Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Análise de não homogeneidades de séries de vazão de captações de nascentes na bacia hidrográfica do rio Gramame, PB, Brasil

Adriana Moura Martins¹, Hamilcar José Almeida Filgueira², Azamor Cirne de Azevedo Filho³, Tarciso Cabral da Silva⁴, Marcelo Henriques da Silva Júnior⁵

¹ M.Sc. em Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Campus I, CEP 58051-900, João Pessoa, Paraíba. (83) 3216-7393. agrodryca24@yahoo.com.br (autor correspondente). ² Professor Associado, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental, Campus I, CEP 58051-900, João Pessoa, Paraíba. (83) 3216-7355. hfilgueira@gmail.com. ³ Professor Associado, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Sociais Aplicadas, Departamento de Finanças e Contabilidade, Campus I, CEP 58051-900, João Pessoa, Paraíba. (83) 3216-7459. azamorcirne@uol.com.br. ⁴ Professor Titular, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Laboratório de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental, Campus I, CEP 58051-900, João Pessoa, Paraíba. (83) 3216-7355. tarcisocabral@gmail.com. ⁵ M.Sc. em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Campus I, CEP 58051-900, João Pessoa, Paraíba. (83) 3216-7472. marcelohenriquesjr@gmail.com.

Artigo recebido em 12/12/2019 e aceito em 25/10/2020

RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Gramame, no litoral sul paraibano, apresenta diversas nascentes perenes de água com vazões significativas que atendem a comunidades locais para diversos usos. Este trabalho teve como objetivo analisar quatro séries de vazões de captações de nascentes na região sudoeste da bacia e de dados pluviométricos, quanto à sua homogeneidade, entre os anos de 2010 e 2013. A questão motivadora da análise foi a suposta diminuição das vazões de captação das nascentes por consequência da construção de estradas e desmatamentos em áreas do entorno dessas nascentes. Para a análise da homogeneidade das séries, foram empregados testes estatísticos para determinação dos possíveis pontos de ruptura e de verificação da estacionariedade. Foi constatado que houve ruptura em todas as séries de vazões analisadas.

Palavras-chave: vazões de nascentes, séries hidrometeorológicas temporais, águas subterrâneas.

Analysis of non-homogeneities of time series of flow in sources in the Gramame River basin, Paraíba State, Brazil

ABSTRACT

The Gramame river basin on the south coast of Paraíba State, has several perennial springs with significant flows that serve local communities for various uses. However, the construction of roads, in areas around the springs, and recent deforestation indicated to have caused the decrease in flows captured from sources in the basin. This work aimed at analyzing four data series of flows captured from sources in the southwestern basin and the rainfall data series searching to verify their homogeneity, between the years 2010 and 2013. To analyze the homogeneity of the series, statistical tests were used to find significant change points and to verify the stationarity. It was found that rupture occurred in all series of flow analyzed.

Keywords: flow from springs, hydrometeorological time series, groundwater.

Introdução

A água e os seus crescentes sinais de escassez e de deterioração têm sido uma das maiores preocupações mundiais. A destruição das matas ciliares e a prática do desmatamento em grande escala para a expansão da agricultura e da urbanização sem planejamento, sem os devidos cuidados de conservação do solo, aliadas ao uso de defensivos agrícolas em larga escala, entre outros fatores, vêm aumentando a degradação dos recursos hídricos, diminuindo assim, a quantidade de água de boa qualidade nas bacias hidrográficas.

A necessidade de suprir as demandas de água para o abastecimento humano, para a dessedentação animal e para os usos na agricultura, lazer e industrial, exige técnicas de gestão criteriosa dos recursos hídricos no âmbito municipal, estadual e federal.

O enfrentamento das questões decorrentes da escassez de água, em termos de quantidade e qualidade, para os diversos usos quer seja pela ocorrência de secas, ou pela poluição dos cursos d'água ou ainda pelo aumento da demanda devido ao crescimento populacional, necessita do conhecimento detalhado dos processos hidrológicos regionais.

O Brasil, como em diversos outros países, enfrenta sérios problemas quanto ao uso e distribuição desse recurso em seu território. Apesar de ser considerado como o país que tem a maior reserva de água doce do mundo, a Política Nacional dos Recursos Hídricos e a Agenda 21 mostram aspectos que convergem para a importância da gestão sustentável das águas (Rocha et al., 2011; Aith e Rothbarth, 2015).

Uma maneira racional de fornecer respostas relativas à disponibilidade hídrica para a gestão sustentável dos recursos hídricos em bacias hidrográficas refere-se ao estudo de séries históricas de dados pluviométricos e fluviométricos regionais, incluindo o conhecimento do comportamento das vazões e qualidade da água de nascentes de cursos de água. Nesse sentido, Mohammadi e Shoja (2013), apresentaram os efeitos da precipitação anual nas características dos hidrogramas, como coeficiente de recessão e escoamento de base, em nascentes situadas em áreas cársticas da região de Zagros, no Irã. Grimaldi et al. (2014) e modelou, com base em um paradigma orientado por dados, a resposta à precipitação de uma nascente de origem cárstica situada na região sul da Itália. Já Cai e Ofterdinger (2016) realizaram estudos por meios de métodos de correlação visando investigar a resposta do nível do lençol freático à precipitação e,

consequentemente, obter uma melhor resposta de como funcionam os processos de recarga de algumas nascentes na Irlanda. Robertson et al. (2019) combinaram dados de qualidade de água de nascentes com dados de precipitação pluviométrica, no estudo de eventos de tempestades de mesoescala, para delinear potenciais zonas de recarga locais em *San Solomon Springs*, no complexo regional de nascentes de Balmorhea, Condado de Reeves, Texas, Estados Unidos da América.

As nascentes de cursos de água são resultantes de afloramentos do lençol freático, ou são oriundas de aquíferos artesianos, e têm sido utilizadas com frequência para o consumo humano, dessedentação animal e para a irrigação de cultivos agrícolas de pequenas comunidades. Têm uma enorme importância para o abastecimento humano, como também para a formação e manutenção dos cursos d'água e, consequentemente para as bacias hidrográficas (Kløve et al., 2011; Davis et al., 2017; Ramos et al., 2018; Sun et al., 2019). No entanto, essas importantes fontes hídricas, não raro, sofrem sérios problemas de degradação, devido, dentre outros, às alterações dos regimes do fluxo d'água por conta do uso desenfreado do solo para a agricultura e para a expansão urbana, sem o planejamento adequado (Kløve et al., 2014). Esses problemas têm sido observados na bacia hidrográfica do rio Gramame, localizada litoral Sul do estado da Paraíba.

A bacia hidrográfica do rio Gramame tem uma importância muito grande e requer bastante atenção, no que diz respeito à sua disponibilidade hídrica e ao uso do solo, por ser responsável por, aproximadamente, 70 % do abastecimento urbano de água da cidade de João Pessoa e dos municípios de Conde, Bayeux, Cabedelo, Pedras de Fogo e Santa Rita, todos no estado da Paraíba.

É também uma bacia importante para a produção agrícola. O seu alto curso, por exemplo, trata-se de uma região composta por vários assentamentos rurais, promovidos pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), de pequenos agricultores com características para exploração agrícola familiar.

A importância estratégica dessa bacia hidrográfica impõe o planejamento no sentido de se obter ações adequadas para a restauração dos seus rios e nascentes, além da regulação do uso do solo. Em particular as suas nascentes têm sido alvo de agressões por conta de obras viárias ou uso agrícola no seu entorno.

Assim, esta pesquisa refere-se a um estudo realizado sobre a influência antrópica nas vazões de captações de água de nascentes. A hipótese que se colocava era que a diminuição das vazões observadas nas captações de nascentes era decorrente das mudanças no uso do solo e da construção de estradas nas áreas no entorno das nascentes. Em particular, as captações Cabelão e Cacimba da Rosa poderiam ter sido impactadas devido a obras de aterros para construções de estradas a montante, a menos de 100 metros de distância.

Para tanto, foram feitas medições de vazão constituindo quatro séries no período de janeiro de 2010 a maio de 2013. Seguiram-se análises estatísticas das séries resultantes das medições nas quatro captações de nascentes, sendo duas delas supostamente impactadas (Cabelão e Nova Aurora) e duas sem mudança significativa recente no uso do solo no seu entorno (Fazendinha e Cacimba da Rosa). Assim, considerou-se que, caso tivesse havido mudanças no sistema de fluxo subterrâneo contribuinte para as nascentes em decorrência das obras de aterro das estradas, as vazões das captações deveriam ser

afetadas apenas nas séries de vazões daquelas diretamente impactadas pelas obras, uma vez que os outros fatores, como as técnicas de obtenção, permaneceram invariáveis.

Também foram realizadas análises das precipitações pluviométricas ocorridos na região, visando detectar possíveis mudanças na homogeneidade da série da pluviometria disponível e evidente influências nas séries de vazão das captações.

Material e métodos

Caracterização da Área de Estudo

O estudo relativo às vazões das captações de nascentes foi realizado na bacia hidrográfica do rio Gramame na porção do seu alto curso, na zona rural do município de Pedras de Fogo. Foram escolhidas quatro captações de nascentes dentre as 71 catalogadas por Di Lorenzo (2007), sendo três localizadas na sub-bacia hidrográfica do Gramame, Cabelão, Cacimba da Rosa e Nova Aurora e uma na sub-bacia do rio Mumbaba, afluente do rio Gramame: Comunidade Fazendinha (Figura 1).

Figura 1. Localização das captações na bacia hidrográfica do rio Gramame, Paraíba.

O clima do município é classificado conforme Köppen como do tipo AS', quente e úmido, tropical chuvoso, com chuvas concentradas no período de outono e inverno,

começando no mês de abril podendo chegar até o mês de julho, ocorrendo nesse período baixa temperatura. Esse município faz parte da Mesorregião da Mata Paraibana, com uma

pluviometria média anual de 1.500 mm, e uma temperatura oscilando de 18 °C a 30 °C.

Segundo Costa (2011), os solos mais encontrados na Região de Pedras de Fogo, são: Alissolos, Neossolos Flúvicos e Neossolos Quartzarênicos.

A vegetação ocorrente no passado era de Mata Atlântica, principalmente componente do subsistema denominado “Capoeirão”. Restam apenas fragmentos espaçados dessa vegetação original. A predominância atual é da cultura da cana de açúcar, seguida do abacaxi e de culturas de subsistência.

Caracterização das Captações de Nascentes Estudadas

As captações de nascentes estudadas são do tipo freática e perene, sendo três captações de poço raso e uma em dreno com caixa a jusante. Essas captações são de pequeno porte e de características simples de construção (Figura 2). O Quadro 1 resume algumas características das nascentes estudadas.

Figura 2. Localização e imagens das captações das nascentes estudadas na bacia hidrográfica do rio Gramame, Pedras de Fogo, Paraíba.

Quadro 1. Características das nascentes estudadas

Captação	Tipo de nascente	Tipo de captação
Cabelão	Freática de encosta	Com dreno e caixa rasa a jusante
Nova Aurora	Freática	Poço Raso de manilha de concreto
Cacimba da Rosa	Freática	Poço Raso em alvenaria, seção retangular
Fazendinha	Freática	Poço Raso em alvenaria, seção circular

Fonte: adaptado de Cabral da Silva et al. (2011).

Procedimentos Metodológicos

O trabalho foi realizado em duas etapas. A primeira etapa consistiu dos trabalhos realizados em campo para obtenção dos dados de pluviometria e vazões mensais nas quatro nascentes estudadas, no período de janeiro de 2010 a março de 2013. As precipitações foram medidas e armazenadas por meio de pluviômetro automático de báscula para uso com *datalogger* instalado na comunidade Nova Aurora. As vazões foram medidas utilizando-se métodos simples adequados a cada tipo de captação: para poços rasos o procedimento adotado o método do rebaixamento do nível dinâmico descrito em Daker (1983). As vazões da captação da nascente Cabelão foram quantificadas a partir de medições utilizando-se o método volumétrico.

A segunda etapa tratou das análises das séries hidrometeorológicas resultantes, compreendendo as vazões oriundas das captações de nascentes e dos dados pluviométricos do mesmo período, utilizando estatísticas pertinentes. As análises estatísticas consistiram na verificação da estacionariedade das séries de vazões mensais das nascentes e das séries de precipitações pluviométricas ocorridas nas áreas de influência dessas. Foram empregados os seguintes procedimentos: 1) aplicação do teste de Pettitt para determinação do possível ponto de ruptura das séries derivadas de ações antrópicas, por exemplo; 2) aplicação do teste de normalidade e do teste “U”.

Procedimentos Estatísticos

Os procedimentos estatísticos realizados para verificar se ocorreram mudanças significativas no padrão das séries de vazão e de precipitação incluíram os seguintes testes: o teste de Pettitt, o teste de normalidade de Shapiro-Wilk e o teste “U” (Mann-Whitney).

O teste de Pettitt é um teste não paramétrico, que se constitui como uma versão do teste de Mann-Whitney (Pettitt, 1979). O teste de Pettitt possibilita a localização do ponto em que ocorre uma mudança (*changing point*) em uma série temporal, ou seja, o ponto no qual ocorreu uma mudança brusca na média dos valores da série (Ahmed et al., 2018). Essa mudança abrupta é entendida como uma alteração na estatística da sequência dos dados, ocasionando a passagem de um regime para outro (Rybski e Neumann, 2011; Mallakpour e Villarini, 2016). Esse teste tem sido largamente utilizado para estudar mudanças abruptas em fenômenos de natureza hidrológica, climática ou hidroclimatológica, associadas ou

não à intervenção humana (Smadi e Zghoul, 2006; Villarini et al., 2009; Zhang e Lu, 2009; Gao et al., 2011; Andang’o et al., 2016; Mallakpour e Villarini, 2016; Memarian et al., 2016).

Hakuba et al. (2013), no período de 2.000 a 2.007 em um estudo sobre homogeneidade em séries curtas com valores mensais de dados de radiação solar superficial obteve bons resultados ao utilizar o teste de Pettitt em mais de 269 estações espalhadas pela Europa. Da mesma forma, Bru et al. (2011) utilizou o método de Pettitt na detecção de mudanças bruscas ou significativas em séries curtas de dados relativos à ecologia comportamental.

O teste não paramétrico de Pettitt é baseado em postos, ao invés dos valores, da série (Peterson et al., 1998; Wijngaard et al., 2003); não precisa que os dados estejam distribuídos de acordo com uma distribuição específica; possui a vantagem de ser resistente e não ser influenciado pela presença de *outliers* (Verstraeten et al., 2006; Mallakpour e Villarini, 2016). É considerado um teste robusto em relação a mudanças na distribuição e relativamente poderoso, se comparado com o teste de Wilcoxon-Mann-Whitney (Kundzewicz e Robson, 2004).

De acordo com Orwin e Pennart (2012), o teste de Pettitt pode ser aplicado até com tamanho de amostras menores do que 30. Esse método também oferece recursos para se calcular o nível de significância estatística do teste (Naghetini, 2016).

No teste de Pettitt (1979), uma série de comprimento T dada por $(X_1, X_1, \dots, X_T)$, é considerada como duas subamostras representadas por $X_1, X_4, \dots, X_t$ e $X_{t+1}, X_{t+2}, \dots, X_T$ e pode ser representado matematicamente como (Nazemosadat et al., 2006; Shen et al., 2018):

$$V_{t,T} = \sum_{j=1}^T \text{sgn}(X_t - X_j)$$

(1)

$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + V_{t,T} \quad \text{para } t = 2, \dots, T$$

(2)

$$U_{1,T} = V_{1,T}$$

(3)

Sendo: $\text{sgn}(x) = 1$, se $x > 0$; 0 , se $x = 0$; -1 , se $x < 0$.

A estatística $U_{t,T}$ faz uma contagem do número de vezes que um membro da primeira subamostra é maior que um membro da segunda e essa estatística é calculada para os valores de $1 \leq t \leq T$ e a estatística $k(t)$ do teste de Pettitt é o máximo valor absoluto de $U_{t,T}$.

$$k(t) = \text{MAX}_{1 \leq t \leq T} |U_{t,T}|$$

(4)

Esta estatística permite localizar o ponto onde houve uma ruptura (*changing point*) de uma série temporal, ou seja, o ponto de mudança brusca é o 't' onde ocorre o máximo $k(t)$ e a sua significância pode ser calculada aproximadamente pela equação (Song et al., 2019):

$$p = 2 \cdot \exp\{-6 \cdot (k(t))^2 / (T^3 + T^2)\} \quad (5)$$

O teste tem como hipótese nula (H_0) e alternativa (H_1):

H_0 : não existe mudança brusca na série;

H_1 : existe mudança brusca.

Para esses testes foi adotado o nível de significância (α) de 5% e o valor crítico de K pode ser calculado pela equação:

$$k_{crit} = \pm \sqrt{\frac{-\ln(p/2)(T^3 + T^2)}{6}} \quad (6)$$

Com a obtenção do ponto de ruptura obtido do teste de Pettitt, cada série de vazão e de pluviometria é dividida em duas subamostras (subamostra 1 e subamostra 2). Para comprovar os resultados dos testes de Pettitt, ou seja, verificar se as médias de cada uma das duas subamostras de cada teste realmente diferem, também foi realizado teste de hipóteses para igualdade de médias para cada série de vazão e de pluviometria.

Previamente ao teste de médias, foi realizado um teste de normalidade para cada uma das duas subamostras de cada série resultante do teste de Pettitt. Como as amostras são pequenas ($n < 50$), o teste de normalidade utilizado foi o de Shapiro-Wilk (Shapiro; Wilk, 1965; D'Agostino, 1971; Gupta, 2017). Segundo Frain (2007), devido às dificuldades em se calcular a matriz de covariância necessária à realização do teste de

Shapiro-Wilk, esse teste foi originalmente desenvolvido para séries de dados com até 50 elementos. De acordo com Thode Jr. (2002), muitos pesquisadores consideram o teste de Shapiro-Wilk como a melhor escolha entre os diversos testes de normalidade existentes. Este teste foi formulado sob as seguintes hipóteses ao nível de significância de 5%:

H_0 : a amostra tem distribuição normal;

H_1 : a amostra não tem distribuição normal.

Como a hipótese nula de normalidade ao nível de significância de 5% foi rejeitada, optou-se pelo teste não paramétrico de "U" de Mann-Whitney, em substituição ao teste paramétrico "t".

O teste "U" de Mann-Whitney é um teste não-paramétrico, alternativo ao teste "t" de Student, utilizado para comparar as médias de duas subamostras independentes (Conover, 1999; Sheskin, 2004; García-Marín, 2020).

Para esse teste as hipóteses podem ser formuladas do seguinte modo:

H_0 : $\mu_1 = \mu_2$ (as médias são iguais);

H_1 : $\mu_1 \neq \mu_2$ (as médias são diferentes).

Resultados e discussão

As vazões foram medidas no período de janeiro de 2010 a março de 2013, com intervalo aproximado de 30 dias. Assim, foram realizadas 149 medições de vazão. Na Tabela 1 são detalhadas as vazões mínimas e máximas obtidas das medições realizadas em cada captação, além da média e do coeficiente de variação (CV).

Tabela 1. Valores do número de medições realizadas n, vazões (L/min) mínimas, médias, máximas e do coeficiente de variação

Captação	n	$Q_{\min}$	$Q_{\text{méd}}$	$Q_{\max}$	CV
Cabelão	39	2,60	25,66	82,79	0,73
Nova Aurora	39	5,60	10,48	20,31	0,34
Cacimba da Rosa	37	39,90	57,46	90,47	0,18
Fazendinha	34	2,80	11,19	23,87	0,51

Onde: n = número de medições; $Q_{\min}$ = vazão mínima; $Q_{\text{méd}}$ = vazão média; $Q_{\max}$ = vazão máxima; CV = coeficiente de variação.

As medições foram realizadas em um período que abrangeu praticamente três anos hidrológico.

Os valores das vazões medidas, nos meses de janeiro de 2010 a março de 2013, apresentaram grandes variações entre elas com mínimo de 2,60 L/min em Cabelão até o máximo de 90,47 L/min em Cacimba da Rosa. A menor vazão média foi

de 10,48 L/min da captação Nova Aurora. Já a maior vazão média foi 57,46 L/min da captação Cacimba da Rosa.

As vazões medidas em cada captação apresentaram variações que indicam haver influência de fatores determinantes na formação das vazões (Klørve et al., 2014; Gebrehiwot et al., 2019). O coeficiente de variação de 0,73 da

captação Cabelão, valor superior aos das demais, pode ser explicado devido a sua classificação como nascente freática de encosta, portanto mais sensível a influências externas. Por outro lado, a captação Cacimba da Rosa apresentou a menor sensibilidade representada pelo seu baixo coeficiente de variação de apenas 0,18. Cai e Offerdinger (2016) verificaram que, por exemplo, poços nos leitos rochosos rasos ou profundos na base da encosta, tiveram respostas rápidas à chuva com pequenas variações sazonais.

As vazões nas captações Fazendinha e Nova Aurora não tiveram variações expressivas. Isso demonstra que essas captações apresentaram

pequenas respostas para as precipitações pluviométrica ocorridas anteriormente.

Os valores das precipitações médias mensais variaram de 292,7 mm no mês de julho a 15,8 mm no mês de novembro, sendo o mês de novembro de 2011, o de menor valor mensal com 2,8 mm e o mês de julho de 2011, com o maior valor mensal, 555,5 mm. A média anual para o período estudado foi de 1.471,6 mm. A maior precipitação diária registrada neste período foi de 163,0 mm, ocorrida no dia 29 de maio de 2011.

Os valores das vazões e das precipitações diárias obtidas foram plotados e estão apresentados na Figura 3.

Figura 3. Valores de vazões medidas nas quatro captações e das precipitações diárias ocorridas.

De forma similar aos resultados descritos por Fontes Júnior et al. (2012) e Andrade et al. (2016), pode ser observado que ascensão do nível do lençol freático, coincidindo com a estação chuvosa, identifica que a precipitação pluviométrica determina a ascensão média do nível do lençol freático. Em seguida, após o término do período chuvoso, ocorre uma redução do nível da água.

Nesse período estudado foram observadas precipitações extraordinárias com valores que atingiram mais de 80 mm em sete dias, e em duas ocasiões o valor diário foi superior a 160 mm.

Resultados dos Testes Estatísticos

Os resultados dos testes de Pettitt para localização dos pontos de ruptura para as séries de vazões das captações Cabelão, Nova Aurora, Cacimba da Rosa e Fazendinha e para a série de dados pluviométricos estão apresentados na

Tabela 2. Nesta tabela, n representa a quantidade de dados de cada série, n1 e n2 representam a quantidade de dados de cada uma das duas amostras em que a série ficou dividida após o teste de Pettitt. O teste de Pettitt tem como hipótese nula a homogeneidade da série e todos os testes foram verificados ao nível de significância de 0,05 (5%). Como pode ser visto na Tabela 2, todas as séries de vazão apresentaram ponto de ruptura com nível de significância de 0,000 (0%); portanto ao nível de significância de 5% podemos afirmar que existe ruptura em todas as séries de captação. A série de dados pluviométricos apresentou um ponto de ruptura ao nível de significância de 0,161 (16,1%), portanto ao nível de significância de 5% não podemos afirmar que existe ruptura na série de dados pluviométricos.

Tabela 2. Resultado dos testes de Pettitt para as séries de vazão (L/min) e de precipitação (mm)

Estatísticas	Cabelão	Nova Aurora	Cacimba da Rosa	Fazendinha	Precipitação
Significância do teste p(k)	0,000	0,000	0,000	0,000	0,161
Intervalo de ocorrência da ruptura	27/4/2011 a 25/5/2011	25/5/2011 a 27/6/2011	27/4/2011 a 25/5/2011	27/6/2011 a 20/7/2011	24/08/2011 a 19/09/2011
Séries completas					
N	39	39	36	33	39
Média	25,66	10,48	57,46	11,19	117,40
Variância	349,12	12,45	107,17	32,13	19.066,58
Desvio padrão	18,68	3,529	10,352	5,668	138,08
Amostra 1					
n ₁	16	17	13	12	20
Média	12,42	8,10	49,28	5,31	154,02
Variância	86,35	1,078	57,11	4,11	26.194,60
Desvio padrão	9,29	1,04	7,56	2,03	161,85
Amostra 2					
n ₂	23	22	23	21	19
Média	34,87	12,31	62,08	14,56	78,86
Variância	327,95	13,59	77,43	16,45	9544,61
Desvio padrão	18,11	3,69	8,80	4,06	97,70

Onde: N = quantidade total de dados; n₁ = quantidade de dados da série 1; n₂ = quantidade de dados da série 2.

A Figura 4 ilustra o procedimento feito com a aplicação do teste de Pettitt para a série de vazões da captação Cabelão, sendo média₁, a

média dos valores da amostra 1 e média₂, a média da amostra 2.

Figura 4. Ponto de ruptura e valores médios das vazões medidas e calculadas para as amostras 1 e 2 da captação Cabelão.

Resultados do Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk

série Fazendinha apresentaram normalidade ao nível de significância de 5%.

Como pode ser visto na Tabela 3, relativa aos resultados dos testes de normalidade, apenas a amostra 1 da série Nova Aurora e a amostra 2 da

Tabela 3. Resultados dos testes de normalidade para as séries de vazão e de precipitação

Teste de Shapiro-Wilk		Séries				
		Cabelão	Nova Aurora	Cacimba da Rosa	Fazendinha	Precipitação
Significância do teste	amostra 1	0,034	0,444	0,000	0,003	0,001
	amostra 2	0,025	0,000	0,010	0,723	0,000

Resultados do Teste “U” de Mann-Whitney para Comparação de Médias

O teste escolhido para comparação de médias de valores de vazões e das precipitações foi o teste “U” de Mann-Whitney. Esse teste foi utilizado pelo fato das amostras 1 e 2 de cada série não apresentarem distribuição normal.

Ratificando os resultados dos testes de Pettitt (Tabela 2), o teste de comparação de

médias (Tabela 4) mostrou que, ao nível de significância de 5%, todas as amostras de cada série de vazão apresentam médias diferentes. Apenas a série de pluviometria não rejeitou a hipótese de igualdade de médias ao nível de significância de 5%.

Tabela 4. Resultados do teste “U” de comparação de médias para as séries de vazão e de precipitação

Teste “U”	Séries				
	Cabelão	Nova Aurora	Cacimba da Rosa	Fazendinha	Precipitação
Significância do teste	0,000	0,000	0,000	0,000	0,056

A aplicação do teste de médias, ou o teste “U”, indicou, ao nível de significância de 5,6%, serem diferentes as médias das duas subamostras derivadas série pluviométrica.

Conclusões

Neste artigo relatou-se sucintamente o conjunto dos trabalhos realizados no alto curso da bacia hidrográfica do rio Gramame relativos à investigação sobre a variação das vazões ocorridas em quatro estruturas de captação de nascentes entre os anos 2010 e 2013. Assim, foram realizadas medições de vazão nas captações de nascentes estudadas e aplicados testes estatísticos para verificação da homogeneidade das séries obtidas de vazão e de pluviometria.

A hipótese considerada era que tinha havido influências externas, de origem antrópica, no comportamento das séries de vazão, uma vez que em duas das captações, Cabelão e Cacimba da Rosa, poderiam ter ocorrido impactos decorrentes da construção da rodovia que ocorreu perto de áreas a montante e a jusante dessas captações, respectivamente. Na ocasião da construção, ocorreram desmatamentos, cortes e aterros,

provocando compactação do solo nessas áreas o que poderia ter afetado o escoamento subterrâneo alimentador dessas captações de nascentes.

As chuvas ocorridas entre os dias 491 e 631, respectivamente nos dias 06/05/2011 e 23/09/2011, entre os quais ocorreram as máximas precipitações diárias nos valores de 163 mm no dia 20/05/2011 e 169 mm no dia 17/07/2011, no segmento final da primeira subamostra, praticamente na interface com a segunda subamostra, explicam a média maior das vazões observadas na primeira subamostra, muito embora as vazões médias maiores tenham ocorrido no período correspondente as segundas subamostras.

As séries de vazões obtidas apresentaram comportamentos que não puderam ser interpretados como similares. Apesar das captações Fazendinha e Nova Aurora apresentarem comportamentos semelhantes com relativamente poucas variações percentuais de vazão, a série da captação Cabelão se mostrou extremamente sensível às precipitações ocorridas, do que resultou o maior coeficiente de variação entre as séries de vazão das captações estudadas.

O tipo diferente dessa captação, nascente freática de encosta com captação de dreno e caixa rasa a jusante, explica o comportamento diverso dessa série de vazões frente às demais séries analisadas.

Foi constatado, a partir do teste de Pettitt para as séries analisadas, que houve ruptura em todas as séries de vazão entre os meses de abril e junho.

Igualmente ao teste de Pettitt, o teste “U” (Mann-Whitney) também comprovou que as médias das amostras 1 e 2 de cada uma das séries de vazão são diferentes ao nível de significância de 5%. Portanto, atestando que houve uma diferença nas médias das vazões de antes e de depois das datas de ruptura verificadas nos testes de Pettitt.

Quanto a série pluviométrica analisada, representativa do local, não foi possível detectar ruptura por meio do teste de Pettitt ao nível de significância de 5%.

A hipótese de que houve ações antrópicas influentes não pôde ser comprovada, uma vez que foi verificada a ruptura nas quatro séries de vazão. As rupturas nas séries de vazão podem ser explicadas pela mudança de padrão das precipitações ocorridas no período analisado.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro para o desenvolvimento da pesquisa denominada “Análise do potencial de ações integradas para a restauração das funções ecológicas nas nascentes do rio Gramame (PB), sob a influência de unidades rurais de produção familiar”, Edital MCT-CNPq-CT-Agronegócio-CT-Hidro - N°27/2008, processo 574633/2008-1; e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsas de estudo de cursos de pós-graduação, mestrado.

Referências

Aith, F.M.A., Rothbarth, R., 2015. O estatuto jurídico das águas no Brasil. Estudos Avançados 29(84), 163-177. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142015000200011>. Acesso: 12 ago. 2019.

Ahmed, K., Shahid, S., Ismail, T., Nawaz, N., Wang, X.-J., 2018. Absolute homogeneity assessment of precipitation time series in an arid region of Pakistan. Atmosfera 31(3), 301-316. Disponível: <https://doi.org/10.20937/atm.2018.31.03.06>. Acesso: 26 ago. 2020.

Andang'o, H.A., Ouma, J.O., Muthama, N.J., Opere, A.O., 2016. Investigating the homogeneity of monthly rainfall records in Kenya. J. Meteorol. Relat. Sci. 9(4), 48-54. Disponível: <http://dx.doi.org/10.20987/jmrs.4.05.2016>. Acesso: 26 ago. 2020.

Andrade, E.M., Aquino, D.N., Luna, N.R.S., Lopes, F.B., Crisóstomo, L.A., 2016. Dinâmica do nível freático e da salinização das águas subterrâneas em áreas irrigadas. Revista Ceres 63(5), 621-630. Disponível: <https://doi.org/10.1590/0034-737x201663050005>. Acesso: 03 mai. 2019.

Bru, N., Biritxinaga, E., D'Amico, F., 2011. Detection of significant changes in short time series: applications to the analysis of annual routines in behavioural ecology and the analysis of breaks in abundance. In: Chan, F.; Marinova, D.; Anderssen, R. S. (Ed.). International congress of modelling and simulation, 19, MODSIM 2011, Perth, Australia, 12-16 December 2011. Proceedings... Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand: Australia, 1,652-1,658.

Cabral da Silva, T., Filgueira, H.J.A., Cavalcanti, A.K., Alencar, R.I.S., Pedrosa Filho, L.A., 2011. Caracterização de captações de águas de nascentes na bacia do rio Gramame: avaliação quantitativa preliminar. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 19. Maceió, AL, 27 de novembro a 01 de dezembro de 2011. Anais... Porto Alegre: ABRH, 1-16.

Cai, Z., Ofterdinger, U., 2016. Analysis of groundwater-level response to rainfall and recharge estimates in fractured hard rock aquifers, NW Ireland. Journal of Hydrology 535, 71-84. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.066>. Acesso: 03 jun. 2019.

Conover, W.J., 1999. Practical nonparametric statistics. 3. ed. New York: Wiley, 592p.

Costa, F.F., 2011. Avaliação ambiental em áreas de nascentes da bacia hidrográfica do alto curso do Rio Gramame – PB. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) - Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, Paraíba, 98p.

D'Agostino, R.B., 1971. An omnibus test of normality for moderate and large size samples. Biometrika 58(2), 341-348.

Daker, A., 1983. Captação, elevação e melhoramento da água. A água na agricultura

- 2, 6. ed. ver. E ampl. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 408p.
- Davis, J.A., Kerecsy, A., Nicol, S., 2017. Springs: conserving perennial water is critical in arid landscapes. *Biological Conservation* 211, 30-35. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.12.036>. Acesso: 20 mai. 2019.
- Di Lorenzo, I.D.N., 2007. Reflorestamento das áreas de nascentes do município de Pedras de Fogo. Pedras de Fogo, PB: EMATER/PB, 14p.
- Frain, J., 2007. Small sample power of tests of normality when the alternative is an α -stable distribution. TEP Working Paper No. 0207. Trinity Economic Papers, Department of Economics, Trinity College Dublin. 51p.
- Gao, P., Mu, X.-M., Wang, F., Li, R., 2011. Changes in streamflow and sediment discharge and the response to human activities in the middle reaches of the Yellow River. *Hydrology and Earth System Sciences* 15, 1-10. Disponível: <https://doi.org/10.5194/hess-15-1-2011>. Acesso: 23 set. 2019.
- García-Marín, A.P., Estévez, J., Morbidelli, R., Saltalippi, C., Ayuso-Muñoz, J.L., Flammini, A., 2020. Assessing inhomogeneities in extreme annual rainfall data series by multifractal approach. *Water*. 12(4). 1030. Disponível: <https://doi.org/10.3390/w12041030>. Acesso: 26 ago. 2020.
- Gebrehiwot, S.G., Di Baldassarre, G., Bishop, K., Halldin, S., Breuer, L., 2019. Is observation uncertainty masking the signal of land use change impacts on hydrology?. *Journal of Hydrology* 570, 393-400. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.12.058>. Acesso: 29 ago. 2020.
- Grimaldi, S., Crispino, G., Doglioni, A., Summa, G., Simeoni, A., 2015. Data-driven analysis of discharge variations at Mercure Spring south Italy. *Engineering Geology for Society and Territory* 5, 655-659. Disponível: https://doi.org/10.1007/978-3-319-09048-1_128. Acesso: 23 mai. 2019.
- Gupta, R.S., 2017. Hydrology & hydraulic systems. 4. ed. Waveland Press, Inc., Long Grove, Illinois, USA. 888p.
- Hakuba, M., Sanchez-Lorenzo, A., Folini, D., Wild, M., 2013. Testing the homogeneity of short-term surface solar radiation series in Europe. *AIP Conference Proceedings* 1531, 700-703. Disponível: <https://doi.org/10.1063/1.4804866>. Acesso: 20 jun. 2019.
- Kløve, B., Ala-Aho, P., Bertrand, G., Boukalova, Z., Ertürk, A., Goldscheider, N., Ilmonen, J., Karakaya, N., Kupfersberger, H., Kværner, J., Lundberg, A., Mileusnić, M., Moszczynska, A., Muotka, T., Preda, E., Rossi, P., Siergieiev, D., Šimek, J., Wachniew, P., Angheluta, V., Widerlund, A., 2011. Groundwater dependent ecosystems. Part I: hydroecological status and trends. *Environmental Science & Policy* 14, 770-781. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2011.04.002>. Acesso: 14 ago. 2019.
- Kløve, B., Ala-Aho, P., Bertrand, G., Gurdak, J.J., Kupfersberger, H., Kværner, J., Muotka, T., Mykrä, H., Preda, E., Rossi, P., Uvo, C.B., Velasco, E., Pulido-Velazquez, M., 2014. Climate change impacts on groundwater and dependent ecosystems. *Journal of Hydrology* 518, 250-266. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.06.037>. Acesso: 14 ago. 2019.
- Kundzewicz, Z.W., Robson, A.J., 2004. Change detection in hydrological records - a review of the methodology. *Hydrological Sciences. Journal des Sciences Hydrologiques* 49(1), 7-19.
- Mallakpour, I., Villarini, G., 2016. A simulation study to examine the sensitivity of the Pettitt test to detect abrupt changes in mean. *Hydrological Sciences Journal* 61(2), 245-254. Disponível: <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1008482>. Acesso: 20 jun. 2019.
- Memarian, H., Balasundram, S.K., 2016. Hydrological trend analysis integrated with landscape analysis at the watershed scale (case study: Langat Basin, Malaysia). In: Almusaed, A. (Ed.), *Landscape ecology: the influences of land use and anthropogenic impacts of landscape creation*. Chapter 4, InTech Publishing, Rijeka, Croatia, 61-84. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5772/62463>. Acesso: 25 ago. 2020.
- Mohammadi, Z., Shoja, A., 2014. Effect of annual rainfall amount on characteristics of karst spring and hydrograph. *Carbonates Evaporites* 29, 279-289.
- Naghattini, M. (ed.), 2016. *Fundamentals of statistical hydrology* 1. 1. ed. Switzerland: Springer Nature, 671p.
- Nazemosadat, M.J., Samani, N., Barry, D.A., Niko, M.M., 2006. ENSO forcing on climate change in Iran: precipitation analysis. *Iranian Journal of Science and Technology, Transaction B, Engineering* 30(B4), 555-565.

- Orwin, J., Pennart, H., 2012. Determination of water monitoring Standards for oil and gas operation. Calgary, Alberta, Canada: Matrix Solutions Inc., 86p. (Report Prepared for: Canadian Association of Petroleum Producers, and Shale Gas Water Technical Committee).
- Peterson, T.C., Easterling, D.R., Karl, T. R., Groisman, P., Nicholls, N., Plummer, N., Torok, S., Auer, I., Boehm, R., Gullett, D., Vincent, L., Heino, R., Tuomenvirta, H., Mestre, O., Szentimrey, T., Salinger, J., Førland, E.J., Hanssen-Bauer, I., Alexandersson, H., Jones, P., Parker, D., 1998. Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: a review. *International Journal of Climatology* 18, 1493-1517.
- Pettitt, A.N., 1979. A non-parametric approach to the change-point problem. *Applied Statistics* 28(2), 126-135.
- Ramos, S.T.B., Mafra, M.S.H., Rech, T.D., Siegloch, A.E., Rech, A.F., 2018. Water quality of spring in areas under different land uses in the southern highlands of Santa Catarina. *Ambiente & Água* 13(4, e2201), 1-10. Disponível: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2201>. Acesso: 20 out. 2019.
- Robertson, W.N., Allen, J.T., Wolaver, B.D., Shap Jr., J.M., 2019. Aridland spring response to mesoscale precipitation: implications for groundwater-dependent ecosystem sustainability. *Journal of Hydrology* 570, 850-862. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.12.074>. Acesso: 21 set. 2019.
- Rocha, A.P.T., Abreu, J.S., Furtado, D.A., Baracuh, J.G.V., Fernandes Neto, S., 2011. Manejo ecológico integrado de bacias hidrográficas no semiárido brasileiro. *Campina Grande: EPGRAF* 1, 332.
- Rybski, D., Neumann, J., 2011. A review on the Pettitt test. In: Kropp, J.P., Schellnhuber, H.-J. (eds.), *In extremis*. Berlin: Springer, 202-213. Disponível: https://doi.org/10.1007/978-3-642-14863-7_10. Acesso: 14 set. 2019.
- Shapiro, S.S., Wilk, M.B., 1965. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika* 52(3/4), 591-611.
- Shen, D.; Bao, W.; Ni, P., 2018. A method for detecting abrupt change of sediment discharge in the Loess Plateau, China. *Water* 10(9), 1183. Disponível: <https://doi.org/10.3390/w10091183>. Acesso: 26 jul. 2020.
- Sheskin, D.J., 2004. Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures. 3. ed. Florida: Chapman & Hall/CRC, 1,193p.
- Smadi, M.M., Zghoul, A., 2006. A sudden change in rainfall characteristics in Amman, Jordan during the Mid 1950's. *American Journal of Environmental Sciences* 2(3), 84-91.
- Song, X., Zhang, J., Zhang, C., Zou, X., 2019. A comprehensive analysis of the changes in precipitation patterns over Beijing during 1960-2012. *Advances in Meteorology* 2019, 1-22. Disponível: <https://doi.org/10.1155/2019/6364040>. Acesso: 26 ago. 2020.
- Sun, Y.; Takemon, Y; Yamashiki, Y., 2019. Freshwater spring indicator taxa of benthic invertebrates. *Ecohydrology & Hydrobiology*, (in press). Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2019.02.003>. Acesso: 21 nov. 2019.
- Thode Jr., H.C., 2002. Testing for normality. New York: Marcel Dekker Inc., 368p. Disponível: <https://doi.org/10.1201/9780203910894>. Acesso: 14 set. 2019.
- Verstraeten, G., Poesen, J., Demarée, G., Salles, C., 2006. Long-term (105 years) variability in rain erosivity as derived from 10-min rain fall depth data for Ukel (Brussels, Belgium): implications for assessing soil erosion rates. *Journal of Geophysical Research* 111(D22109), 1-11. Disponível: <https://doi.org/10.1029/2006JD007169>. Acesso: 03 jun. 2019.
- Villarini, G., Serinaldi, F., Smith, J.A., Krajewski, W.F., 2009. On the stationarity of annual flood peaks in the continental United States during the 20th century. *Water Resources Research* 45(W08417), 1-17. Disponível: <https://doi.org/10.1029/2008WR007645>. Acesso: 12 ago. 2019.
- Wijngaard, J.B., Klein Tank, A.M.G., Können, G.P., 2003. Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *International Journal of Climatology* 23, 679-692. <https://doi.org/10.1002/joc.906>. Acesso: 20 mai. 2019.
- Zhang, S, Lu, X.X., 2009. Hydrological responses to precipitation variation and diverse human activities in a mountainous tributary of the lower Xijiang, China. *Catena* 77(2), 130-142. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2008.09.001>. Acesso: 18 jul. 2019.