ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

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

Efeitos da precipitação na vazão da bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE

Luciana Mayla de Aquino França¹, Caio Cesar Farias Diaz², Josimar Vieira dos Reis³, Valéria Sandra de Oliveira Costa⁴, Josicléda Domiciano Galvêncio⁵

¹Doutoranda do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco - PRODEMA-UFPE, Recife-PE, Brasil. E-mail: lucianamayla@hotmail.com. ²Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPE, Recife-PE, Brasil. E-mail: caio.cesarwow@hotmail.com. ³Doutorando do PRODEMA-UFPE, Recife-PE, Brasil. E-mail: prej86@gmail.com. ⁴Professora colaboradora PRODEMA-UFPE, CAPES/PNPD-PRODEMA, Recife-PE, Brasil. E-mail: costavso@yahoo.com.br. ⁵Professora do PRODEMA-UFPE, Recife-PE, Brasil. E-mail: josicleda@hotmail.com

Artigo recebido em 15/03/2019 e aceito em 20/07/2019

RESUMO

Em estudos hidrológicos se torna importante a obtenção de dados através de estações meteorológicas. Porém, em certas localidades, esses dados possuem muitas falhas, o que pode comprometer diversos estudos. Com isso, o uso de estatística para o preenchimento de falhas e análise de séries climáticas e hidrológicas são fundamentais para a interpretação dessas séries. Assim, este trabalho tem como objetivo aplicar métodos estatísticos no preenchimento de falhas para análise da espacialização das vazões. Foram utilizados dados de precipitação e vazão para algumas localidades da bacia hidrográfica do rio Pajeú dos anos de 1994 a 2013 para a regressão linear e de 1964 a 2014 para a vazão específica. Como forma de preenchimento de falhas, foi utilizado o método de Ponderação Regional para a precipitação e o método Auto Regressivo de Médias Moveis (ARMA) para a vazão. Para analisar se a série tem relação estatisticamente foi utilizado o método de Regressão Linear e para analisar os dados anualmente foi calculada a vazão específica de cada estação. Os resultados demonstram que não há relação entre precipitação e vazão durante o período analisado, onde o melhor valor obtido de r foi 0.0315 para a estação Ilha Grande no município de floresta e a maior vazão específica foi para a estação de Afogados da Ingazeira. Com a análise de regressão linear entre a vazão e a precipitação, foi demonstrado que para essa bacia hidrográfica essas variáveis não possuem significância estatística.

Palavras-chave: análise estatística, regressão, hidrologia.

Effects of precipitation on the flow of the hydrographic basin of the Pajeú-PE river

ABSTRACT

In hydrological studies becomes important to obtain data through meteorological stations. However, in certain localities, such data have many flaws, which can affect several studies. With that, the use of statistics for filling gaps and analysis of climatic and hydrological series are fundamental to the interpretation of these series. Thus, this work aims to apply statistical methods to fill gaps to analyze the flow spatialization. Precipitation data were used and flow to some localities Pajeú River basin of the years of 1994 to 2013 to linear regression and 1964 to 2014 for the specific flow rate. As a way of filling gaps, we used and the Auto Regressive method of Averages (ARMA) to the flow. To determine whether the series has statistically was used the method of Linear Regression and to analyze the data flow was calculated on an annual basis specific to each station. The results show that there is no relationship between precipitation and flow rate during the period under examination, where the best value obtained from r was 0.0315 Ilha Grande station in the municipality of Floresta and the largest specific flow was to the station of Afogados da Ingazeira. With the analysis of linear regression between the flow and the precipitation, it was demonstrated that for this hydrographic basin these variables do not have statistical significance.

Keywords: statistical analysis, regression, hydrology.

Introdução

A água é o recurso natural mais importante para os seres vivos. Quando esse recurso é escasso, compromete todo o desenvolvimento da sociedade, causando prejuízos para as indústrias, irrigação e a população como um todo. Segundo Pruski et al. (2004) de acordo com os padrões de disponibilidade e de qualidade da água, seus usos podem se tornar cada vez mais competitivos entre si, resultando na escassez do recurso e em limitações para seu consumo. Esse fato ocorre com bastante intensidade no semiárido do estado de Pernambuco, devido principalmente as altas temperaturas e a elevada taxa de evapotranspiração, pois a água represada tende a evaporar mais depressa.

De acordo com Cruz e Tucci (2008) o exemplo tradicional é o do uso consuntivo que deriva volume de água para o abastecimento de água doméstico e industrial ou irrigação, reduzindo a vazão no curso de água. Isto tem implicações de diminuir a disponibilidade para jusante e alterar as condições ambientais e de qualidade da água.

O conhecimento do regime hídrico em uma bacia hidrográfica é fundamental nos estudos hidrológicos que servem como base para projetos de diferentes usos de água, sendo indispensável à gestão sustentável dos recursos hídricos (Santos et al., 2009). Na tentativa dessa gestão sustentável muitos pesquisadores no mundo têm utilizado diferentes tecnologias (Schirmbeck, 2017; Anjos et al., 2016; Oliveira et al., 2017) e metodologias (Silva et al., 2016; Cavalcante et al., 2017) para auxiliar na gestão dos recursos hídricos.

Devido a isso, a análise estatística em séries de dados é uma importante ferramenta para se obter informações em séries longas, principalmente devido a melhor compreensão que essas análises fornecem. Por outro lado, sabe-se da falta de informações meteorológicas consistentes, com séries grandes, sem muitas falhas, para que se possam realizar estudos climatológicos confiáveis estatisticamente.

A climatologia depara-se com séries históricas de precipitação que apresentam falhas de registros de dados, gerando um empecilho no entendimento do regime hídrico para a unidade espacial de estudo em questão (Diaz et al., 2018). Por isso, muitas vezes se recorre à associação de dados análogos para que se consiga interpretar o comportamento climático de determinadas localidades, sendo que um dos principais exemplos dessa associação é a utilização dos dados de vazão dos rios como meio de interpretar a precipitação em uma bacia hidrográfica (Limberger e Silva, 2012).

As análises preliminares a serem efetuadas nas séries históricas consistem no preenchimento de falhas e na verificação da consistência, ou seja, do grau de homogeneidade dos dados disponíveis em uma estação de coleta com relação às observações registradas em estações vizinhas (Bertoni e Tucci, 2007; Lemos Filho et al., 2007). Assim, no preenchimento das falhas nas séries históricas é recomendado a seleção das estações meteorológicas da mesma região ecoclimática e altitude semelhante, caracterizando-a como hidrologicamente homogênea (Leivas et al., 2006).

Dentro deste contexto, se faz de extrema importância aliar os estudos a análises estatísticas. Essas análises podem ser realizadas por diversos métodos, um deles é a regressão linear, que consiste em um modelo matemático que associa uma variável dependente com uma ou mais variáveis independentes, servindo para relacionar linearmente se essas séries de dados estão ligadas (Alves, 2016).

Para iniciar um estudo deste tipo se faz necessário primeiramente a análise das séries de dados históricas das estações que se pretende trabalhar. Diversos autores vêm trabalhando com sucesso o uso de métodos estatísticos em estudos climáticos (Pezzi et al., 2000; Penereiro e Orlando, 2013; Costa et al., 2015; Camelo et al., 2017).

Campoazano et al. (2014) testaram a eficiência de 17 métodos determinísticos de preenchimentos de falhas, entre eles a ponderação regional simples e baseada em regressões lineares, sobre lacunas em dados de precipitação e dados diários de temperatura e constataram a eficácia deste último método para a precipitação.

Hidrologicamente, alguns dos fatores mais importantes para análise de vazão, são as vazões mínimas, máximas e médias. Através delas pode-se obter a vazão específica que auxilia na visualização desses fatores. Essa técnica foi usada com sucesso por Pruski et al. (2012) para a bacia hidrográfica do rio Pará e por Molina (2012) para a bacia hidrográfica do rio Amambá.

A quantificação das vazões representa uma das atividades de maior importância para tomadas de decisão adequadas no que diz respeito ao planejamento, aproveitamento e controle de recursos hídricos. Visa identificar áreas em que esse recurso se encontra ou pode vir a se tornar escasso, prever uma quantificação dinâmica e uma precisa definição do quanto, quando, onde e como utilizar os recursos hídricos (Ermenegildo et al., 2012). Além disso, é de grande importância entender a dinâmica espacial da precipitação e vazão na bacia hidrográfica, Silva et al., (2015); Oliveira et al., (2018). Ainda o entendimento e

estimativa da precipitação e vazão tem sido uma busca constante, Anjos et al. (2016).

Com isso, acredita-se que é possível através da relação vazão e precipitação do nordeste do Brasil preencher falhas das séries. Assim, o objetivo deste trabalho é aplicar métodos estatísticos no preenchimento de falhas para análise da espacialização das vazões.

Material e métodos

Caracterização e localização da área em estudo

As estações analisadas estão localizadas na bacia hidrográfica do rio Pajeú (Figura 1). A bacia hidrográfica do rio Pajeú, a maior do estado de Pernambuco, está localizada entre 07° 16' 20" e 08° 56' 01" de latitude sul, e 36°59' 00" e 38°57' 45" de longitude oeste, formando a Unidade de Planejamento Hídrico UP9. Limita-se ao norte com os estados do Ceará e Paraíba, ao sul com o grupo de bacias de pequenos rios interiores 3 - GI3 (UP22), a leste com a bacia do rio Moxotó (UP8) e o estado da Paraíba, e a oeste com a bacia do rio Terra Nova (UP10) e o grupo de bacias de pequenos rios interiores 4 - GI4 (UP23).

O rio Pajeú nasce no município de Brejinho e percorre uma extensão de aproximadamente 353 km. Inicialmente apresenta

sentido nordeste-sudoeste, até desaguar no lago de Itaparica, no rio São Francisco. Seu regime fluvial é intermitente e, ao longo do seu curso, margeia as cidades de Itapetim, Tuparetama, Ingazeira, Afogados da Ingazeira, Carnaíba, Flores, Calumbi, Serra Talhada e Floresta. Seus afluentes principais são: pela margem direita, os riachos Tigre, Barreira, Brejo, São Cristóvão e Belém; e, pela margem esquerda, os riachos do Cedro, Quixabá, São Domingos, Poço Negro e do Navio. (CBHSF, 2014).

O clima na região é semiárido, BShw' segundo a classificação climática de Köppen, sendo característico desse tipo de clima altas temperaturas e baixa precipitação. De acordo com Salgueiro e Montenegro (2008), a mesorregião do sertão do Pajeú é a mais seca do estado de Pernambuco. A vegetação da área é a de caatinga, de caráter arbóreo/arbustivo (IBGE, 2012), com um relevo mais acentuado a nordeste, nos municípios de Triunfo e Santa Cruz da Baixa Verde e um relevo mais suave perto da foz no município de Floresta. Os solos são rasos e em sua maior parte degradado pelo desmatamento, pecuária e agricultura irrigada. Nas proximidades da nascente predomina os Neossolos litólicos e próximo a foz os Luvisolos Crômicos, ambos característicos de áreas com deficiência hídrica. (EMBRAPA, 2006).

Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE.

Aquisição dos dados

Os dados foram obtidos através do portal HidroWeb no site da Agência Nacional de Águas

(ANA, 2018). Nas Tabelas 1 e 2 estão listadas as estações estudadas.

Tabela 1. Estações de vazão.

Código	Nome da estação	Latitude	Longitude	Operadora	Município	Rio	Altitude
48850000	Açude Serrinha	-8°10'20"	-38°31'49"	CPRM	Serra Talhada	Pajeú	375
48860000	Floresta	-8°36'32"	-38°34'36"	CPRM	Floresta	Pajeú	322
48830000	Flores	-7°52'06"	-37°58'22"	CPRM	Flores	Pajeú	460
48820000	Afogados da Ingazeira	-7°44'41"	-37°38'55"	CPRM	Afogados da Ingazeira	Pajeú	525
48880000	Ilha Grande	-8°31'39"	-38°09'59"	CPRM	Floresta	Pajeú	385

Fonte: ANA (2018).

Tabela 2. Estações de precipitação.

Código	Nome da estação	Latitude	Longitude	Operadora	Município	Altitude
737023	Afogados da Ingazeira	-7°44'20"	-37°38'54"	CPRM	Afogados da Ingazeira	525
737027	Flores	-7°52'04"	-37°58'21"	CPRM	Flores	460
838000	AIRI (Rochedo)	-8°32'21"	-38°11'34"	CPRM	Floresta	361
838031	Serra Talhada	-8°0'02"	-38°14'41"	CPRM	Serra Talhada	435

Fonte: ANA (2018).

Metodologia

Preenchimentos dos dados com falhas

Após a análise dos dados, ficou perceptível que para algumas estações os dados estavam inconsistentes. Com isso, houve a necessidade de preenchimento de falhas através de métodos estatísticos. O preenchimento de falhas foi realizado segundo critérios de regressão.

Para o preenchimento de falhas nos dados de precipitação, foi utilizado o método de ponderação regional, que possui base em regressões lineares, consistindo em estabelecer regressões lineares entre os postos com dados a serem preenchidos, Y_c , e cada um dos postos vizinhos, $X_1, X_2, \dots, X_n$ (Pruski et al., 2004). De cada uma das regressões lineares efetuadas, obtém-se o coeficiente de correlação r , sendo o preenchimento realizado com base na seguinte equação:

$$Y_c = \frac{r_{yx1}X_1 + r_{yx2}X_2 + \dots + r_{xyn}X_n}{(r_{xy1} + r_{xy2} + \dots + r_{xyn})}$$

Onde r_{yxj} é o coeficiente de correlação entre os postos citados e n é o número total de postos vizinhos considerados.

Bertoni e Tucci (2007) analisaram duas metodologias empregadas no preenchimento de falhas (regressão linear e ponderação regional), concluindo que nenhuma destas foi satisfatória ao

preenchimento de falhas diárias e horárias, porém apresentaram bons resultados quando aplicadas no preenchimento de falhas mensais ou anuais.

Para os preenchimentos de falhas em dados de vazão, foi utilizado o Modelo Auto Regressivo de Médias Móveis (ARMA). Esse modelo é uma combinação dos Modelos Auto Regressivo (AR) e de Médias Móveis (MA), onde Z_t é descrito por seus valores passados e pelos ruídos branco corrente e passados. Os modelos auto regressivos foram criados com a ideia de que a presente observação da série Z_t pode ser explicada como uma função das p observações passadas, $Z_{t-1}, Z_{t-2}, \dots, Z_{t-p}$, onde p determina o número de passos entre as observações passadas e a previsão da próxima observação. A estrutura geral da ARMA é expressa por:

$$Z_t = \phi_1 Z_{t-1} + \phi_2 Z_{t-2} + \dots + \phi_p Z_{t-p} + a_t - \theta_1 a_{t-1} - \theta_2 a_{t-2} - \dots - \theta_q a_{t-q}$$

Onde ϕ_i são os parâmetros da estrutura auto-regressiva, $i = 1, \dots, p$; θ_i são os parâmetros da estrutura das médias móveis, $i = 1, \dots, q$ e a_t é o ruído branco.

Vazão específica

A vazão específica média de longa duração serve como índice comparativo entre bacias e caracteriza o seu potencial hídrico, sendo obtida

pela divisão dos dados de vazão média anual pela área de drenagem da estação fluviométrica considerada (Ermenegildo et al., 2012). Pode ser obtida através da seguinte equação:

$$Q_m = \frac{\bar{Q}}{A_i}$$

Onde Q_m é a vazão específica média de longa duração $Ls^{-1}Km^{-2}$, $\bar{Q}$ é a vazão média anual em Ls^{-1} e A_i é a área de drenagem da estação em Km^2 .

Regressão Linear

Modelos de regressão são modelos matemáticos que relacionam o comportamento de uma variável Y com outra X. Quando a função f que relaciona duas variáveis é do tipo $f(X) = a + bx$ tem-se o modelo de regressão simples. A variável X é a variável independente da equação enquanto $Y = f(X)$ é a variável dependente das variações de X. Primeiramente, deve-se calcular o beta (coeficiente angular da reta de ajuste) e o alfa (ponto em que a reta toca o eixo y) da equação. Para esse procedimento foram utilizados dados diários e posteriormente calculadas as médias mensais. O beta e o alfa podem ser obtidos seguindo as equações:

$$\beta = \frac{n(\sum x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2}$$

$$\alpha = \frac{\sum y_i - \beta \sum x_i}{n}$$

Onde n é a quantidade de dados na amostra. Após isso é necessário calcular a reta e a

e a Soma dos Quadrados dos Desvios (SQD) da reta. Os dois podem ser obtidos seguindo as seguintes equações:

$$Reta = \alpha + \beta * x$$

$$SQD = \left(\text{reta} - \sum \text{reta} \right)^2$$

Após esses procedimentos foi calculado o r, que é basicamente o quanto o modelo foi capaz de explicar os dados. Ele pode ser obtido através da seguinte equação:

$$r = \frac{\sum (\hat{y} - \bar{y})^2}{\sum y^2 - n(\bar{y})^2}$$

Onde $\hat{y}$ é o valor estimado pelo modelo da reta de ajuste, $\bar{y}$ é a média dos valores estimados pelo modelo e n é a quantidade de dados na amostra.

Para essa análise, foram utilizados os dados mensais de vazão (m^3) e precipitação (mm).

Resultados e discussão

Diversos fatores alteram a dinâmica hídrica de bacias hidrográficas, um dos mais importantes são as barragens, pois eles retêm a água, liberando ou não esse recurso para o abastecimento a jusante do rio. Segundo Cirilo et al. (2010), a alteração dos processos hidrológicos na região semiárida pode significar diferentes tipos de prejuízos para as comunidades que vivem nessas regiões. No Quadro 1, há informações relevantes sobre os reservatórios que exercem influência nesse estudo.

Quadro 1. Lista dos reservatórios nos municípios analisados.

Código Açude	reservatório	Capacidade Máxima (m^3)	Curso d'Água	Localidade	Município	Ano Construção	Tipo	Área (km^2)	Abastecimento	Irrigação	Outros Usos
7	Barra do Juá	71,474,000	Riacho do Navio	Floresta	Floresta	1982	Terra	1870	N*	S**	S
21	Brotas	19,639,577	Pajeú	Afogados da Ingazeira	Afogados da Ingazeira	1978	Alvenaria Pedra	3.366	S	S	S
23	Jazigo	15,543,300	Pajeú	Serra Talhada	Serra Talhada	1983	Concreto	6170	N	S	S
72	Cascudo	2,000,000	Riacho Tigre	Vila do Tigre	Santa Terezinha	1986	Alvenaria Pedra	76.8	S	N	N
90	Poço Grande	1,500,000	Pajeú	Poco Grande/Sucessiva	Flores	1983	Alvenaria Pedra	4291	N	S	S
91	Mãe d'Água	1,500,000	Pajeú	Sítio Mae D'Água	Itapetim	1991	Alvenaria Pedra	17.4	S	S	N
817	Serrinha II	311,080,000	Pajeú	Serra Talhada	Serra Talhada	1996	Terra	9948	N	S	S

*S: sim; **N: não. Fonte: APAC (2018) e DNOCS (2018).

Quando se faz uma pesquisa dessa magnitude, também é de suma importância entender como o meio físico influencia nos dados coletados. Para isso, foi elaborado um mapa onde

pode ser observado o meio onde os dados foram obtidos e o que pode influenciar nos seus valores (Figura 2).

Figura 2. Mapa de localização das estações analisadas e reservatórios na bacia hidrográfica do rio Pajeú-PE.

Vazão específica

Nas Figuras 3, 4, 5, 6 e 7 estão os resultados obtidos de vazão específica para cada estação analisada. Os resultados obtidos através do cálculo da vazão específica demonstram a espacialização da vazão ao longo do período analisado.

Para a estação Afogados da Ingazeira, que está localizada mais próxima da nascente do rio Pajeú, consequentemente possuindo uma menor área de drenagem, a vazão específica fica abaixo dos 2l/s anuais em quase todo o período analisado, mantendo uma média a partir do ano de 1976.

Com as informações contidas no Quadro 1, pode-se inferir que essa regularização da vazão ocorre por influência da construção da barragem do Brotas, a terceira da região em maior capacidade de armazenamento de água. A ano de maior destaque para a estação de Afogados da Ingazeira é o de 2004, onde ocorre cerca de 331/s de vazão específica. Esse fato pode ser esclarecido através

dos dados obtidos de precipitação para a mesma área. No ano de 2004, a estação registrou 1.121,4 mm de precipitação anual, precipitando 90% desse valor entre os meses de janeiro e maio, condicente com o período chuvoso de áreas semiáridas. O importante a se ressaltar para esses dados é a regularidade das vazões após a construção da barragem, indicando que possui uma cota fixa a ser liberada pelo vertedouro.

Ainda por meio da análise Quadro 1, é possível inferir que a barragem Brotas é de grande importância para a dinâmica hídrica da região, pois é a única de grande porte que está cadastrada como uso para abastecimento, para irrigação e para outros usos. Vale ressaltar que as barragens do Cascudo e Mãe d'água, tem influência sobre o volume armazenado em Brotas, pois estão presentes em afluentes do rio Pajeú. Fato não explanado na Figura 2, devido a escala da base cartográfica de drenagem.

Figura 3. Vazão específica para a estação Afogados da Ingazeira-PE.

Seguindo o curso do rio Pajeú, a próxima estação de vazão é a de Flores (Figura 4). Diferente da estação anterior, esta possui vários picos de vazão específica, chegando a 8,5 l/s em 1985. Assim como na anterior, esse pico pode ser explicado devido ao efeito do reservatório construído em 1983. Nota-se que a partir desse ano ocorre um pico de vazão e que após essa data, passam a ocorrer menos vazões máximas e os dados mantêm uma regularidade, embora se mantenha nas vazões mínimas, não ultrapassando

3,5 l/s. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2000) a média da vazão específica para bacias e sub-bacias do nordeste fica em torno de 2,81 l/s/km².

Embora possuindo uma vazão regular após a construção da barragem, essa estação está cadastrada apenas como uso a irrigação.

Desde o ano de 2012 o nordeste brasileiro vem passando por uma seca severa, comprovando que a partir desse ano a vazão específica é praticamente zero.

Figura 4. Vazão específica para a estação Flores-PE.

A próxima estação, Serra Talhada (Figura 5), está localizada entre duas barragens, a de Jazigo e a de Serrinha II, ambas de grande porte e utilizadas principalmente para a irrigação. Assim

como as anteriores, fica evidente que as barragens exerceram influência sob os dados de vazão.

Essa estação apresenta alguns picos em períodos regulares com cerca de dez anos em

cada, porém não ultrapassando os 7 l/s. Após a construção da barragem em Jazigo em 1983 ocorre um ligeiro aumento e em 1985 a vazão específica aumenta consideravelmente, porém nos anos posteriores a vazão se mantém atingindo picos mais baixos oscilados com vazão de praticamente zero, demonstrando que em alguns momentos não ocorreu a liberação de água para jusante ou que o reservatório estava em nível crítico. Com o passar do tempo, fica evidente que após um período com água, as vazões voltam a cair e se mantém aproximadamente em 0,5 l/s, valor muito baixo que pode considerar que para essa estação, em algumas partes do rio, não há mais a presença de água, principalmente após 2012. De acordo com Soares

et al. (2018), os volumes anuais de precipitação ainda estão diminuindo, os episódios de seca estão se tornando mais severos e está havendo uma tendência de mudança de categoria do clima semiárido (IA entre 0,20 e 0,50) para o árido (IA < 0,20) em toda porção da bacia do Pajeú, influenciando todos os reservatórios da região.

O segundo reservatório com influência sob essa estação foi construído em 1996, porém é nítido que ele não exerce influência sob os dados nessa região. O que pode ocasionar esse tipo de situação para essa região é que a estação está localizada dentro da barragem, provavelmente os dados deixaram de ser medidos corretamente.

Figura 5. Vazão específica para a estação Serra Talhada-PE.

A estação Floresta (Figura 6) é a que possui a maior área de drenagem do estudo, consequentemente é a que possui os maiores picos de vazão e a maior quantidade de água, chegando a aproximadamente 9 l/s. Mesmo estando distante da principal barragem que sofre influência, fica claro na análise dos dados a interferência do reservatório de Serrinha II. Até o ano de 1983, o maior valor registrado de vazão específica foi de 4 l/s, mantendo valores próximos a zero nos anos anteriores. Após 1983, ocorre o maior pico da série de dados, semelhante ao ocorrido na estação anterior (Figura 5), porém naquela, devido a menor área de drenagem a vazão também foi menor. Para a estação Floresta, o valor de vazão específica chegou a alcançar os 9 l/s em 1985, mantendo uma regularidade até o ano de 2003, subindo vertiginosamente em 2004, que, embora tenha precipitado um valor dentro do esperado, cerca de 680 mm em Floresta, grande parte dessa

precipitação, cerca de 95%, ocorreu de janeiro a maio, consequentemente, devido ao aumento de água no leito do rio a vazão alcançou valores exorbitantes para a área, com o aumento da média anual e da vazão específica. Esse fato também pode ser comprovado analisando os dados de precipitação da estação Serra Talhada, localizada a montante da estação Floresta. Essa estação registrou 920 mm de precipitação, sendo aproximadamente 520 mm apenas no mês de janeiro de 2004, o que provavelmente ocasionou aumento na cota da barragem e posteriormente essa água foi sendo liberada e registrada pela estação a jusante.

Para as duas estações, Serra Talhada (Figura 5) e Floresta (Figura 6), ocorre outro fato semelhante, desta vez no ano de 2008. Segundo os dados de precipitação, as chuvas ocorreram dentro do esperado, porém, mais uma vez, concentradas. Enquanto em Serra Talhada as maiores

precipitações foram em março, abril e maio, em Floresta, ocorreram em fevereiro, março e abril, podendo ter ocasionado fato semelhante ao relatado para o ano de 2004.

A partir do ano de 2012, mais uma vez, fica clara a presença da seca. No ano de 2012 não ocorreu nenhum índice de Anomalia de Chuva

(IAC) positivo, todos os índices se classificaram entre secos à extremamente secos (Sobral et al., 2018). Em apenas quatro anos a vazão específica cai de 4,5 l/s para praticamente zero. Confirmando o fato de que a partir do ano de 2014, a crise hídrica se agravou ainda mais na região.

Figura 6. Vazão específica para a estação Floresta-PE.

A próxima estação é a que mais difere dentro das analisadas por estar localizada em um rio tributário, o riacho do Navio. Devido a isso, sua análise foi realizada em separado, porém em diversos aspectos fica claro que se assemelha bastante as anteriores devido ao fato de estar localizada no mesmo meio geográfico.

Esta estação está localizada a jusante do reservatório Barra do Juá, como pode ser observado na Figura 2, possuindo a menor área de

drenagem, consequentemente, nas vazões mínimas, os valores obtidos são inferiores as demais, assim como as vazões máximas. Pode-se observar que nos anos de 2004 e 2008, quando ocorreram os picos nas estações anteriores, para a estação de Ilha Grande, esses picos foram menores, atingindo 7 e 4 l/s, respectivamente, se mantendo em valores mínimos a partir do ano de 2012, assim como as anteriores (Figura 7).

Figura 7. Vazão específica para a estação Ilha Grande-PE.

Quando comparada a vazão específica de acordo com as médias de cada estação (Figura 8), fica claro que mesmo com as diferenças ocasionadas por interferências humanas e físicas, a média é bastante semelhante em todas as estações analisadas. A maior média pertence a estação de Afogados da Ingazeira, que mantém a maior quantidade de anos com vazão fixa. A menor média para Ilha Grande pode ser explicada devido a menor área de drenagem.

Na Figura 9 foi realizada uma comparação das séries de todas as estações para que pudesse ser comprovado a continuidade de vazões, ou seja, ser comprovado que a água que passa por uma estação a montante chegará na estação de jusante e nesta estação, a vazão será maior devido a maior área de drenagem. Com isso, a estação Floresta, deveria estar mais em destaque que as outras, o que só ocorre entre os anos de 1985 e 2008. A partir de

1980 os índices de Anomalia de Chuva (IAC) negativos foram mais abundantes tanto em quantidade de ocorrência quanto em relação à intensidade desses eventos, ao contrário do que se encontrou na primeira metade da série histórica para o Nordeste (Assis et al., 2015). Nos demais períodos podem ser comprovada a influência das barreiras físicas, como no ano de 1967 para a estação Serra Talhada. Sem a existência das barragens de Jazigo e Serrinha II, essa estação alcançou a maior vazão específica, fato que não ocorreu novamente ao longo da série analisada.

A estação para afogados da ingazeira possui a maior média de vazão específica dentro do estudo, ultrapassando os 30 l/s em 2004, fator já explicado anteriormente devido a maior incidência de precipitação nesse ano para a área, ultrapassando o esperado de soma anual.

Figura 8. Vazão média específica para cada estação.

Figura 9. Comparação da vazão específica com todas as estações.

Regressão Linear

Como mostrado anteriormente, em alguns casos o aumento da vazão específica pode ser explicado através do uso dos dados de precipitação. Em algumas situações, foi comprovado que a precipitação influencia diretamente na vazão. Com isso, foi realizada uma regressão linear para ver como esses dados se comportam em conjunto.

Foram utilizados dados em escala mensal e com 95% de significância, com $n-2=238$ graus de liberdade. O valor tabelado de r deveria ser 0,128 ou superior para apresentar significância. As estações de Afogados da Ingazeira e Flores foram as únicas a ultrapassar o valor tabelado (Figuras 10 e 11). As duas estações estão localizadas no rio principal da bacia.

Nas demais estações os valores obtidos estão muito próximos de zero, demonstrando que

não existe significância entre vazão e precipitação para a maior parte da área estudada quando analisada a média geral de toda a série de dados entre 1994 e 2013.

Os gráficos de dispersão (Figuras 10, 11, 12, 13 e 14) elaborados comprovam o que já foi discutido. Fica evidente nos gráficos que a série analisada não possui significância, mostrando valores dispersos e bem próximos a zero. As estações de Flores e Afogados da Ingazeira, que apresentaram os melhores valores de r , também são as que apresentaram gráficos de dispersão com reta mais evidente. Limberger e Silva (2012) obtiveram valores baixos de r para a relação vazão precipitação na Amazônia, principalmente do durante o período de estiagem.

Figura 10. Dispersão dos dados entre vazão e precipitação para a estação Afogados da Ingazeira.

Figura 11. Dispersão dos dados entre vazão e precipitação para a estação Flores.

Figura 12. Dispersão dos dados entre vazão e precipitação para a estação Serra Talhada.

Figura 13. Dispersão dos dados entre vazão e precipitação para a estação Floresta.

Figura 14. Dispersão dos dados entre vazão e precipitação para a estação Ilha Grande.

Os baixos valores obtidos para o coeficiente de determinação r , também podem ser explicados devido ao fato da amostra ser muito extensa ($n=240$), pois, quanto maior é o tamanho da amostra, menor o valor de r tenderá a ser, pois aumenta a quantidade de erros nas séries a serem comparadas.

Conclusões

Através da realização da vazão específica, conclui-se que para a região semiárida, principalmente a estudada, predominam as vazões mínimas e que a construção de reservatórios influencia diretamente nas vazões medidas pelas estações. Também ficou evidente que nesta área, a maior parte das águas represadas são destinadas para a agricultura e não para o consumo humano e que, em grande parte do tempo, essas águas podem

estar sendo represadas por um longo tempo sem que ocorra a liberação para jusante.

Com a análise de regressão linear entre a vazão e a precipitação, foi demonstrado que para a bacia hidrográfica do rio Pajeú essas variáveis não possuem significância estatística.

Referências

- Alves, E.D.L., 2016. Influência das variáveis naturais e antrópicas nos padrões da temperatura de superfície: análise por meio de regressão linear múltipla. *Raega - O Espaço Geográfico em Análise* 38, 345 - 364.
- ANA. Agência Nacional de Águas, 2019. HidroWeb v3.1.1. Série históricas das estações. Disponível: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 20 nov. 2018.
- Anjos, R., Nóbrega, R., Araújo, F., & Rocha Filho, G. (2016). Spacial Distribution of Rain Types In Pernambuco With The Usage Of Remote Sensing. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 6(3), 154-163. doi:<https://doi.org/10.5935/2237-2202.20160016>
- APAC. Agência Pernambucana de Águas e Climas. Monitoramento hidrológico. Disponível: <http://www.apac.pe.gov.br/monitoramento/>. Acesso: 24 nov. 2018.
- Assis, J.M.O., Souza, W.M., Sobral, M.C., 2015. Análise climática da precipitação no submédio da bacia do rio São Francisco com base no índice de anomalia de chuva. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais* 36, 115-127.
- Bertoni, J.C., Tucci, C.E.M., 2007. Precipitação, in: Tucci, C.E.M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. UFRGS, Porto Alegre, pp. 177-241.
- Camelo, H.N., Lucio, P.S., Leal Junior, J.B.V., Carvalho, P.C.M., 2017. Métodos de previsão de séries temporais e modelagem híbrida ambos aplicados em médias mensais de velocidade do vento para regiões do nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia* 32, 565-574.
- Campozano, E.S., Sánchez, A., Aviles, A., Samaniego, E., 2014. Evaluating of infilling methods for time series of daily precipitation and temperature: the case of the ecuadorian Andes. *Maskana* 5, 99-115.
- Cavalcante, H., Cruz, P., Viana, L., Silva, D., & Barbosa, J. (2018). Influence of the use and the land cover of the catchment in the water quality of the semiarid tropical reservoirs. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 7(7), 389-398. doi:<https://doi.org/10.29150/jhrs.v7.7.p389-398>
- CBHSF. Comitê da Bacia Hidrográfica do São Francisco. O tal do rio Pajeú que despeja no São Francisco. 2014. Disponível: <http://cbhsaofrancisco.org.br/o-tal-do-rio-pajeu-que-despeja-no-sao-francisco/>. Acesso: 15 fev. 2019.
- Cirilo, J.A., Montenegro, S.M.G.L., Campos, J.N.B., 2010. A questão da água no semiárido brasileiro, in: Bicudo, C.E.M., Tundisi, J.G., Scheuenstuhl, M.C.B. (org.), *Águas do Brasil: análises estratégicas*. Instituto de Botânica, São Paulo, pp. 81-91.
- Costa, V.J., Ferreira, M., Cordeiro, M.T.A., 2015. Análise de séries temporais climáticas. *Revista de Ciências Agroveterinárias* 14, 169-177.
- Cruz, J.C., Tucci, C.E.M., 2008. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 13, 111-124.
- Diaz, C.C.F., Pereira, J.A.S., Nóbrega, R.S., 2018. Comparação de dados estimados pelo método da ponderação regional (pr) e dados estimados pelo trmm para o preenchimento de falhas de precipitação na bacia hidrográfica do rio Pajeú. *Revista Brasileira de Climatologia* 22, 324-339.
- DNOCS. Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. Disponível: https://www.dnocs.gov.br/php/canais/recursos_hidricos/. Acesso: 24 nov. 2018.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. EMBRAPA-SPI, Rio de Janeiro.
- Ermenegildo, L.F.S., Pereira, S.B., Arai, F.K., Jardim-Rosa, D.B.C., 2012. Vazão específica e precipitação média na bacia do Ivinhema. *Agrarian* 5, 428-432.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. 2. ed. IBGE, Rio de Janeiro.
- Leivas, J.F., Berlato, M.A., Fontana, D.C., 2006. Risco de deficiência hídrica decenal na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 10, 397-407.
- Lemos Filho, L.C.A., Carvalho, L.G., Evangelista, A.W.P., Carvalho, L.M.T., Danras, A.A.A., 2007. Análise espaço-temporal da evapotranspiração de referência para Minas Gerais. *Ciência e Agrotecnologia* 31, 1462-1469.

- Limberger, L., Silva, M.E.S., 2012. Precipitação e vazão mensal na Amazônia. *Revista Geonorte* 1, 719-728.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente, 2000. Agenda 21 brasileira – Bases para discussão. Brasília. Disponível: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/8457/mod_resource/content/1/bases_discussao_agenda21.pdf. Acesso: 16 set. 2018.
- Molina, S.K.M., 2012. Disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do rio Amambai-MS. Dissertação (Mestrado). Campina Grande, UFPB.
- Oliveira, J., de Medeiros, B., da Silva, J., Moura, G., Lins, F., Nascimento, C., & Lopes, P. (2018). Space-temporal evaluation of biophysical parameters in the High Ipanema watershed by remote sensing. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 7(6), 357-366. doi:<https://doi.org/10.29150/jhrs.v7.6.p357-366>
- Oliveira, L.F.C., Fioreze, A.P., Medeiros, A.M.M., Silva, M.A.S., 2010. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 14, 1186-1192.
- Penereiro, J.C., Orlando, D.V., 2013. Análise de tendências em séries temporais anuais de dados climáticos e hidrológicos na bacia do rio Parnaíba entre os estados do Maranhão e Piauí/Brasil. *Revista Geográfica Acadêmica* 7, 5-21.
- Pezzi, L.P., Ubarana, V., Repelli, C., 2000. Desempenho e previsões de um modelo regional estatístico para a região sul do Brasil. *Brazilian Journal of Geophysics* 18.
- Pruski, F.F., Pereira, S.B., Novaes, L.F., Silva, D.D., Ramos, M.M., 2004. Precipitação média Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração na bacia do São Francisco. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 8, 247-253.
- Pruski, F.F., Nunes, A.A., Rego, F.S., Souza, M.F., 2012. Extrapolação de equações de regionalização de vazões mínimas: alternativas para atenuar os riscos. *Water Resources and Irrigation Management* 1, 51-59.
- Salgueiro, J.H.P.B., Montenegro, S.M.G.L., 2008. Análise da distribuição espacial da precipitação na bacia do rio Pajeú em Pernambuco segundo método geoestatístico. *Revista Tecnologia* 29, 174-185.
- Santos, G.G., Figueiredo, C.C., Oliveira, L.F.C., Griebeler, N.P., 2009. Intensidade duração-frequência de chuvas para o Estado de Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 13, 899-905.
- Silva, K., Gomes, R., & Rego, N. (2015). Social And Environmental Hydrographics Implications Of The Land Use In The Plain And Coastal Boards Between Ilhéus And Olivença – BA. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 5(1), 013-026. doi:<https://doi.org/10.29150/jhrs.v5.1.p013-026>
- Silva, H., Santos, M., Cabral Junior, J., & Spyrides, M. (2016). Modeling of reference evapotranspiration by multiple linear regression. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 6(1), 44-58. doi:<https://doi.org/10.5935/2237-2202.20160005>
- Schirmbeck, L. (2017). Understanding TVDI as an index that expresses soil moisture. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 7(2), 82-90. doi:<https://doi.org/10.29150/jhrs.v7.2.p82-90>
- Soares, D.B., Nóbrega, R.S., Galvêncio, J.D., 2018. Indicadores climáticos de desertificação na bacia hidrográfica do Rio Pajeú, Pernambuco. *Revista Brasileira de Climatologia* 22, 363-380.
- Sobral, M.C., Assis, J.M.O., Oliveira, C.R., Silva, G.M.M., Morais, M., Caminha, M.R.C., 2018. Impacto das mudanças climáticas nos recursos hídricos no submédio da bacia hidrográfica do rio São Francisco – Brasil. *Rede – Revista Eletrônica do Prodema* 12, 95-106.