

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

ANÁLISE DE TENDÊNCIA EM SÉRIES DE VAZÃO, DE PRECIPITAÇÃO E DE MUDANÇAS NO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA EM UMA SUB-BACIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTO ANTÔNIO-MG.

Fernanda Laurinda. Valadares. Ferreira¹ ; Lineu Neiva Rodrigues² & Demétrius David da Silva³

RESUMO – As mudanças ocorridas no clima e a intensificação das atividades antrópicas nas bacias hidrográficas tem alterado de maneira expressiva o regime de vazões, configurando com um problema para o sistema de gestão dos recursos hídricos, uma vez que estes são operados considerando a hipótese de estacionariedade. Nesta perspectiva, o objetivo deste trabalho foi analisar a tendência dos dados de vazão e de precipitação em uma sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, Minas Gerais e correlacionar com o uso e ocupação da terra, entre os anos de 1985 a 2014, aplicando os testes não-paramétricos de Mann-Kendall e Pettitt. Foi possível detectar mudanças no comportamento de vazão mínima (Q_7), com tendência de redução. Para as séries de precipitações não foram observados mudanças em seu comportamento. A redução da vazão mínima possivelmente está associada as mudanças ocorridas do uso e ocupação da terra ao longo dos anos na área de estudo.

ABSTRACT– The changes in the climate and the intensification of the anthropic activities in the river basins have significantly altered the flow regime, configuring with a problem for the water resources management system, since these are operated considering the hypothesis of stationarity. In this perspective, the objective of this work was to analyze the trend of flow and precipitation data in a sub-basin of the Santo Antônio, Minas Gerais river basin, and to correlate with land use and occupation between 1985 and 2014, applying the non-parametric tests of Mann-Kendall and Pettitt. It was possible to detect changes in the minimum flow behavior (Q_7), with a tendency of reduction. For the series of precipitations no changes in their behavior were observed. The reduction of the minimum flow is possibly associated with the changes in land use and occupation over the years in the study area.

Palavras-Chave – estacionariedade, série temporal, testes não-paramétricos

INTRODUÇÃO

¹) Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, 36570-000, Tel: +55 31 38993469, fax: +55 31 38992735, fernanda_laurinda@yahoo.com.br

²) Embrapa Cerrados, Parque Estação Biológica – PqEB, Brasília, DF, Brasil, 70770-901; Tel: +55 61 34484433, fax: +55 61 34484890, lineu.rodrigues@embrapa.br

³) Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, 36570-000, Tel: +55 31 38991904, fax: +55 31 38992735, demetrius.ufv@gmail.com

Diversas atividades econômicas desenvolvidas pela sociedade são diretamente influenciadas pelas condições climáticas, em especial as atividades agrícolas, onde o clima é um fator condicionante para o desenvolvimento das culturas (Ely e Dubreuil, 2017).

Nas últimas décadas, vários estudos sobre possíveis tendências regionais, continentais e alterações climáticas têm sido realizados em todo mundo (Gocic e Trajkovic, 2013; Joseph et al., 2013). Para analisar tendência em séries temporais climáticas e hidrológicas, o teste estatístico de Mann Kendall é amplamente utilizado. Esse teste possui vantagens, por ser um teste não paramétrico, ele não requer que os dados tenham distribuição normal e o teste possui baixa sensibilidade a quebras abruptas devido a não homogeneidade da série (Karmeshu, 2012).

Segundo Gocic e Trajkovic (2013), os resultados obtidos do teste de Mann-Kendall demonstrou um bom desempenho na análise de detecção de tendência das variáveis meteorológicas. Os locais que têm tendência meteorológica significativa e são identificados, são importantes para se fazer as estimativas das interferências dessas mudanças nas atividades socioeconômicas, assim podendo tomar decisões para minimizar seus efeitos (Salviano et al., 2015).

De acordo com Joseph et al. (2013), a identificação de tendência sejam elas sazonais ou anuais nas séries de precipitação e vazão em escala regional, contribui para o entendimento em relação as mudanças climáticas globais, sendo assim, essenciais para se desenvolver modelos hidrológicos, previsões hidrológicas e planejamento e gestão dos recursos hídricos para bacias.

As mudanças nos padrões geralmente são ocasionadas principalmente pela dinâmica de uso e ocupação da terra nas bacias hidrográficas, as mudanças no clima, o crescimento do uso da água ou uma combinação de todos esses fatores (Kibria, et al., 2016; Vilanova, 2014).

Diante disso, o objetivo desse trabalho foi analisar a tendência dos dados de vazão e de precipitação em uma sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, Minas Gerais e correlacionar com o uso e ocupação da terra.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo contempla uma sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, Minas Gerais, que por sua vez, está inserida na bacia hidrográfica do rio Doce (Figura 1). A seção em análise da bacia em estudo possui controle na estação fluviométrica Senhora do Porto (56800000) com latitude 18°53'40.92" S e longitude 43°4'57.00" W, mantida pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), que drena uma área de aproximadamente 1.520 km².

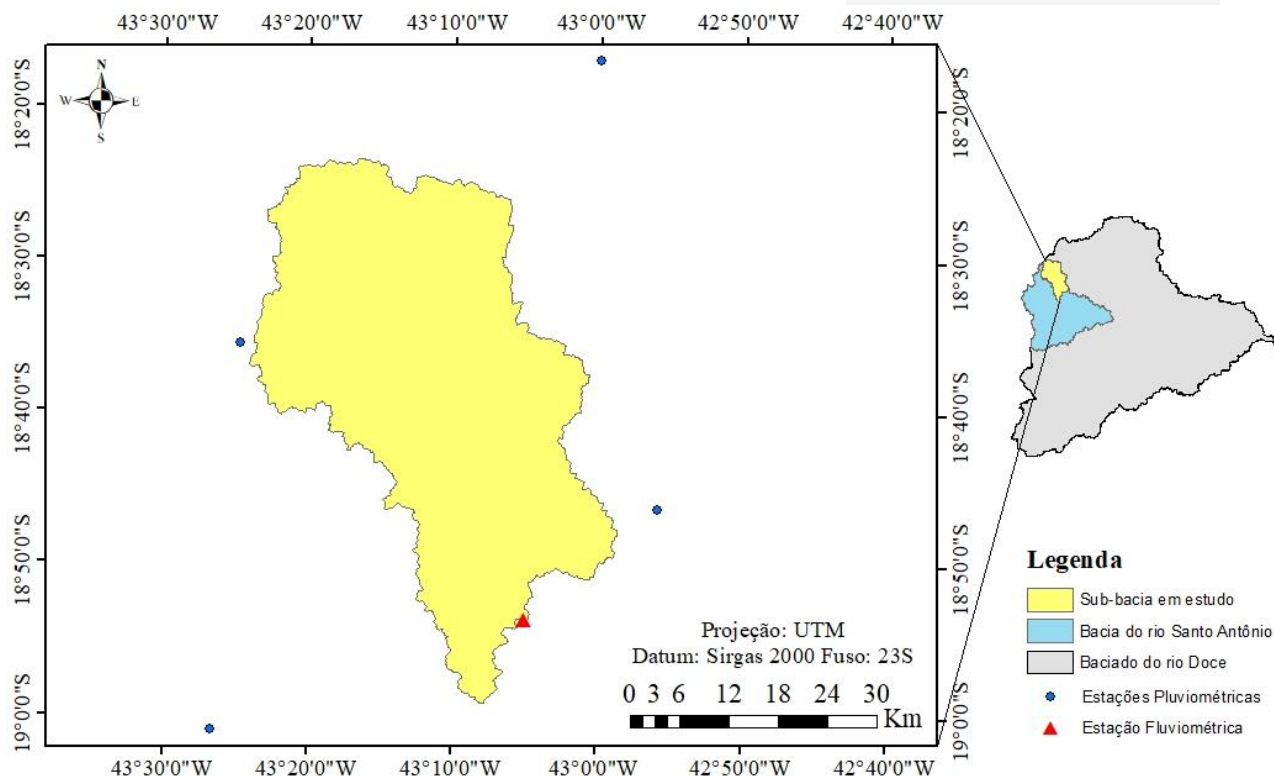


Figura 1 – Localização da sub-bacia e estações fluviométrica e pluviométricas utilizadas no estudo

No estudo foram utilizadas uma estação fluviométrica (56800000) e quatro estações pluviométricas (Tabela 1), sendo que essas estações estão localizadas fora do limite da sub-bacia, no entanto, elas possuem influência na área de estudo, identificadas em análise através do método do Polígono de Thiessen, conforme a descrição de Marciano et al. (2018).

Tabela 1 – Estações pluviométricas utilizadas no estudo

Código	Estação	Anos e nível de consistência	
		Bruto	Consistido
01843011	Serro	2005-2018	1984-2004
01943002	Conceição do Mato Dentro	2006-2018	1941-2005
01842007	Guanhães	2006-2018	1945-2005
01843012	Rio Vermelho	2006-2018	1984-2005

A base de dados das séries históricas de vazão e precipitação foram obtidas a partir da Agência Nacional de Águas (ANA) pelo sistema de Informações Hidrológicas (Hidroweb).

O período base para o estudo foi de 1985 a 2014, sendo utilizados na estação fluviométrica com todos os dados consistidos e nas estações pluviométricas foram utilizados dados consistidos até o ano de 2005, exceto para a estação 1843011 que foi até o ano de 2004, e a partir de então foram utilizados dados brutos até 2014.

Os dados brutos são utilizados devido a necessidade de se ter dados de séries históricas que sejam mais longas e mais recente, e essenciais para a aplicação dos testes de tendência, uma vez que séries menores as flutuações naturais dos dados hidrológicos podem ser concedidas como comportamento não estacionário (WMO, 1988).

Nas séries de dados históricos de vazão que possuíam falhas, foi empregado o método da regressão linear simples, conforme sugerido por Bier et al. (2017). E para os dados de precipitação foi utilizado o método da ponderação regional com base em regressões lineares, de acordo com Junqueira et al. (2018).

Para analisar a consistência dos dados brutos e do preenchimento de falhas foi utilizado o método da curva de dupla massa, segundo a descrição de Mello e Silva (2013), onde as análises obtidas identificaram a homogeneidade dos dados.

O ano hidrológico utilizado no estudo foi de novembro a outubro, sendo este definido com base nos dados de vazão mínima da estação fluviométrica em estudo, tendo sido realizado a partir dos meses de ocorrência da Q_7 (vazão mínima de sete dias de duração). A análise foi feita para o período base de estudo, com o auxílio do software SisCAH 1.0, onde se obtém um relatório com as datas de ocorrência da Q_7 para cada ano, assim auxiliando na identificação do ano hidrológico (GPRH, 2018).

Os dados de precipitação utilizados no estudo foram total anual considerando o ano hidrológico; semestre mais chuvoso sendo os dados compreendidos entre os meses de novembro e abril; semestre mais seco de maio a outubro. Para os dados de vazões, foram utilizadas vazão máxima, média e mínima (Q_7).

Utilizou-se o mapeamento do uso e cobertura da terra na área de estudo com a finalidade de observar se as mudanças que ocorreram no uso e cobertura da terra promoveram alguma alteração no regime fluviométrico da sub-bacia em questão. Essa avaliação nas alterações ocorridas no uso da terra foi realizada com base nas informações fornecidas pelo Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil – MapBiomias, tendo como referência imagens da série de satélites Landsat, com resolução de 30 metros (MAPBIOMAS, 2018).

Foram utilizadas imagens de uso e cobertura da terra dos anos de 1985 a 2014, para avaliação das classes de uso, sendo considerados as seguintes classes: Formação Florestal, Formação Savânica, Floresta Plantada, Formação Campestre, Agropecuária, Área não Vegetada e Corpos D'água.

Para analisar a tendência foram utilizados dados de vazões e precipitações, sendo aplicados os testes não paramétricos de Mann Kendall e Pettitt que foram aplicados considerando-se um nível de significância de 5%. A aplicação do teste de Mann Kendall para uma série de n dados foi realizada para avaliar se as séries apresentavam tendência temporal de alteração estatística significativa, podendo a tendência observada na série histórica ser considerada crescente ou decrescente. O teste

de Pettitt foi utilizado para confirmar se houve ou não tendência nas séries históricas dos dados e localizar o ponto onde ocorreu essa alteração (Mudbhatkal et al., 2017).

Os cálculos associados a todos os testes para análise de tendência foram desenvolvidos em ambiente R, por meio da utilização dos pacotes: “randtests” função “runs.test”, pacote “Kendall” função “MannKendall” e pacote “trend” função “pettitt.test” (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estação fluviométrica Senhora do Porto (56800000), apresentou tendência significativa de redução para vazão mínima com mudança de comportamento no ano de 1996. E para as vazões máximas e médias, não houve tendências significativas, ou seja, o padrão do comportamento dessas vazões permaneceu uniforme.

Na Figura 2 está representada a estação fluviométrica com a vazão mínima que apresentou comportamento não estacionário, sendo a linha em vermelho um indicativo da tendência dos dados, sendo de notoriedade a redução das vazões mínimas. A região de cor cinza indica os desvios nos dados observados, confirmando com o ponto de mudança da série total.

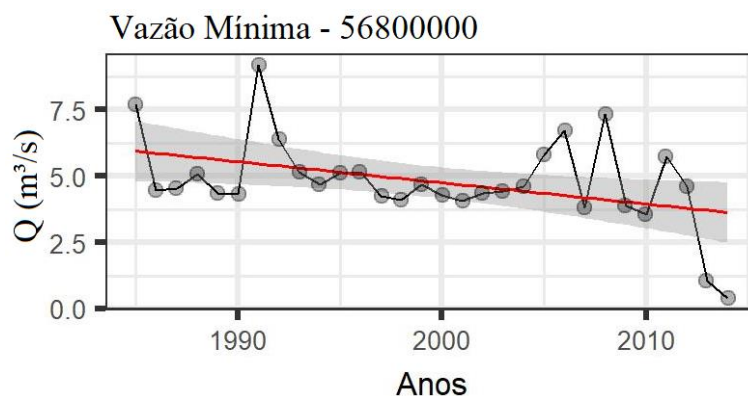


Figura 2 – Comportamento dos dados de vazão mínima que apresentou tendência na vazão mínima ao longo da série histórica (1985 a 2014).

Para os resultados das estações pluviométricas, nenhuma das estações apresentaram tendência de variação significativa para as precipitações anuais, semestre chuvoso e semestre seco. Essa constatação evidencia que as precipitações, provavelmente não contribuíram para a redução da vazão, confirmando com estudo realizado por Wang et al. (2013) e Zhang et al. (2011), onde observaram tendência de redução significativa na vazão, no entanto, não obtiveram tendências significativas em relação aos dados de precipitações.

As mudanças ocorridas na série de vazão mínima, a princípio, não tiveram relação com a variação da precipitação. Dessa forma, a redução da Q_7 nas séries totais da estação fluviométrica é decorrente, possivelmente, do aumento da demanda de água e a variação do uso e cobertura da terra.

Na Figura 3 está apresentada o percentual de uso e ocupação da terra nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2014. A maior parte da área é composta por Formação Florestal, Floresta Plantada e Agropecuária, sendo que estas representam cerca de 99% da área total da sub-bacia em estudo, a partir disso, essas foram as classes analisadas.

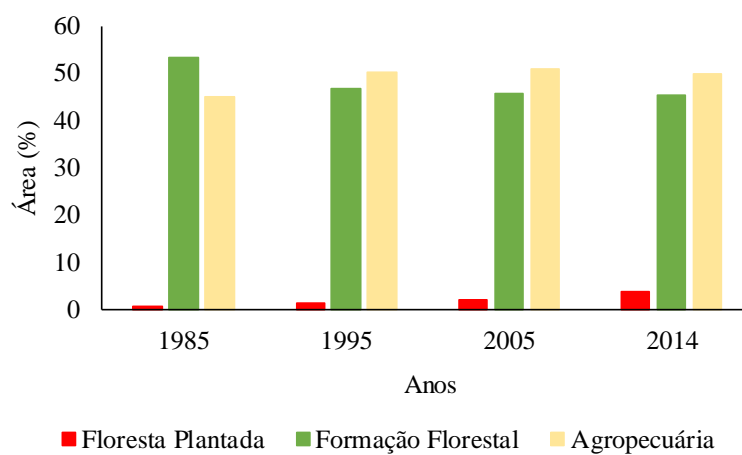


Figura 3 – Evolução dos principais uso e ocupação da terra na área de estudo nos anos de 1985, 1995, 2005 e 2014.

No ano de 1985 havia um baixo percentual de Florestas Plantadas (7 km²), sendo que esta classe não representava nem 0,5% da área, estas são identificadas pela área em vermelho na Figura 3. A predominância maior nesse ano era de Formações Florestais (857 km²), representando 54% do total da área, seguido pela Agropecuária (725 km²), com 45%, nessa época a agricultura e a pecuária já haviam iniciado no processo de expansão.

No ano de 1995 é possível notar uma maior fragmentação das Formações Florestais, um aumento da área de Florestas Plantadas e uma expansão mais expressiva da Agropecuária. As Formações Florestais passaram de uma área de 857 km² para 752 km² reduzindo cerca de 13% de sua área, já as áreas de Florestas Plantadas tiveram um aumento de 235%, sendo que nessa época já detinha 1,4% da área total da bacia, e a Agropecuária também aumentou sua área de forma significativa, cerca de 11%, passando nessa época a representar mais de 50% do total da área de estudo.

Nos anos de 2005 a 2014 a Agropecuária se manteve com aproximadamente 50% do total da área de estudo, já as áreas de Formações Florestais continuou a se fragmentar, reduzindo sua área

cada vez mais com o passar dos anos, chegando no ano de 2014 a ter uma área de 726 km², representando 45% da área, já o maior incremento foram as áreas com Florestas Plantadas, sendo que no ano de 2014 sua representatividade foi de 3,7%, quando comparada com o ano de 1985, essa classe obteve um aumento de cerca de 800%, sendo seu aumento bastante significativo.

Como houve tendência de redução nas vazões mínimas (Q₇), e essa redução não está diretamente associada as mudanças ocorridas no regime de precipitações, possivelmente, essa redução está atrelada ao aumento da demanda de uso pela água, e as variações que ocorrem no uso e cobertura da terra.

O ponto de mudança da tendência de redução da vazão mínima ocorreu no ano de 1996, e pela Figura 3, dentro dos anos analisados (1985 a 2014), o período antecedente a 1995 que ocorreu as maiores variações de uso e ocupação da terra, com redução das Formações Florestais Naturais e aumento expressivo das áreas de Agropecuária e Florestas Plantadas, assim, maiores foram os incrementos nas captações para atender as demandas hídricas das atividades de agricultura, pecuária e do plantio de florestas comerciais.

De acordo com Silva (2019), o desmatamento das áreas de formações florestais, com substituição de áreas agrícolas, de pastagem e para plantio comercial, possivelmente faz com que o solo fique mais compactado, dificultando a infiltração da água no solo, conseqüentemente o lençol freático sofre o rebaixamento, assim reduzindo de forma significativa a vazão dos rios no período da seca, que é quando ocorrem as vazões mínimas (Q₇).

Aires (2018), afirma que estudos do comportamento hidrológico ao longo do tempo são de grande importância para o planejamento e gestão dos recursos hídricos, em especial as vazões mínimas, que são as vazões de referência para utilização da água, sendo essencial para evitar conflitos de usos atuais e futuros da água em bacias hidrográficas.

CONCLUSÃO

Foi possível detectar que para as séries de vazões o comportamento apresentou tendência de redução para vazão mínima com mudança no ano de 1996. E para as vazões máximas e médias, o padrão do comportamento dessas permaneceu uniforme.

Não foi evidenciado mudança de comportamento nas séries precipitações anuais, semestre chuvoso e semestre seco, evidenciando que as precipitações não contribuíram de forma significativa para a redução da vazão.

A mudança de comportamento na série de vazão mínima, possivelmente está associada a variação de uso e cobertura do solo, uma vez que houve reduções significativas das áreas de Formações Florestais e aumento das áreas de Agropecuária e Florestas Plantadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Universidade Federal de Viçosa (UFV), pelo apoio para a realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- AIRES, U. R. V. (2018). “*Utilização de NDVI para análise da influência da modificação da cobertura vegetal no regime de vazões*”. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 97 p.
- BIER, A. A.; FERRAZ, S. E. T.; BIER, A. A.; FERRAZ, S. E. T. (2017). “*Comparação de Metodologias de Preenchimento de Falhas em Dados Meteorológicos para Estações no Sul do Brasil*”. Revista Brasileira de Meteorologia, 32(2), pp. 215–226.
- GOCIC, M.; TRAJKOVIC, S. (2013). “*Analysis of changes in meteorological variables using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in Serbia*”. Global and Planetary Change, 100, pp. 172-182.
- ELY, D.; DUBREUIL, V. (2017). “*Análise das tendências espaço-temporais das precipitações anuais para o estado do Paraná–Brasil*”. Revista Brasileira de Climatologia, 21(13).
- GPRH, (2018). “*Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos: Softwares*”. Disponível em: <<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>. Acesso em: 22 out. 2018.
- JOSEPH, J. F.; FALCON, H. E.; SHARIF, H. O. (2012). “*Hydrologic trends and correlations in south Texas River basins: 1950–2009*”. Journal of Hydrologic Engineering, 18(12), pp. 1653-1662.
- JUNQUEIRA, R.; AMORIM, J. da S.; OLIVEIRA, A. S. de. (2018). “*Comparação entre diferentes metodologias para preenchimento de falhas em dados pluviométricos*”. Sustentare 2(1), pp. 198-210.
- KARMESHU, N. (2012). “*Trend detection in annual temperature & precipitation using the mann kendall test—a case study to assess climate change on select states in the Northeastern United States*”. Dissertação (Master of Environmental Studies) - Department of Earth & Environmental Science, University of Pennsylvania. 33 p.
- KIBRIA, K. et al. (2016). “*Streamflow trends and responses to climate variability and land cover change in South Dakota*”. Hydrology, 3(1), pp. 2.
- MAPBIOMAS (2018). “*Coleção 3.0 O que é o MapBiomass*”. Disponível em: <<http://mapbiomas.org/pages/about/about>>. Acesso em: 18 nov. 2018.

- MARCIANO, A. G.; BARBOSA, A. A.; SILVA, A. P. M. (2018). “*Cálculo de precipitação média utilizando método de Thiessen e as linhas de cumeada*”. *Ambiente e Água*, 13(1), pp. 1.
- MELLO, C. R.; SILVA, A. M. (2013). “*Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas*”. Lavras, UFLA, 455 p.
- MUDBHATKAL, A. et al. (2017). “*Impacts of Climate Change on Varied River-Flow Regimes of Southern India*”. *Journal of Hydrologic Engineering*, 22(9), pp. 0–13.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. (2018). “*R: A language and environment for statistical computing*”. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <<http://www.r-project.org>>.
- SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. (2016). “*Análise de Tendências em Dados de Precipitação e Temperatura no Brasil*”. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 31(1), pp. 64–73.
- SILVA, F. B. (2019). “*Modelagem hidrológica na bacia do rio Paracatu: avaliação do modelo WEAP como ferramenta de planejamento e gestão de recursos hídricos*”. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 108 p.
- VILANOVA, M. R. N. (2014). “*Trends in mean annual streamflows in Serra da Mantiqueira environmental protection area*”. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 57(6), pp. 1004–1112.
- WANG, S.; zhang, x.; liu, z; wang, d. (2013). “*Trend analysis of precipitation in the Jinsha river basin in China*”. *Journal of Hydrometeorology*, 14(1), pp. 290–303.
- WMO, W. M. O. (1988). “*Analyzing long time series of hydrological data with respect to climate variability*”. Geneva: WMO secretariat, 36 p.
- ZHANG, Z.; CHEN, X.; XU, C-Y.; YUAN, L.; YONG, B.; YAN, S. (2011). “*Evaluating the non-stationary relationship between precipitation and streamflow in nine major basins of China during the past 50 years*”. *Journal of Hydrology*, 409(1–2), pp. 81–93.