

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE SEPARAÇÃO DE ESCOAMENTO DE BASE EM UM POSTO FLUVIOMÉTRICO DA SUB-BACIA DO RIO IBIRAPUITÃ, RS**

*Eliane Fischborn<sup>1</sup>; Rutineia Tassi<sup>2</sup>; Vanessa Sari<sup>2</sup>; Francisco Paim de Freitas Neto<sup>1</sup>; Gabriel Sulzbach Pereira<sup>1</sup>; Gustavo Schefelbanis Araujo<sup>1</sup>; Rodrigo Girardon Della Pace<sup>1</sup>*

**Abstract:** The separation of baseflow is a fundamental step in understanding the hydrological dynamics of watersheds, especially in the context of increasing climate variability. This study aimed to compare four baseflow separation methods applied to the Ibirapuitã River sub-basin, located in western Rio Grande do Sul, Brazil. The methods analyzed were: (i) the Eckhardt digital filter with visual adjustment of the Maximum Baseflow Index parameter ( $BFI_{max}$ ); (ii) the same filter with  $BFI_{max}$  estimated using the reverse filter by Collischonn and Fan (2012); (iii) the empirical approach based on the  $Q_{90}/Q_{50}$  ratio; and (iv) the Filtered Smoothed Minima Baseflow Separation Method (FUKIH), which combines the smoothed flow minima technique with recursive digital filtering. The input data consisted of 15-minute resolution streamflow series from 2005 to 2025, obtained from the Hydro-Telemetry system. The results showed variations in Baseflow Index (BFI) values, with the  $Q_{90}/Q_{50}$  method presenting the highest value (0.298), and the FUKIH method yielding the most conservative estimate (0.206). Graphical analysis revealed that the methods based on the Eckhardt filter showed good adherence to hydrographs and proved robust under different hydrological conditions. It is concluded that the choice of method should consider the basin's flow regime and the study's objectives. The use of complementary observational data is also recommended for parameter validation and calibration.

**Resumo:** A separação do escoamento de base constitui uma etapa fundamental na compreensão da dinâmica hidrológica de bacias hidrográficas, especialmente em contextos de crescente variabilidade climática. Este estudo teve como objetivo comparar quatro métodos de separação de escoamento de base aplicados à sub-bacia do rio Ibirapuitã, localizada no oeste do Rio Grande do Sul. Foram analisados: (i) o filtro digital de Eckhardt, com ajuste visual do parâmetro Índice de Fluxo de Base Máximo ( $BFI_{max}$ ); (ii) o mesmo filtro, com  $BFI_{max}$  estimado pelo filtro reverso de Collischonn e Fan (2012); (iii) a abordagem empírica baseada na razão  $Q_{90}/Q_{50}$ ; e (iv) o método Filtered Smoothed Minima Baseflow Separation Method (FUKIH) que combina a técnica das mínimas de vazão suavizadas com filtragem digital recursiva. Os dados de entrada consistiram em séries de vazão com resolução de 15 minutos, abrangendo o período de 2005 a 2025, obtidas a partir do sistema de Hidro-Telemetria. Os resultados demonstraram variação nos valores do Índice de Fluxo de Base (BFI), com destaque para o método  $Q_{90}/Q_{50}$ , que apresentou o maior valor (0,298), e para o método FUKIH, que resultou na estimativa mais conservadora (0,206). A análise gráfica revelou que os métodos baseados no filtro de Eckhardt apresentaram boa aderência aos hidrogramas e se mostraram robustos frente às diferentes condições hidrológicas. Conclui-se que a escolha do método deve considerar o regime da

1) Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM): eliane.fischborn@acad.ufsm.br; francisco.freitas@acad.ufsm.br; gabrielpereirars@gmail.com; gustavo.esa@hotmail.com; rodrigodellapace02@gmail.com.

2) Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM): rutineia@gmail.com; vanessa.sari@ufsm.br.

bacia e os objetivos do estudo. Recomenda-se, ainda, o uso de dados observacionais complementares para validação e calibração dos parâmetros.

**Palavras-Chave:** Separação de vazão; Filtro de Eckhardt; FUKIH.

## 1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas têm provocado transformações significativas nas respostas hidrológicas dos sistemas naturais, representando um desafio crescente para a gestão eficiente dos recursos hídricos (Lee *et al.* 2021). Essas alterações nos padrões de temperatura e precipitação, intensificadas por ações antrópicas como o desmatamento e a urbanização, têm modificado a dinâmica dos fluxos hídricos, ampliando a ocorrência de eventos extremos, como inundações intensas e secas prolongadas (Haddeland *et al.* 2014; Lee *et al.* 2022).

O IPCC (2023) destaca que o Sul do Brasil está entre as áreas mais vulneráveis à intensificação de secas e inundações nos próximos anos, um cenário corroborado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2024), que aponta para a convivência simultânea com extremos climáticos — marcados tanto por intensas precipitações quanto por estiagens prolongadas. A seca tem se tornado um fenômeno cada vez mais frequente e severo, afetando tanto a disponibilidade quanto a qualidade da água. No Rio Grande do Sul, prolongados períodos de estiagem reduzem a recarga de aquíferos, comprometem os níveis dos corpos d'água e impactam diretamente a manutenção do escoamento de base — componente essencial para a sustentação das vazões nos períodos de estiagem.

Nesse contexto de crescente variabilidade hidroclimática, torna-se essencial a compreensão do escoamento superficial e do escoamento de base. Tal distinção é fundamental para subsidiar decisões relacionadas à gestão hídrica, à alocação de usos múltiplos da água (Gómez *et al.* 2020; Serur, 2022), ao planejamento de infraestruturas resilientes (Glas *et al.* 2023), à preservação ambiental (Song *et al.* 2022) e ao desenvolvimento de modelagens hidrológicas robustas (De Barros *et al.* 2021). O escoamento superficial, ocorre quando a taxa de precipitação excede a capacidade de infiltração do solo (Firooz; Firooz, 2024). Por outro lado, o escoamento de base, decorre da liberação gradual de água armazenada em aquíferos ou camadas subsuperficiais e promove a manutenção da vazão mesmo em períodos de estiagem (Gan *et al.* 2022; He *et al.* 2022; Duncan, 2019; Zhang *et al.* 2017).

A separação do escoamento total em suas parcelas superficial e de base é uma etapa fundamental para a compreensão do comportamento hidrológico das bacias (Helfer *et al.* 2024; Mei; Anagnostou, 2015; Singh *et al.* 2019). No entanto, como o escoamento de base não pode ser mensurado diretamente, recorre-se a métodos indiretos, cuja precisão ainda representa um desafio (Cheng *et al.* 2022; Kang *et al.* 2019). Esses métodos geralmente envolvem a estimativa da proporção do escoamento de base em relação ao escoamento total, representada pelo Índice de Fluxo de Base (BFI), uma métrica amplamente utilizada em estudos hidrológicos.

Considerando a importância de desenvolver métodos que possibilitem uma melhor quantificação da resposta hidrológica frente a eventos extremos, este estudo teve como objetivo avaliar a aplicação de quatro diferentes métodos de separação de escoamento, a fim de caracterizar o comportamento hidrológico em um posto fluviométrico na sub-bacia do rio Ibirapuitã, situada na região oeste do estado do Rio Grande do Sul. A comparação entre as técnicas busca contribuir para o aprimoramento das análises hidrológicas regionais, especialmente em contextos de aumento da frequência de extremos climáticos.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

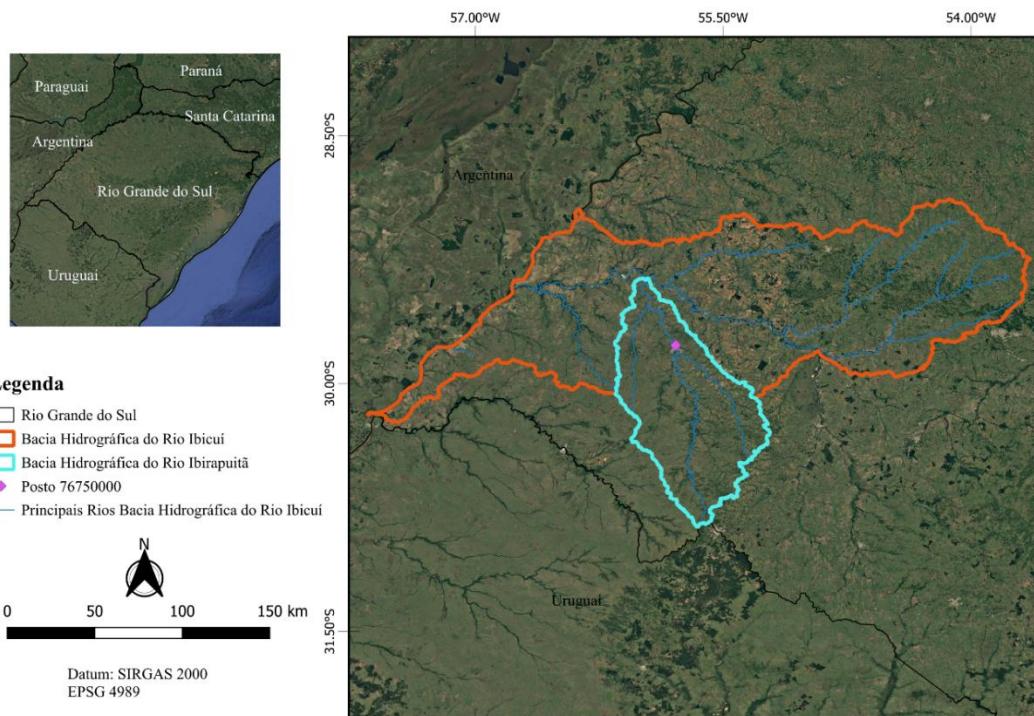
Com o objetivo de avaliar diferentes técnicas de separação de escoamento de base, a metodologia deste estudo foi estruturada em duas etapas principais: (I) caracterização da área de estudo e obtenção dos dados hidrológicos; e (II) aplicação de quatro métodos distintos de separação da vazão de base. Cada uma dessas etapas é detalhada nas subseções a seguir.

### 2.1 Caracterização da Área de Estudo e Dados Hidrológicos

O presente estudo foi conduzido na sub-bacia do rio Ibirapuitã, localizada na região oeste do estado do Rio Grande do Sul. Essa sub-bacia integra a Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí e abrange os municípios de Alegrete e Santana do Livramento (RIO GRANDE DO SUL, 2021). O relevo possui cotas altimétricas variando entre 80 e 370 metros, com predomínio de solos classificados como Argissolo Vermelho, Latossolo Vermelho, Neossolo Litólico, Nitossolo, Planossolo, Chernossolo e Vertissolo (IBGE, 2023; SANTOS *et al.* 2018). O clima da região é subtropical úmido do tipo Cfa, com estações bem definidas (Kottek, 2006).

Para a análise proposta, foram selecionados os dados da estação fluviométrica Alegrete, de código 76750000, localizada nas coordenadas geográficas -29,7683 de latitude e -55,7875 de longitude, a uma altitude de 66,2 metros e com uma área de drenagem de 5867 Km<sup>2</sup> (Figura 1). Os dados de vazão utilizados neste estudo foram obtidos a partir do sistema de Hidro-Telemetria, vinculado ao Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidrotelemetria/serieHistorica.aspx>. A série histórica utilizada possui resolução temporal de 15 minutos, abrangendo o período de 29 de setembro de 2005 a 31 de janeiro de 2025. Esses dados constituíram a base para a aplicação dos métodos de separação de escoamento de base, conforme descrito nas seções subsequentes.

Figura 1 – Localização do posto fluviométrico 76750000



## 2.2 Métodos de Separação de Escoamento de Base

Neste estudo, foram aplicadas quatro abordagens distintas para a separação do escoamento de base: (i) o filtro digital de Eckhardt (2005), com ajuste visual do parâmetro Índice de Fluxo de Base Máximo ( $BFI_{max}$ ); (ii) o mesmo filtro destacado em (i), utilizando  $BFI_{max}$  estimado por meio da filtragem reversa, conforme proposto por Collischonn e Fan (2012); (iii) o mesmo filtro destacado em (i), com a estimativa de  $BFI_{max}$  realizada por meio da razão entre as vazões de permanência  $Q_{90}$  e  $Q_{50}$ , também segundo Collischonn e Fan (2012); e (iv) o método FUKIH, conforme descrito por Aksoy *et al.* (2009), que combina a técnica das mínimas de vazão suavizadas com filtragem digital recursiva. A comparação entre os resultados obtidos permitiu avaliar os diferentes valores do Índice de Vazão de Base ( $BFI$ ) e analisar o desempenho de cada técnica. As quatro abordagens empregadas são descritas nos subitens seguintes.

### 2.2.1 Filtro de Eckhardt com ajuste visual para $BFI_{max}$

O filtro digital proposto por Eckhardt (2005) é amplamente reconhecido pela sua capacidade de estimar de forma robusta a magnitude, forma e persistência do escoamento de base, sendo aplicável a bacias de diferentes escalas e características físicas (Narimani *et al.* 2023; Xie *et al.* 2020). O método separa a vazão total em dois componentes – escoamento superficial e escoamento de base – por meio de uma equação recursiva dependente de dois parâmetros: a constante de recessão do escoamento de base ( $\alpha$ ) e o índice máximo de escoamento de base ( $BFI_{max}$ ):

$$Q_{b(t)} = \frac{(1-BFI_{max}) \cdot \alpha \cdot Q_{b(t-1)} + (1-\alpha) \cdot BFI_{max} \cdot Q_{(t)}}{1-\alpha \cdot BFI_{max}} \quad (1)$$

Onde:  $Q_{b(t)}$  é a vazão de base;  $Q_{b(t-1)}$  é a vazão base no tempo  $(t-1)$ ;  $Q_{(t)}$  é a vazão total observada;  $\alpha$  o parâmetro da recessão; e  $BFI_{max}$  é o máximo índice de escoamento de base.

A determinação do parâmetro  $\alpha$  foi realizada por meio da análise de recessão do hidrograma, conforme metodologia descrita por Eckhardt (2008). A seleção dos segmentos considerados representativos da recessão baseou-se no atendimento ao critério definido na Equação 2, ou seja, a série temporal de vazão foi avaliada em intervalos sucessivos de cinco dias e verificado se havia a recessão.

$$Q_{(t-3)} > Q_{(t-2)} > Q_{(t-1)} > Q_{(t)} > Q_{(t+1)} > Q_{(t+2)} \quad (2)$$

Onde:  $t$  é o passo de tempo em dias.

As séries de vazões que atenderam ao critério da Equação 2 foram utilizadas para a construção de um gráfico de dispersão, no qual a vazão no instante  $t+1$  foi plotada em função da vazão no instante  $t$ . A partir dessa representação, ajustou-se uma linha de tendência com origem na coordenada  $(0,0)$ , sendo a inclinação da reta correspondente à constante de recessão “ $\alpha$ ”, conforme expresso na Equação 3:

$$Q_{(t+1)} = \alpha \cdot Q_{(t)} \quad (3)$$

Onde:  $Q_{(t+1)}$  é a vazão total observada no tempo  $(t+1)$ .

Essa abordagem assume três premissas fundamentais: (i) a vazão nos tempos  $t$  e  $t+1$  é exclusivamente de base; (ii) não há recarga subterrânea durante o intervalo analisado; e (iii) o aquífero comporta-se como um reservatório linear, com descarga proporcional ao armazenamento (Eckhardt, 2008).

O valor de  $BFI_{max}$  foi ajustado por inspeção visual, a partir da comparação entre diferentes simulações e a forma do hidrograma observado. O critério para escolha do valor mais adequado considerou compatibilidade visual da curva separada com os períodos de recessão, suavidade e coerência com o comportamento esperado da vazão de base em todo o período.

### 2.2.2 Filtro de Eckhardt com $BFI_{max}$ estimado pelo Filtro Reverso

Nesta abordagem, utilizou-se o filtro digital proposto por Eckhardt (2005), mas com a particularidade de estimar o parâmetro  $BFI_{max}$  a partir da aplicação de uma filtragem reversa, conforme sugerido por Collischonn e Fan (2012).

O método baseia-se na aplicação de um filtro reverso à série de vazões observadas, iniciando em um trecho de recessão onde se presume que o escoamento seja predominantemente de base. A partir de um valor previamente estimado do parâmetro de recessão  $\alpha$ , o filtro é executado no sentido inverso da série temporal, gerando uma estimativa preliminar da vazão de base máxima possível ( $b'$ ). Com essa série filtrada, o valor de  $BFI_{max}$  é então calculado como a razão entre a soma das vazões de base estimadas ( $b'$ ) e a soma das vazões totais observadas ( $Q_i$ ), conforme a Equação (4):

$$BFI_{max} = \frac{\sum_{i=1}^n b'_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (4)$$

Onde:  $b'_i$  é o escoamento de base estimado pela filtragem reversa no tempo  $i$ ; e  $Q_i$  é a vazão total observada no tempo  $i$ .

### 2.2.3 Método Q<sub>90</sub>/Q<sub>50</sub> de Collischonn e Fan (2012)

Collischonn e Fan (2012) propuseram um método empírico para estimar o parâmetro  $BFI_{max}$  com base na razão entre duas vazões de permanência:  $Q_{90}$  e  $Q_{50}$ , extraídas da curva de permanência de vazões. Essa abordagem foi desenvolvida a partir de dados de estações localizadas nas regiões sul e central do Brasil, onde se verificou que essa razão apresenta boa correlação com a contribuição do escoamento de base. A equação ajustada pelos autores, válida para  $BFI_{max} < 1$ , é dada por:

$$BFI_{max} = 0,8344 \cdot \frac{Q_{90}}{Q_{50}} + 0,2146 \quad (5)$$

Onde:  $Q_{90}$  é a vazão que é igualada ou superada em 90% do tempo em um determinado curso d'água; e  $Q_{50}$  é a vazão que é igualada ou superada em 50% do tempo, representando a mediana da distribuição de vazões.

Essa expressão permite estimar o valor de  $BFI_{max}$  diretamente a partir da análise estatística da série histórica de vazões, sem necessidade de dados adicionais, calibração visual ou análise de recessão.

### 2.2.4 Método FUKIH

O método FUKIH (Filtered Smoothed Minima Baseflow Separation Method), desenvolvido por Aksoy *et al.* (2009), consiste em uma abordagem híbrida que combina duas técnicas de separação de escoamento de base: o método das mínimas suavizadas do UK Institute of Hydrology (UKIH) e o filtro digital recursivo (RDF). Essa combinação tem como objetivo superar as limitações individuais de cada técnica, promovendo uma estimativa mais realista, contínua e hidrológicamente consistente da vazão de base.

Inicialmente, aplica-se o método UKIH, que segmenta a série de vazão em blocos de cinco dias e identifica os pontos de mínima em cada intervalo. Esses pontos são conectados por interpolação linear, resultando em uma estimativa preliminar da vazão de base. No entanto, essa abordagem pode gerar descontinuidades e oscilações abruptas no hidrograma, especialmente durante períodos de transição rápida entre eventos de cheia e recessão.

Para mitigar esse comportamento, o hidrograma obtido pelo UKIH é posteriormente suavizado por meio da aplicação de um filtro digital recursivo unidirecional, conforme originalmente proposto por Lyne e Hollick (1979). Esse procedimento ajusta a forma da curva estimada, promovendo uma resposta mais compatível com a dinâmica retardada da vazão de base (Aksoy *et al.* 2009).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação dos quatro métodos de separação de escoamento de base resultou em variações consideráveis nos valores estimados do BFI, revelando a sensibilidade dos resultados à metodologia adotada. Os valores de BFI variaram de 0,206 (FUKIH) a 0,298 (pelo método Q<sub>90</sub>/Q<sub>50</sub>), apresentando grande amplitude nos resultados obtidos a partir dos diferentes métodos propostos. A Tabela 1 apresenta um resumo detalhado dos parâmetros utilizados e dos resultados obtidos para cada abordagem. As Figuras 2a e 2b demonstram as estimativas da vazão de base em dois períodos distintos, um recente (setembro a outubro de 2023) e outro histórico (junho a novembro de 2016), permitindo avaliar a consistência das abordagens em diferentes condições hidrológicas.

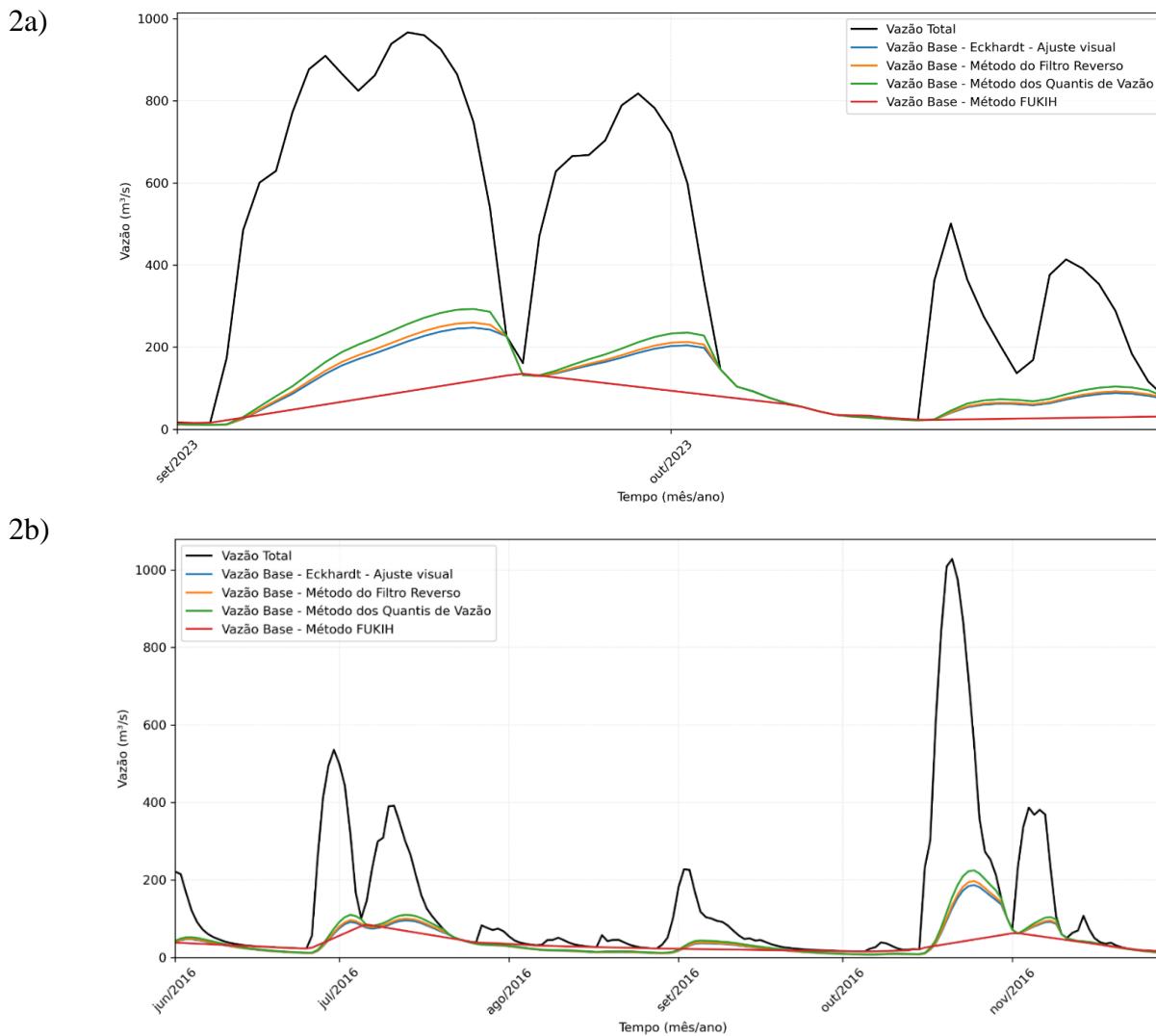
Tabela 1. Resultados da separação de escoamento de base para os diferentes métodos aplicados.

Método	$\alpha$	BFI <sub>max</sub>	BFI
Eckhardt com ajuste visual	0,998	0,325	0,264
Eckhardt com filtro reverso (Collischonn)	0,998	0,339	0,274
Q <sub>90</sub> /Q <sub>50</sub> (Collischonn)	0,998	0,376	0,298
FUKIH	—	—	0,206

Os métodos baseados no filtro digital de Eckhardt apresentaram resultados consistentes entre si, com valores de BFI variando entre 0,264 e 0,298. O método Q<sub>90</sub>/Q<sub>50</sub> apresentou o maior valor de BFI (0,298), o que se justifica por sua natureza empírica, fundamentada em curvas de permanência. A proximidade entre os valores de BFI<sub>max</sub> obtidos visualmente (0,325) e pelo filtro reverso (0,339) reforça a praticidade e a eficácia da abordagem automatizada proposta por Collischonn e Fan (2012), especialmente útil em contextos de menor disponibilidade de dados detalhados sobre processos de recessão.

Por outro lado, o método FUKIH resultou no menor valor de BFI (0,206), indicando uma abordagem mais conservadora para a estimativa da contribuição da vazão de base. Essa tendência pode ser explicada pela maior suavização realizada pelo método ao combinar técnicas gráficas e digitais, o que reduz significativamente a estimativa da vazão de base em períodos de transição e eventos extremos de cheia. Essa observação foi confirmada visualmente nos hidrogramas apresentados nas Figuras 2a e 2b, onde o método FUKIH gerou consistentemente estimativas inferiores às demais abordagens, especialmente durante eventos de cheia.

Figura 2 – Comparação das Vazões de Base Estimadas por Diferentes Métodos em Dois Períodos Hidrológicos (2a) setembro a outubro de 2023; (2b) junho a novembro de 2016



No período recente (2023), observa-se um regime de cheias bem definido, com eventos de pico concentrados e intensos. Nessa condição, os métodos baseados no filtro de Eckhardt (ajuste visual e filtro reverso) e no  $Q_{90}/Q_{50}$  responderam com estimativas de vazão de base mais elevadas durante os picos de vazão, mantendo coerência com a forma do hidrograma total. O método baseado na razão  $Q_{90}/Q_{50}$  apresentou as maiores estimativas, enquanto o método FUKIH, como esperado, apresentou uma curva suavizada e com resposta mais lenta aos eventos, resultando nas menores estimativas ao longo de todo o período.

Já no período de 2016, marcado por um comportamento hidrológico mais distribuído ao longo dos meses, os métodos apresentaram padrões semelhantes em termos relativos, mas com diferenças mais sutis entre si. Nota-se que durante eventos de menor magnitude e em períodos de recessão prolongada, o método FUKIH demonstrou maior aproximação das demais curvas, sugerindo maior sensibilidade a variações em cenários menos extremos.

Essas diferenças são coerentes com os achados de Xie *et al.* (2020), que destacam o desempenho superior dos métodos digitais, especialmente o método de Eckhardt (2005), devido à sua

robustez e capacidade de adaptação às características hidrológicas das bacias. De fato, os resultados deste estudo corroboram essa observação, especialmente na análise visual dos hidrogramas, onde as abordagens baseadas no filtro de Eckhardt apresentaram maior aderência aos períodos de recessão esperados. Eckhardt (2008) também ressalta a relevância da calibração adequada dos parâmetros, especialmente o  $BFI_{max}$ , para garantir a precisão e a coerência das estimativas. A aplicabilidade do método de filtro reverso proposta por Collischonn e Fan (2012) também é confirmada por esses resultados, que demonstraram boa concordância com a forma esperada dos hidrogramas.

Já o método  $Q_{90}/Q_{50}$ , com o maior valor de  $BFI$  (0,298), baseia-se em estatísticas de permanência e tende a superestimar a contribuição do escoamento de base. Contudo, estudos como os de Kissel e Schmalz (2020) consideram esse método adequado para estimativas médias de vazão de base, destacando sua simplicidade e boa concordância com métodos mais robustos.

Por outro lado, o método FUKIH, foi o que resultou no menor valor de  $BFI$  estimado (0,206). De fato, Aksoy *et al.* (2009) destacam que essa metodologia tende a produzir hidrogramas mais suaves e hidrológicamente consistentes, pois integram as vantagens de duas técnicas distintas de separação. Os resultados deste estudo, contudo, sugerem uma possível subestimativa da contribuição da vazão de base quando comparados aos métodos baseados no filtro de Eckhardt, o que pode ser observado nos hidrogramas gerados, que se mostraram sistematicamente inferiores durante os períodos de maior vazão. Essa característica foi igualmente discutida por Cheng *et al.* (2022), que observaram que a abordagem FUKIH tende a atenuar as respostas do escoamento de base durante eventos de precipitação, devido à ação da segunda etapa de filtragem.

## 4 CONCLUSÃO

Os resultados indicaram variações expressivas nos valores do  $BFI$ , com o método  $Q_{90}/Q_{50}$  apresentando o maior valor estimado (0,298) e o método FUKIH o menor (0,206). Os métodos baseados no filtro de Eckhardt demonstraram desempenho consistente, com boa capacidade de adaptação às diferentes condições hidrológicas analisadas. Esses métodos equilibraram suavização e capacidade de resposta do hidrograma, ajustando-se bem tanto aos eventos de cheia quanto aos períodos de recessão. O método empírico  $Q_{90}/Q_{50}$  apresentou os maiores valores de vazão de base, refletindo sua tendência a estimativas mais elevadas. Por sua vez, o método FUKIH mostrou comportamento mais conservador e suavizado em comparação aos demais métodos avaliados.

A comparação entre os períodos analisados mostrou que a resposta dos métodos varia conforme o regime de vazão predominante, reforçando a importância da aplicação em diferentes contextos temporais. Apesar dos avanços proporcionados por este estudo, destaca-se como limitação a ausência de dados observacionais diretos da vazão de base, como aqueles obtidos por meio de traçadores. Nesse sentido, recomenda-se que estudos futuros aprofundem a investigação sobre a calibração dos parâmetros do filtro de Eckhardt, especialmente o  $BFI_{max}$ , em diferentes contextos geológicos e climáticos, bem como a aplicação complementar de métodos baseados em dados de campo. Além disso, sugere-se a ampliação da análise para outras estações hidrométricas, com diferentes características hidrológicas, a fim de verificar a robustez dos resultados e avaliar a aplicabilidade dos métodos em distintos regimes de escoamento. A incorporação de técnicas independentes de separação poderia fornecer subsídios adicionais para avaliar o desempenho dos métodos indiretos e fortalecer a confiabilidade das estimativas de escoamento de base em bacias brasileiras.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), código de financiamento 001, à Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM) e ao grupo de pesquisa em Modelagem Hidroambiental e Ecotecnologias pelo apoio prestado.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Impacto da Mudança Climática nos Recursos Hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2024. pp. 96.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEMANETO BÁSICO (ANA). Rede Hidrometeorológica Nacional Sistema HIDRO - Telemetria.
- AKSOY, H. et al. (2009). “*Filtered smoothed minima baseflow separation method*”. Journal of Hydrology 372, pp. 94–101.
- CHENG, S. et al. (2022). “*Evaluation of baseflow separation methods with real and synthetic streamflow data from a watershed*”. Journal of Hydrology 613, pp. 128279.
- COLLISCHONN, W.; FAN, F. M. (2012). “*Defining parameters for Eckhardt’s digital baseflow filter*”. Hydrological Processes 27(18), pp. 2614–2622.
- DE BARROS, C. A. P. et al. (2021). “*How water flow components affect sediment dynamics modeling in a Brazilian catchment*”. Journal of Hydrology 597, pp. 126111.
- DUNCAN, H. P. (2019). “*Baseflow separation – A practical approach*”. Journal of Hydrology 575, pp. 308–313.
- ECKHARDT, K. (2005). “*How to construct recursive digital filters for baseflow separation*”. Hydrological Processes 19(2), pp. 507–515.
- ECKHARDT, K. (2008). “*A comparison of baseflow indices, which were calculated with seven different baseflow separation methods*”. Journal of Hydrology 352(1–2), pp. 168–173.
- FIROOZI, A. A.; FIROOZI, A. A. (2024). “*Water erosion processes: Mechanisms, impact, and management strategies*”. Results in Engineering 24, pp. 103237.
- GAN, R. et al. (2022). “*The assessment of baseflow separation method and baseflow characteristics in the Yiluo River basin, China*”. Environmental Earth Sciences 81(11).
- GLAS, R. et al. (2023). “*Adjusting design floods for urbanization across groundwater-dominated watersheds of Long Island, NY*”. Journal of Hydrology 618, pp. 129194.
- GÓMEZ, D. et al. (2020). “*Empirical rainfall-based model for defining baseflow and dynamical water use rights*”. River Research and Applications 36(2), pp. 189–198.
- HADDELAND, I. et al. (2014). “*Global water resources affected by human interventions and climate change*”. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 111(9), pp. 3251–3256.
- HE, S. et al. (2022). “*Impacts of parameter uncertainty on baseflow separation by a two-parameter recursive digital filter*”. Hydrological Processes 36(3).
- HELPFER, F. et al. (2024). “*Calibrated Eckhardt’s filter versus alternative baseflow separation methods: A silica-based approach in a Brazilian catchment*”. Journal of Hydrology 644, pp. 132073.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2023). Banco de Dados e Informações Ambientais (BDiA): Mapeamento de Recursos Naturais (MRN). Rio de Janeiro, Brasil: IBGE.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2023. E-book.

KANG, H. et al. (2019). “*Regional estimation of baseflow index in Korea and analysis of baseflow effects according to urbanization*”. Journal of Korea Water Resources Association 52(2), pp. 97–105.

KISSEL, M.; SCHMALZ, B. (2020). “*Comparison of baseflow separation methods in the german low mountain range*”. Water (Switzerland) 12(6).

KOTTEK, M. et al (2006). “*World map of the Köppen-Geiger climate classification updated*”. Meteorologische Zeitschrift 15, pp. 259–263.

LEE, J. et al. (2021). “*Evaluation of rainfall erosivity factor estimation using machine and deep learning models*”. Water (Switzerland) 13(3), pp. 382.

LEE, J. et al. (2022). “*Analyzing the Impacts of Sewer Type and Spatial Distribution of LID Facilities on Urban Runoff and Non-Point Source Pollution Using the Storm Water Management Model (SWMM)*”. Water (Switzerland) 14(18), pp. 2776.

LYNE, V.; HOLLIK, M. (1979). “*Stochastic time-variable rainfall-runoff modelling*”. In: INSTITUTE OF ENGINEERS AUSTRALIA NATIONAL CONFERENCE, Australia. *Anais...* 1979. pp. 89-93.

MEI, Y.; ANAGNOSTOU, E. N. (2015). “*A hydrograph separation method based on information from rainfall and runoff records*”. Journal of Hydrology 523, pp. 636–649.

NARIMANI, R. et al. (2023). “*The role of climate conditions and groundwater on baseflow separation in Urmia Lake Basin, Iran*”. Journal of Hydrology: Regional Studies 47.

RIO GRANDE DO SUL (2021). Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. U050 – BH Ibicuí. Porto Alegre: SEMA.

SANTOS, H. G. dos et al (2018). “*Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*”. 5. ed. Brasília, DF: Embrapa, pp 365.

SERUR, A. B. (2022). “*Optimal surface water allocation under various scenarios in the Central Rift Valley basin in Ethiopia*”. Sustainable Water Resources Management 8(5).

SINGH, S. K. et al. (2019). “*Towards baseflow index characterisation at national scale in New Zealand*”. Journal of Hydrology 568, pp. 646–657.

SONG, J. H. et al. (2022). “*Quantifying the contribution of direct runoff and baseflow to nitrogen loading in the Western Lake Erie Basins*”. Scientific Reports 12(1).

XIE, J. et al. (2020). “*Evaluation of typical methods for baseflow separation in the contiguous United States*”. Journal of Hydrology 583, pp. 124628.

ZHANG, J. et al. (2017). “*MiR-146a promotes remyelination in a cuprizone model of demyelinating injury*”. Neuroscience 348, pp. 252–263.