

APLICABILIDADE DE MÉTODOS PARA ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS UTILIZADOS EM FILTROS AUTOMÁTICOS DE SEPARAÇÃO DE ESCOAMENTO DE BASE

TAMIRIS ARAÚJO DUARTE CASTRO¹; JULIANA PERTILLE DA SILVA²;
SAMUEL BESKOW³

¹Universidade Federal de Pelotas – tamiris.castro@ufpel.edu.br

²Universidade Federal de Pelotas – juliana.pertille@ufpel.edu.br

³Universidade Federal de Pelotas – samuel.beskow@ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento do comportamento das diferentes parcelas que compõe o escoamento dos rios contribui para o desenvolvimento de medidas adequadas para a gestão dos recursos hídricos. As parcelas podem ser subdivididas em escoamento superficial, relacionado com a precipitação, o escoamento subsuperficial, que se refere ao fluxo de água abaixo da superfície e por fim, o escoamento de base. O somatório dessas parcelas do escoamento compõe a vazão total de um curso de água, cuja variação no tempo pode ser observada em hidrogramas.

Os hidrogramas são importantes ferramentas para realizar a separação das diferentes parcelas do escoamento considerando determinados intervalos de tempo. Para eventos isolados de precipitação, são aplicados métodos como o método das inflexões, desenvolvido por CHOW; MAIDMENT; MAYS (1988). Quando os hidrogramas são de longo termo, a separação de cada evento é inviável, e por isso são aplicados filtros automáticos para a separação do escoamento de base. Alguns exemplos são, WITTENBERG (1994), SLOTO; CROUSE (1996), ECKHARDT (2005). Em comum, eles utilizam principalmente o comportamento de depleção do aquífero, ou zonas de recessão dos hidrogramas, para caracterizar o comportamento do aquífero e estimar a sua recarga, sendo possível assim, a partir do hidrograma, realizar a separação dos escoamentos superficiais e de base.

A utilização desses filtros automáticos de separação se faz recorrente, mas estudos sobre a aplicabilidade deles no Brasil ainda são escassos. Tendo em vista que as principais técnicas foram desenvolvidas e testadas em bacias de outros países, podem não apresentar resultados satisfatórios ao serem aplicados no Brasil. Nesse contexto é necessário a evolução de pesquisas e investigação de parâmetros relevantes das condições de escoamento de um curso d'água, levando em consideração algumas características fisiográficas particulares de cada bacia a ser aplicado o método, como a geologia, a geologia estrutural, clima, solo e outros fatores que possam influenciar o escoamento.

O objetivo deste trabalho foi investigar a aplicabilidade do filtro digital automático de separação de escoamento proposto por ECKHARDT (2005) a partir de hidrogramas diários de longo termo em uma bacia hidrográfica brasileira que apresenta um conjunto de características específicas. As características incluem predomínio de aquíferos fraturados hospedados em rochas ígneas, com série histórica de dados pluviométricos com mais de 20 anos de dados, possibilitando uma análise temporal característico desta. Outro objetivo foi verificar e comparar três diferentes propostas para a determinação do *BF_{lmax}*, que é um dos parâmetros a ser utilizado no filtro digital e suas diferentes respostas na separação dos escoamentos.

2. METODOLOGIA

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do arroio Fragata, com exutório na seção de monitoramento Passo dos Carros (Bhaf-PC), sob a responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA). A série histórica de vazões diárias foi obtida junto à plataforma Hidroweb, sob o código 88750000. Possui uma área de drenagem de 131 km² e localiza-se entre os municípios de Pelotas, Morro Redondo e Capão do Leão, no sul do Estado do Rio Grande do Sul.

A Bhaf-PC está localizada na área pertencente ao Escudo Sul-rio-grandense, localizada entre os limites das cartas geológicas Pelotas SH.22-Y-D-IV (CRUZ, 2018a) e Pedro Osório SH.22-Y-C-VI (CRUZ, 2018b), sob o domínio do Batólito Pelotas. O Batólito Pelotas foi estudado por PHILIPP et al. (1993) e descrito como sendo um complexo multi-intrusivo.

A bacia hidrográfica está inserida no contexto do Sistema Aquífero Embasamento Cristalino II (MACHADO; FREITAS, 2005). Esse sistema está hospedado predominantemente por rochas ígneas do Batólito Pelotas, e subordinadamente gnaisses, andesitos, xistos, filitos e calcários metamorfizados. De acordo com os autores, a circulação da água é controlada por falhas e fraturas e apresenta baixo potencial aquífero.

Neste estudo, o método do filtro digital proposto por ECKHARDT (2005) foi empregado para a separação do escoamento de base. O autor considera o comportamento de decaimento da vazão do rio como apresentando um comportamento linear e a partir dessa premissa, desenvolveu o filtro digital. O filtro (Equação 1) apresenta uma equação dependente dos valores observados vazão total y no tempo t . Esses valores de vazão são extraídos do hidrograma. O fator b é a vazão de base, a é a constante de recessão do rio em análise e o parâmetro $BFImax$ se trata do índice máximo do escoamento de base:

$$b_t = \frac{(1-BFImax).a.b_{t-1} + (1-a).BFImax.y_t}{1-a.BFImax} \quad (1)$$

O filtro depende de dois parâmetros condicionados pela bacia a ser estudada: a constante de recessão a e o $BFImax$.

Para a determinação do parâmetro a , faz-se necessário identificar um período característico de recessão do hidrograma, de modo que a constante k é computada conforme Equação 2:

$$k = \frac{-\Delta t}{\ln\left(\frac{Q_{(t+\Delta t)}}{Q_t}\right)} \quad (2)$$

Sendo k (dia) a constante característica do período, com um intervalo de duração de Δt (dia), a vazão do curso d'água no início do período igual a Q_t (vol./tempo) e vazão no final do período Δt correspondente à $Q_{(t+\Delta t)}$ (vol./tempo).

Posteriormente, o parâmetro a foi calculado através da Equação 3:

$$a = e^{(-\Delta t/k)} \quad (3)$$

No que se refere ao parâmetro $BFImax$, este estudo considerou os seguintes cenários:

CENÁRIO I) recomendações de ECKHARDT (2005), para rios perenes e aquíferos fraturados, $BFImax=0,25$. O autor ainda propõe os valores de $BFImax=0,80$ para rios perenes e $BFImax=0,50$ para efêmeros, ambos mantidos por aquíferos porosos.

CENÁRIO II) metodologia de filtro inverso proposta por COLLISCHONN; FAN (2013). Para se determinar o $BFImax$ através do filtro inverso proposto por COLLISCHONN; FAN (2013), primeiramente identifica-se o último dia de recessão da série analisada, significando que este valor de vazão seja contribuição apenas do fluxo de base e assume-se que $y_t=b_t$. A partir deste ponto, aplica-se a Equação 4 no tempo anterior:

$$b_{t-1} = \frac{b_t}{a} \quad (4)$$

O parâmetro BFI_{max} é calculado pela Equação 5:

$$BFI_{max} = \frac{\sum_{t=1}^n b_t}{\sum_{t=1}^n y_t} \quad (5)$$

CENÁRIO III) definição a partir da relação entre quantis da curva de permanência. Outro método desenvolvido por COLLISCHONN; FAN (2013) para o cálculo do BFI_{max} . Se utiliza as vazões de permanência Q_{90} e Q_{50} da bacia. Esses parâmetros são os valores em que a vazão é igualada ou superada 90% do tempo e 50% do tempo ao longo da série histórica, respectivamente, e foram obtidos através da análise da curva de permanência. A proposta foi desenvolvida baseada em estudos de bacias localizadas na região central e sul do Brasil e a Equação 6 traduz a resposta deste estudo.

$$BFI_{max} = 0,8344 \frac{Q_{90}}{Q_{50}} + 0,2146 \quad (6)$$

O software Microsoft Excel 2016 foi utilizada para o desenvolvimento destes cálculos, e elaboração dos hidrogramas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A série histórica da BHAF-PC apresenta dados diários de vazão de 15 de outubro de 1964 até 31 de dezembro de 2018. Para a determinação dos parâmetros, foram utilizados 41 anos da série histórica (1965 a 2006), abrangendo a maior quantidade de anos contínuos e sem falhas. As vazões de referência Q_{90} e Q_{50} também foram determinadas para o mesmo período e obtiveram os resultados 0,25 m³/s e 1,1 m³/s respectivamente. A constante de recessão foi calculada considerando o período de 09/05 a 11/06 de 1966 e obteve o resultado $a=0,926$. Os valores de BFI_{max} calculados para os três cenários propostos neste estudo foram: Cenário I=0,25; Cenário II=0,46; Cenário III=0,40.

Nota-se que o valor indicado no Cenário I ficou abaixo dos valores obtidos segundo as metodologias propostas por COLLISCHONN; FAN (2013). Este resultado é corroborado pelo estudo de BORTOLIN et al. (2018), que constataram que o valor do BFI_{max} determinado por ECKHARDT (2005) foi o menor entre os métodos de determinação do parâmetro utilizados por ele, na maioria das bacias estudadas. COLLISCHONN; FAN (2013) concluíram em sua pesquisa que os valores para BFI_{max} sugeridos por ECKHARDT (2005) foram satisfatórios em algumas bacias, mas ocorreram casos em que a diferença entre os valores propostos e os calculados foram significativas.

A diferença nos resultados pode estar associada às características morfológicas e geológicas das bacias utilizadas quando do desenvolvimento dos modelos. ECKHARDT (2005) utilizou bacias dos EUA e Alemanha, enquanto COLLISCHONN; FAN (2013) testaram bacias da região sul e centro-oeste do Brasil. Também pode estar relacionada com o fato de o Cenário I utilizar uma proposta de utilização do valor BFI_{max} pré-definido, que leva em consideração apenas características simplificadas de geologia e hidrogeologia da bacia.

Aplicando os valores de BFI_{max} obtidos, pode-se realizar a separação do escoamento de base a partir do hidrograma da BHAF-PC. Como esperado, nota-se que Cenário I atribui menor contribuição do escoamento de base em relação ao escoamento total do que os demais cenários. BORTOLIN et al. (2018) concluíram, através de análise visual, que o método do filtro inverso, neste trabalho atribuído como Cenário II, produz melhores resultados comparando com o proposto por ECKHARDT (2005), pois no hidrograma, a separação do escoamento nesse caso, fica sempre abaixo do observado, mesmo em períodos de recessão, mas também afirmam que é muito difícil ter plena certeza da contribuição do escoamento de base

de uma bacia. CARVALHO; SILVA (2006) afirmam que essa diferenciação da contribuição dos escoamentos se faz necessária para o desenvolvimento de estudos das características hidrológicas da bacia, assim como essa informação é parte integrante de alguns métodos de previsão de enchentes.

4. CONCLUSÕES

É possível verificar que a utilização do filtro digital proposto por ECKHARDT (2005) para a separação do escoamento é uma ferramenta de prática utilização, por exigir do usuário apenas uma série de dados diários de vazão. Assim como as metodologias analisadas para a determinação do parâmetro *BF_{lmax}*.

Os valores de *BF_{lmax}* recomendados por ECKHARDT (2005) são muito genéricos quanto aos aspectos fisiográficos das bacias e, com base nos resultados obtidos, foi possível observar que os dois métodos propostos por COLLISCHONN; FAN (2013) produziram resultados semelhantes para a bacia em estudo, enquanto o valor proposto por ECKHARDT (2005) produziu um resultado bem abaixo dos demais. A diferença pode estar relacionada com as características das bacias utilizadas para o desenvolvimento dos métodos.

Este estudo inicial buscou contribuir com o desenvolvimento do conhecimento a respeito do comportamento das diferentes parcelas do escoamento. Estudos complementares são necessários para o desenvolvimento de métodos eficazes e práticos para a determinação da parcela do escoamento de base, tanto no desenvolvimento de novos filtros de separação do escoamento, quanto nas metodologias de cálculo dos parâmetros utilizados nestes filtros, a fim de que esses dados promovam tomadas de decisão adequadas à gestão de recursos hídricos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BORTOLIN, T.A et al. Estimativas de recarga aquífera com uso de filtros digitais em sub-bacias hidrográficas do Sistema Aquífero Serra Geral no estado do Rio Grande do Sul. **Scientia cum Industria**, v.6, n.2, p.21-30, 2018.
- CARVALHO, D.F.; SILVA, L.D.B. (2006). **Apostila de hidrologia**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Cap 7, pp.95-115.
- COLLISCHONN, W.; FAN, F. Defining Parameters for Eckhardt's Digital Base Flow Filter. **Hydrological Processes**, v.27, n.18, p. 2614-2622, 2013.
- CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, L.W. (1988). **Applied Hydrology**. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering. McGraw-Hill: New York, 572p.
- CRUZ, R.F. da. **Projeto sudeste do Rio Grande do Sul, carta geológica Pelotas SH.22-Y-D-IV**. Escala 1:100.000. Porto Alegre: CPRM, 2018a.
- CRUZ, R.F. da. **Projeto sudeste do Rio Grande do Sul, carta geológica Pedro Osório SH.22-Y-C-VI**. Escala 1:100.000. Porto Alegre: CPRM, 2018b.
- ECKHARDT, K. How to Construct Recursive Digital Filters for Baseflow Separation. **Hydrological Processes**, v.19, p.507-515, 2005.
- MACHADO, J.L.F.; FREITAS, M.A. **Projeto Mapa hidrogeológico do Estado do Rio Grande do Sul**. Escala 1:750.000. Porto Alegre: CPRM/SEMA/DRH. 2005.
- PHILIPP, R.P. et al. Reconhecimento estrutural e geoquímico dos Granitóides Brasileiros da região de Pelotas, RS. **Pesquisas em Geociências**, v.20, n.1, p3-13, 1993.
- SLOTO, R.A.; CROUSE, M.Y. **HYSEP: A computer program for streamflow hydrograph separation and analysis**. Pennsylvania: USGS. 1996.
- WITTENBERG, H. Nonlinear analysis of flow recession curves. FRIEND: Flow Regimes from International Experimental and Network Data. **IAHS Publ.**, v.221, p.61-67, 1994.