



ANÁLISE ESPACIAL DE TENDÊNCIAS NAS SÉRIES DE PRECIPITAÇÃO DIÁRIA MÁXIMA NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE

Aline de Araújo Nunes ⁽¹⁾; Eber José de Andrade Pinto ⁽²⁾; Márcio Benedito Baptista ⁽³⁾

⁽¹⁾ Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, alinedearaujonunes@gmail.com

⁽²⁾ Universidade Federal de Minas Gerais, eber@ehr.ufmg.br

⁽³⁾ Universidade Federal de Minas Gerais, marcio.baptista@ehr.ufmg.br

RESUMO

Eventos climáticos extremos têm emergido como uma das principais manifestações de mudança climática, sendo que a adaptação e minimização dos impactos decorrentes passam pelo estudo da magnitude e frequência de suas ocorrências. A presente pesquisa pretende identificar e quantificar tendências nas precipitações diárias máximas anuais na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), à luz da crescente preocupação com o aumento da sua ocorrência na região, buscando ainda a espacialização das eventuais tendências observadas. A primeira etapa do trabalho consistiu no ajuste da distribuição GEV, considerando condições estacionárias, às séries de precipitação máxima anual, visando a análise espacial dos parâmetros da distribuição na área de estudo. Posteriormente, foram estudadas as tendências associadas às séries temporais, por meio da variação linear do parâmetro de posição da GEV. Considerando os resultados obtidos, observou-se que não há uma homogeneidade associada aos dados analisados para a região. Foi detectada uma maior ocorrência de eventos extremos nas regiões central e leste, sendo ainda observadas tendências de aumento das chuvas diárias máximas na região leste, e tendências de diminuição na região oeste. Os resultados são indicativos de que o pressuposto de estacionariedade de séries de extremos de precipitação não é verificado em toda a RMBH, sinalizando para o fato de que algumas localidades poderão sofrer com o aumento das chuvas extremas.

Palavras-Chave – Não estacionariedade, mudanças climáticas, heterogeneidade pluviométrica.

INTRODUÇÃO

O estudo de mudanças em séries temporais de dados hidrológicos é de grande importância científica e prática para a gestão dos recursos hídricos. Em geral, os sistemas hidráulicos são projetados a partir da suposição de que a sequência de dados hidrológicos seja estatisticamente estacionária. Em outras palavras, supõe-se que as características estatísticas essenciais dos processos hidrológicos, tais como suas medidas de posição e variabilidade, permanecem constantes ao longo do tempo (ALEXANDRE *et al.*, 2010).

Entretanto, tal suposição pode não ser verificada quando são considerados aspectos como a mudança de cobertura vegetal, variabilidade e mudança climática. Nesses casos, os projetos baseados na estacionariedade dos eventos hidrológicos devem ser revistos, com o intuito de verificar os possíveis impactos dessas alterações no sistema hidráulico local (CUNDERLIK; BURN, 2003).

Em função disso, é imprescindível que os registros hidrológicos sejam analisados criteriosamente, a fim de buscar evidências de mudanças nos dados de uma série temporal.

Nesse contexto, muitos testes estatísticos podem ser utilizados para verificar alterações em séries temporais de dados hidrológicos (SHADMANI *et al.*, 2012).

À luz dessas considerações, a presente pesquisa pretende contribuir para a avaliação das mudanças no regime de chuvas da Região Metropolitana de Belo Horizonte, buscando identificar e quantificar, especificamente, tendências nas precipitações máximas anuais, uma vez que há uma crescente preocupação com um potencial aumento da ocorrência destes eventos na região. Objetiva-se, ainda, verificar a espacialização das eventuais tendências observadas, uma vez que Nunes *et al.* (2015) observaram que as tendências associadas aos índices de precipitação recomendados pelo Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices – ETCCDMI na região não são regionais.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A área de estudo é a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), localizada na região central do Estado de Minas Gerais. De acordo com o censo demográfico de 2010, realizado pelo IBGE, a RMBH constitui a terceira maior aglomeração urbana do Brasil, sendo formada por 34 municípios, com uma população estimada em 5.783.773 habitantes, dos quais 2.491.109 habitantes vivem na capital Belo Horizonte. A capital apresenta um crescimento populacional expressivo, impactando, sobretudo, a qualidade ambiental da região.

No que se refere ao clima, a região é caracterizada por uma estação seca com duração de quatro a cinco meses, entre abril e setembro. A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e as frentes frias são as principais responsáveis pela precipitação observada na região, além do aquecimento continental, no verão, que gera intensas células de baixa pressão espacialmente distribuídas, favorecendo a formação de chuvas intensas, muitas vezes acompanhadas por ventos, trovoadas e granizos (ABREU, 1998).

Aquisição e análise dos dados de precipitação da RMBH

Os dados de precipitação diária da RMBH foram selecionados com o auxílio das bases georreferenciadas da Agência Nacional de Águas (ANA) e das séries hidrológicas disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas da ANA - Hidroweb. Os critérios que nortearam essa seleção dos registros de precipitação total diária para a RMBH foram: séries com, pelo menos, 30 anos de registros; e a uniformidade na distribuição espacial das estações pluviométricas na região.

Foram selecionadas trinta e oito estações pluviométricas (Figura 1), com período de dados entre 1983 e 2015. Considerando, ainda, a importância de se caracterizar os índices

pluviométricos da região, a Figura 2 apresenta a distribuição do total anual de precipitação na área de estudo, sendo possível observar que a distribuição da precipitação ao longo da área é bastante heterogênea, com totais anuais variando de 1170 mm a 1947 mm.

Figura 1 - Localização das estações pluviométricas selecionadas na RMBH.

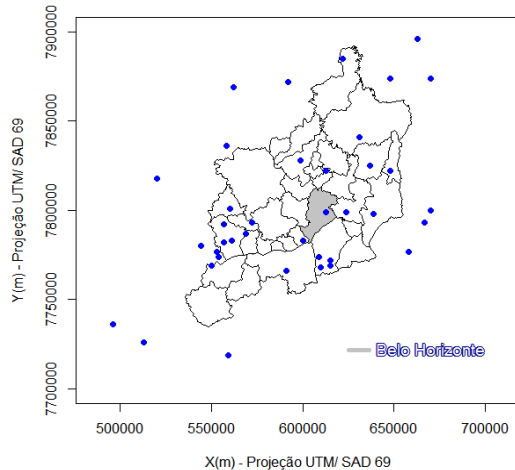
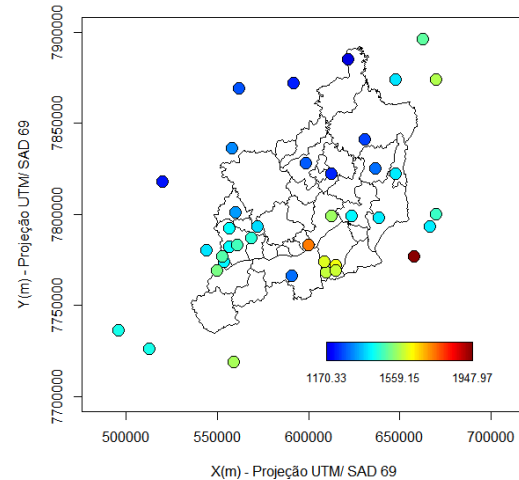


Figura 2 – Distribuição da precipitação total anual na RMBH.



Análise de tendências nas séries de precipitação máxima anual

Uma vez coletadas as informações necessárias, foi realizada a espacialização das tendências nas séries de precipitação diária máxima anual, a partir da análise estatística dos dados. Primeiramente, para modelar a distribuição estatística dos dados, utilizou-se a distribuição GEV. A razão desta escolha está associada à Teoria dos Valores Extremos (Coles 2001). No caso estacionário, a função de distribuição cumulativa dos dados é dada por (Coles, 2001; Katz et al., 2002):

$$F(x; \mu, \sigma, \xi) = \begin{cases} \exp \left\{ - \left(1 + \xi \frac{x - \mu}{\sigma} \right)^{\frac{-1}{\xi}} \right\} & \text{se } \xi \neq 0, \text{ considerando } 1 + \xi \frac{x - \mu}{\sigma} > 0, \\ \exp \left\{ - \exp \left(- \frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right\} & \text{se } \xi = 0 \end{cases}$$

Onde μ , σ e ξ são os parâmetros de posição, escala e forma, respectivamente, e x a precipitação diária máxima anual. Conforme citado no item anterior, a região considerada apresenta características meteorológicas diferentes, prevendo-se nesta etapa a espacialização e análise dos parâmetros da distribuição GEV.

No caso não-estacionário, os parâmetros da distribuição GEV variam com o tempo (anos). O parâmetro de posição é assumido como sendo uma função $\mu(t)$, enquanto os parâmetros de escala e forma são constantes. Considerou-se neste estudo uma tendência linear (eg [Katz et al., 2002], [Blanchet et al., 2016]) para $\mu(t)$, buscando verificar se a região apresenta a mesma heterogeneidade evidenciada anteriormente ou se há uma tendência homogênea que justifique o ajuste de um único modelo para a área. Assim, para cada série,

verificou-se se o modelo não-estacionário (tendência linear) deveria de fato ser preferido ao modelo estacionário. Para tanto, utilizou-se os critérios *Akaike Information* e *Bayesian Information* (respectivamente AIC, [Akaike, 1974] e BIC, [Schwarz, 1978]).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características espaciais da precipitação máxima anual

Considerando o mapa da Figura 2, que representa a distribuição da precipitação total anual na RMBH, observa-se que a área de estudo apresenta indícios de heterogeneidade nas características meteorológicas. Nesse contexto, procedeu-se à espacialização dos parâmetros da distribuição GEV estacionária (Figuras 3, 4 e 5), a fim de que se pudesse melhor entender o regime pluviométrico da região.

Figura 3 – Espacialização do parâmetro de posição da GEV- Estacionária.

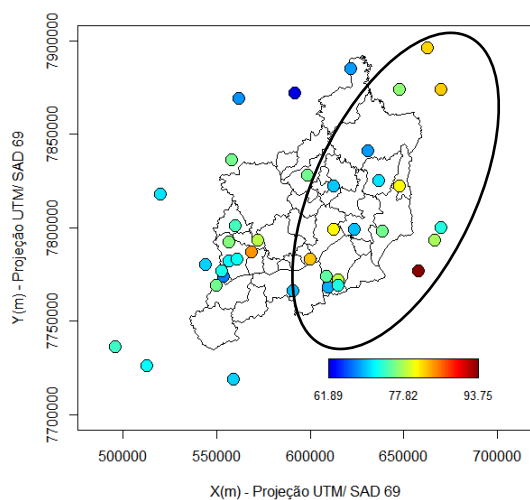
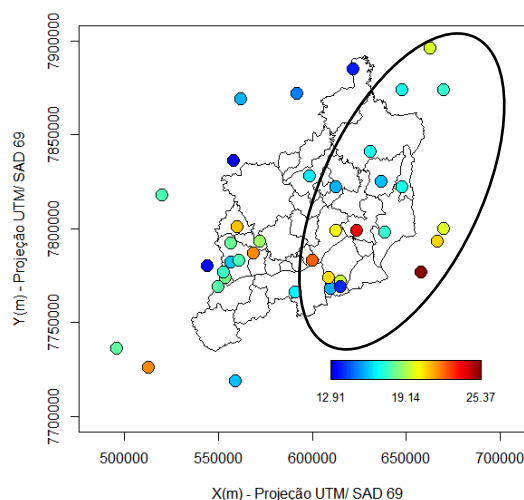


Figura 4 – Espacialização do parâmetro de escala da GEV- Estacionária.



O mapeamento do parâmetro de posição (μ_0 entre 61 e 94 mm/dia), mostra que as maiores quantidades de precipitação diária estão concentradas ao longo das regiões central e leste (conforme destacado na Figura 3), que acumulam precipitações de 1500 a 1900 mm/ano (Figura 2). As áreas circundantes apresentam totais acumulados mais próximos ao limite inferior. O mapeamento do parâmetro de escala (Figura 4) delimita as mesmas áreas do parâmetro de localização.

Considerando a Figura 5, que apresenta a espacialização do parâmetro de forma, é importante ressaltar que o mesmo tende a fornecer informações sobre o regime de precipitação extrema. Nas áreas central e leste da RMBH (destacadas na figura) o parâmetro de forma é predominantemente positivo, evidenciando a distribuição GEV com cauda pesada. Tal fato pode ser ainda confirmado na Figura 6, que apresenta a distribuição dos maiores valores de

precipitação máxima anual na região, evidenciando que os valores de precipitação diária recebidos nestas mesmas áreas tendem a ser superiores aos demais.

Figura 5 – Espacialização do parâmetro de forma da GEV.

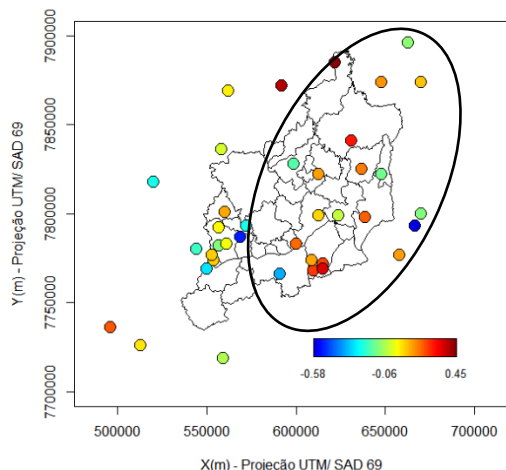
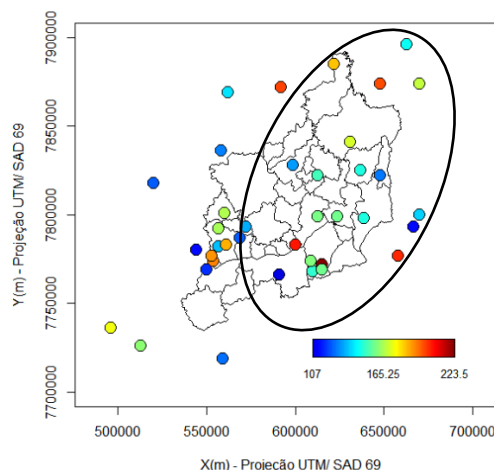


Figura 6 – Espacialização dos maiores valores de precipitação máxima anual na região.



Análise de tendências nas séries de precipitação máxima anual

As Figuras 7 e 8 apresentam as séries com melhor ajuste ao modelo não estacionário (triângulos coloridos), ou seja, com tendência linear significativa no parâmetro de posição da distribuição GEV, assim como na magnitude dessas tendências. As magnitudes das tendências são relativas às médias dos máximos anuais de precipitação de cada estação (os pontos brancos são para "nenhuma tendência", ou seja, melhor ajuste com modelos estacionários). Pode-se observar que o AIC e o BIC geram os mesmos padrões espaciais de tendências. A região sudeste apresenta as maiores tendências positivas, com aumentos nos últimos 33 anos atingindo até 37% da média dos máximos anuais de precipitação. O oposto acontece na região sudoeste, em que são identificadas tendências com diminuições na mesma proporção.

Figura 7 –Tendências na precipitação máxima anual (% de incremento na magnitude), considerando o AIC.

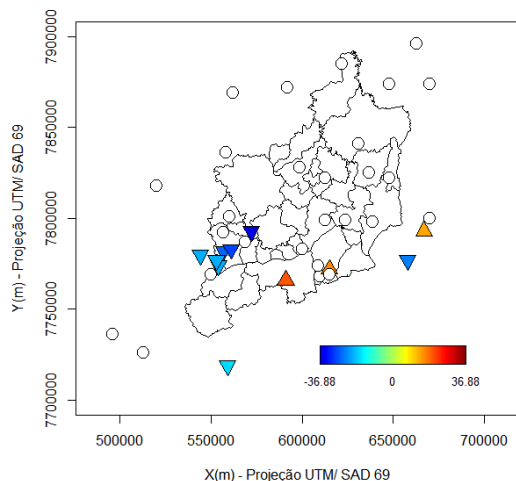
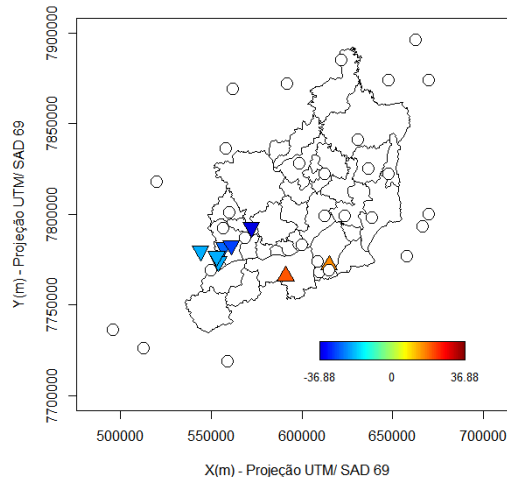


Figura 8 – Tendências na precipitação máxima anual (% de incremento na magnitude), considerando o BIC.





Observa-se, então, que existem tendências diferentes na RMBH, confirmando ainda os resultados apontados pela espacialização dos parâmetros da distribuição GEV em condições estacionárias. Assim, para que se possa pensar no planejamento e gestão dos recursos hídricos na região, deve ser analisada a possibilidade de divisão da área em sub-regiões com comportamentos mais homogêneos. Alguns dos critérios que podem ser analisados são o relevo e o uso e ocupação do solo na região.

CONCLUSÕES

Considerando os resultados obtidos, observou-se que não há uma homogeneidade associada aos dados analisados para a região. Foi detectada uma maior ocorrência de eventos extremos nas regiões central e leste, sendo ainda observadas tendências de aumento das chuvas diárias máximas em 3 estações da região leste (até 36%), e tendências de diminuição em 8 estações da região oeste.

Os resultados são indicativos de que o pressuposto de estacionariedade das séries de máximos diários de precipitação não é verificado em toda a RMBH, sinalizando para o fato de que algumas localidades poderão sofrer com o aumento das chuvas extremas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES, ao CNPq, à FAPEMIG e ao FIP/ PUC MINAS, pelo apoio ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, M. L. (1998). Climatologia da estação chuvosa de Minas Gerais: De Nimer (1977) à Zona de Convergência do Atlântico Sul. *Revista Geonomos*, v. 6 (2), 17-22.
- AKAIKE, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *Automatic Control*, IEEE Transactions on, v. 19(6), p. 716–723.
- ALEXANDRE, G.R.; BAPTISTA, M.B.; NAGHETTINI, M.C. (2010). Estudo para Identificação de Tendências do Regime Pluvial na Região Metropolitana de Belo Horizonte a Partir de Métodos Estatísticos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 15(2), p. 115-126.
- BLANCHET, J., MOLINIÉ, G., TOUATI, J. (2016). Spatial analysis of trend in extreme daily rainfall in southern France. *Climate Dynamics*, DOI 10.1007/s00382-016-3122-7.
- COLES, S.(2001). An introduction to statistical modeling of extreme values. *Springer Series in Statistics*. Springer-Verlag, London.
- CUNDERLIK, J.M; BURN, D.H. (2003). Non-stationary pooled flood frequency analysis. *Journal of Hydrology*, v. 276, p. 210-223.
- KATZ, R. W., PARLANGE, M. B., NAVEAU, P. (2002). Statistics of extremes in hydrology. *Advances in Water Resources*, v. 25(8-12), p. 1287–1304.
- NUNES, A.A.; PINTO, E.J.A.; BAPTISTA, M.B. (2015). *Identification of trends for extreme events of precipitation in the Metropolitan Region of Belo Horizonte through statistical methods*. Conferência Eaumega: Water, Megacities and Global Change. Paris, 2015.
- SCHWARZ, G. (1978). Estimating the Dimension of a Model. *The Annals of Statistics*, v. 6(2), p.461–464
- SHADMANI, M.; MAROFI, S.; ROKNIAN, M. (2012). Trend Analysis in Reference Evapotranspiration Using Mann-Kendall and Spearman's Rho Tests in Arid Regions of Iran. *Water Resources Management*, v. 26, p. 211-224.