes nas amostras não forem muito fortes, a hipótese nula (estacionariedade) não costuma ser rejeitada, resultando em um baixo Poder do teste, definido como a probabilidade de se detectar tendência quando a tendência está de fato presente na série. E esse problema tende a piorar quando se aumenta o número de estações na região. Baixo poder de teste é uma desvantagem importante quando se emprega o FWER, já que a ideia é exatamente identificar aquelas estações onde a tendência está presente de forma que se possa tomar atitudes adequadas para reduzir as possíveis consequências de tal fato.

Benjamini e Hochberger (1995) propuseram uma abordagem diferente para lidar com o problema da multiplicidade. Eles sugeriram controlar o FDR, definido como sendo o valor esperado da proporção de rejeições falsas,

$$FDR = \begin{cases} E \left[\frac{N_{10}}{R} \right], & \text{se } R > 0 \\ 0, & \text{se } R = 0 \end{cases}$$

em que N_{10} é o número de estações em que a hipótese nula foi rejeitada erroneamente e R é o número total de rejeições na região. Controlar o FDR possui algumas vantagens frente ao controle do FWER. Por exemplo, o Poder do teste é maior quando se emprega o FDR e os resultados são mais fáceis de interpretar, pois não dependem do número de estações na região. Assim, obter 4 rejeições falsas em 10 rejeições é mais preocupante do que obter 4 rejeições falsas em 50 rejeições. Controlar o FDR permite levar esse fato em consideração, o que não ocorre quando se decide controlar o FWER.

O procedimento proposto por Benjamini e Hochberger (1995), chamado aqui de BH, se baseia no ordenamento dos p -valores obtidos quando da realização dos testes de hipóteses em cada uma das m estações localizadas numa dada região, $P_{(1)} \leq P_{(2)} \leq \dots \leq P_{(m)}$. Esses p -valores estão associados às hipóteses $H_{(1)} \leq H_{(2)} \leq \dots \leq H_{(m)}$ e a um dado valor crítico $d_1 \leq d_2 \leq \dots \leq d_m$, considerado igual a $d_i = i\alpha_R/m$. O procedimento BH é sequencial, o que significa dizer que a decisão de aceitar ou rejeitar a hipótese nula é tomada uma estação de cada vez, começando por aquela que possui menos evidência da presença de tendência, ou seja, com a que possui o maior p -valor. Se por acaso, $P_{(m)} < d_m = \alpha_R$, então todas as estações na região são consideradas não-estacionárias. Caso

contrário, a condição $P_{(j)} < d_j$ para todo $(j < m)$ é verificada até que a condição seja satisfeita. Quando isso acontece, todas as hipóteses $H_{(i) < j}$ são rejeitadas.

RESULTADOS

Os resultados apresentados nesta seção têm por objetivo não apenas avaliar evidências de tendências nas séries de extremos de precipitação, mas também verificá-las frente à consideração do problema da multiplicidade no teste de hipótese. Foi aplicado o teste MK em 4 situações diferentes: (a) desconsiderando a questão da multiplicidade dos testes; (b) considerando a questão da multiplicidade sem fazer qualquer divisão da RH Atlântico NE Oriental (TFPW-FDR-R1); (c) considerando a questão da multiplicidade, porém admitindo subdivisões a partir das sub-bacias de nível 1 da Divisão Hidrográfica Nacional para a RH Atlântico NE Oriental (TFPW-FDR-R2) e (d) considerando a questão da multiplicidade, porém admitindo subdivisões a partir das sub-bacias de nível 2 da Divisão Hidrográfica Nacional para a RH Atlântico NE Oriental (TFPW-FDR-R3). Quando autocorrelação foi observada na série, o procedimento TFPW foi adotado.

Os resultados da aplicação do teste MK nas 4 situações descritas acima podem ser sintetizados no gráfico de barras da figura 2. Nesse gráfico são apresentados os percentuais de resultados significativos do teste MK. As barras em azul sinalizam o percentual de tendências crescentes e em vermelho decrescente. Observa-se no gráfico, que existe para cada índice a predominância de resultados para um determinado sentido, ou seja, existe uma coerência regional no sentido da mudança. Por exemplo, o CDD é majoritariamente crescente, ou seja, a quantidade de dias consecutivos secos está aumentando, já o CWD, que são a quantidade de dias consecutivos úmidos, segue o sentido inverso decrescente, como era esperado. Os maiores percentuais de resultados significativos, considerando as 4 situações, foram os índices CDD, R1 e SDII. Observa-se também que quando desconsiderada a questão da multiplicidade dos testes, a quantidade de resultados significativos é bem superior. Verifica-se também que, para esse caso, a subdivisão da região não proporcionou, para nenhum índice, um aumento substancial na quantidade de resultados significativos, sugerindo que a magnitude da tendência das estações, cuja a hipótese nula foi rejeitada localmente, não é tão expressiva regionalmente. Os índices que mais aumentaram a quantidade de resultados significativos ao refinar as subdivisões da região, situação TFPW-FDR-R3, foram o CDD, R1 e RX1DAY.

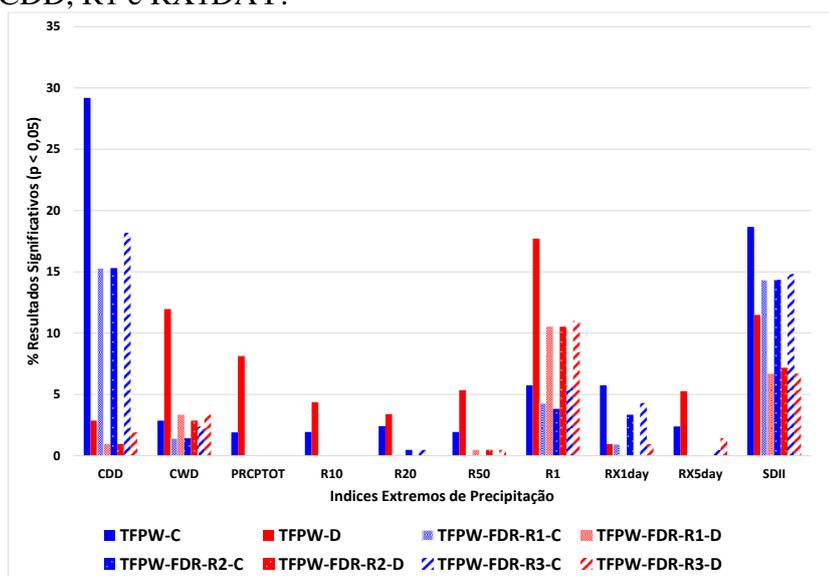


Figura 2 – Percentual de resultados significativos para os índices de extremos de precipitação para as diferentes situações consideradas.

A figura 3 ilustra a disposição regional dos resultados da aplicação do teste MK para o índice CDD para as 4 situações definidas acima. Verifica-se que boa parte dos resultados significativos se localizam na parcela cearense da região, onde também existem mais estações. No entanto, os poucos resultados significativos decrescentes se concentram na região próxima ao litoral.

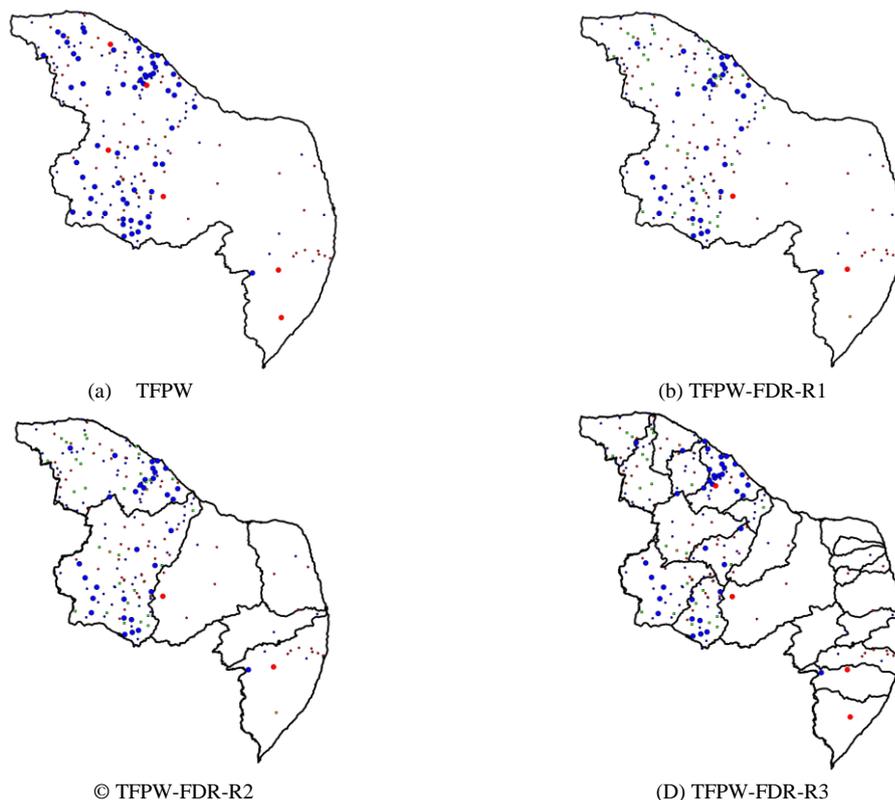


Figura 3 – Resultados para o índice CDD considerando: (a) TFPW, (b) TFPW-FDR-R1, (c) TFPW-FDR-R2 e (d) TFPW-FDR-R3. Círculos vermelhos maiores indicam tendência decrescente ($p < 0,05$) e círculos azuis ampliados indicam tendência crescente ($p < 0,05$) no teste MK.

CONCLUSÃO

O estudo apresentou uma análise estatística da presença de tendências monotônicas em alguns índices de extremos de precipitação na região hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental considerando a questão da multiplicidade no teste de hipóteses. Os resultados sugerem que existem evidências fortes de tendência nos índices CDD (crescente), R1 (decrésciente) e SDII (crescente). Verificou-se também a forte influência do problema da multiplicidade na quantidade de resultados significativos, sinalizando que a desconsideração dessa questão aumenta as chances de superestimar o número de resultados significativos numa determinada região, o que acaba por distorcer a realidade no nível regional, o que pode levar a ações equivocadas em termos de planejamento.

O procedimento BH adotado aqui pode ser aprimorado por meio de um estimador do número de estações estacionárias. Tal estimador, apesar de incerto, tende a aumentar o Poder do teste, como já mostrado anteriormente em estudo baseados em Simulação Monte Carlo. Além disso, a divisão da região de interesse em sub-regiões pode também, pelo menos em termos teóricos, aumentar o poder do teste em identificar tendências monotônicas, mas não existe ainda uma maneira bem estabelecida de como executar essa divisão. Esses dois pontos serão motivos de investigações futuras dentro do projeto de pesquisa em andamento.

AGRADECIMENTOS

Este artigo é uma contribuição da Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais, convênio FINEP/ Rede CLIMA 01.13.0353-00. Os autores também gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Agência Nacional de Águas (ANA) pelo financiamento do projeto intitulado “Impacto das Mudanças Climáticas em Extremos Hidrológicos (secas e cheias)” por meio do Edital CAPES/ANA de Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos No. 19/2015.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA – Agência Nacional de Águas (2013). Implementação de funções para análise de vazões máximas e para subsídio à estimativa de disponibilidade hídrica em uma ferramenta integrada para apoio a estudos hidrológicos. Nota Técnica nº 032/2013/SPR-ANA, 2013.
- Agência Nacional de Águas (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: regiões hidrográficas brasileiras–Edição Especial. -- Brasília: ANA, 2015.
- Asadieh, B.; Krakauer, N.Y. (2015). Global trends in extreme precipitation: climate models versus observations. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19, 877–891.
- Benjamini, Y., and Y. Hochberg (1995), Controlling the false discovery rate: A practical and powerful approach to multiple testing, *J. R. Stat. Soc., Ser. B.*, 57, 289–300.
- Craig, R. K. (2010). Stationarity Is Dead - Long live transformation: Five principles for climate change adaptation law. *Harvard Environ. Rev.*, 34 (1), pp. 9-75.
- IPCC. (2013). Summary for Policymakers. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M., (eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlation Methods*. Griffin, London, UK.
- Koutsoyiannis, D.; Montanari, A. (2014). Negligent killing of scientific concepts: The stationarity case. *Hydrol. Sci. J.*, 60, pp. 1174–1183.
- Lins, H. F.; Cohn, T. A. (2011). Stationarity: Wanted dead or alive? *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 47, pp. 475–480.
- Milly, P. C. D.; Betancourt, J.; Falkenmark, M.; Hirsch, R. M.; Kundzewicz, Z. W.; Lettenmaier, D. P.; Stouffer, R. J. ; Dettinger, M. D. ; Krysanova, V. (2015), On Critiques of “Stationarity is Dead: Whither Water Management?”. *Water Resour. Res.*, 51, pp. 7785–7789.
- Milly, P. C. D.; Betancourt, J.; Falkenmark, M.; Hirsch, R. M.; Kundzewicz, Z. W.; Lettenmaier, D. P.; Stouffer, R. J. (2008). Stationarity is dead: Whiter water management? *Science*, 319, pp. 573–574.
- Min, S.-K., Zhang, X., Zwiers, F. W., and Hegerl, G. C. (2011). Human contribution to more-intense precipitation extremes, *Nature*, 470, 378–81, doi:10.1038/nature09763.
- NEXGDDP. (2015). NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections. Technical Note. Junho, 2015 (Disponível em: https://cds.nccs.nasa.gov/wp-content/uploads/2015/06/NEX-GDDP_Tech_Note_v1_08June2015.pdf).
- Renard, B., Lang, M., Bois, P., Dupeyrat, A., Mestre, O., Niel, H., Sauquet, E., Prudhomme, C., Parey, S., Paquet, E., et al.: Regional methods for trend detection: assessing field significance and regional consistency, *Water Resources Research*, 44, 2008.
- Serinaldi, F.; Kilsby, C. G. (2015). Stationarity is undead: Uncertainty dominates the distribution of extremes. *Adv. Water Resour.*, 77, pp. 17–36.
- Ventura, V., C. J. Paciorek, and J. S. Risbey (2004), Controlling the proportion of falsely rejected hypotheses when conducting multiple tests with climatological data, *J. Clim.*, 17, 4343–4356, doi:10.1175/3199.1
- Yue, S. and Wang, C.Y. (2002). “Applicability of Prewhitening to Eliminate the Influence of Serial Correlation on the Mann-Kendall Test.” *Water Res. Research*, 38(6), 1068, 10.1029/2001WR000861.



Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G.C., Jones, P., Tank, A.K., Peterson, T.C., Trewin, B. and Zweirs, F.W. (2011). "Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data." *WIREs Clim Change*. doi: 10.1002/wcc.147.