

## XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

### **USO DE MODELAGEM/PREVISÃO HIDROLÓGICA, ASSIMILAÇÃO DE DADOS E FILTROS ESTATÍSTICOS PARA CONSISTÊNCIA DE SÉRIES TEMPORAIS HISTÓRICAS E EM TEMPO REAL**

*Cléber Henrique de A. Gama<sup>1</sup>; Rodrigo C. D. de Paiva<sup>2</sup>*

**Abstract:** Streamflow data series are fundamental to water resources studies and projects. However, certain types of sensors can generate noisy or erroneous measurements, especially automatic transmission gauges. The errors vary greatly, and automatically identifying and filtering them across multiple gauges is still challenging. This paper presents an offline filter sequence and a real-time filtering method. Incorrect measurements are automatically converted into missing values, and a hydrological model is used to restore the original noise-free data that were erroneously removed. The methodology was applied with several noise levels and was evaluated using over 30,000 synthetic hydrographs and a real database of 567 telemetric gauges in a final application. The filters achieved over 80% efficiency in removing errors and noise. The recovery methodology reduced data loss to only 1%. One of the great advantages of this method is the absence of altered data in the final time series. The results indicate that this process can ensure the consistency of streamflow data.

**Resumo:** Séries temporais históricas são fundamentais para estudos e projetos de recursos hídricos, especialmente para melhoria da acurácia de métodos de previsão hidrológica. No entanto, certos tipos de sensores podem gerar ruídos ou valores errados nas medições, especialmente em séries de estações automáticas. Os tipos de erros podem variar e identificá-los e filtrá-los automaticamente em múltiplas estações ainda é um desafio. Este trabalho apresenta uma sequência de filtros offline e um método de filtragem em tempo real. As medições incorretas são automaticamente convertidas em falhas e um modelo hidrológico é utilizado para restaurar dados originais livres de ruído que possam ter sido removidos. A metodologia foi testada em séries com vários níveis de ruído e avaliada para mais de 30000 hidrogramas sintéticos e com aplicação final em uma base de dados de 567 estações telemétricas. Os filtros conseguiram mais de 80% de eficiência na remoção dos erros e ruídos. A metodologia de recuperação com base nas previsões do modelo reduziu a perda de dados para apenas 1%. Uma das grandes vantagens deste método é a ausência de dados alterados na série temporal final. Os resultados indicam que esse processo pode ser utilizado para consistência de dados hidrológicos.

**Palavras-Chave** – Remoção de ruído, estações telemétricas, SOPREVA Hydrological Model

#### **INTRODUÇÃO**

As séries hidrológicas, especialmente as séries de vazão, são úteis para diversas aplicações e estudos em recursos hídricos. Por exemplo, para dimensionar estruturas hidráulicas, simular um

---

1) Universidade Federal do Rio Grande do Sul e Fractal Engenharia e Sistemas – cleber.hag@gmail.com

2) Universidade Federal do Rio Grande do Sul - rodrigo.paiva@ufrgs.br

sistema hidrodinâmico, gerenciar adequadamente reservatórios ou tomar medidas de prevenção contra desastres, é necessário ter uma longa série de dados histórica.

Esses dados são tradicionalmente medidos por meio de medições *in situ*. No entanto, a manutenção das estações de medição é cara e consome tempo. Esse problema se agrava ainda mais em um país de dimensões continentais, como o Brasil. Em casos de estações automáticas, é muito difícil controlar a qualidade das medições e, em muitos casos, as séries de dados podem conter ruído e erros em suas estimativas.

Os erros mais comuns são valores discrepantes, zeros em vez de valores ausentes, valores constantes por um longo período, nos quais o sensor provavelmente está danificado, e ruído no sinal por um determinado período. A frequência e o tipo de erros variam de estação para estação. Em alguns lugares, há uma estação sem problemas. Em outros lugares, há estações com ruído apenas em um período da série temporal, e em alguns outros lugares, há estações com ruído em toda a série de dados. Essa variabilidade de erros torna o tratamento e a filtragem ainda mais difíceis.

Inicialmente, para o processo de redução de ruído eram aplicados métodos simples, como filtros de média/mediana (Schreiber, 1993) ou regressões lineares (Schreiber, 1991). Em seguida, foram desenvolvidos outros métodos de suavização, como filtros passa-baixa. Mais recentemente, métodos de inteligência artificial (IA) são comumente utilizados para reduzir ruídos ou erros (Santos et al. 2021; Atkinson and Metsis, 2020; Ormiston et al., 2020).

Nas séries hidrológicas, algumas técnicas de remoção de ruído foram aplicadas, mas também não há uma metodologia padrão, e todos os métodos geralmente são aplicados a uma estação específica. Entretanto, técnicas de assimilação de dados (AD) têm sido usadas para remover erros e reduzir sinais de ruído e estas possuem um potencial interessante, pois permite combinação com outros métodos (como IA ou modelagem física) e pode ser aplicada em séries com diferentes características.

Uma versão modificada do Filtro de Kalman Estendido (EKF) foi apresentada e aplicada por Hu et al. (2020) para remoção de erros grosseiros. Eles consideraram três tipos de erros: valores discrepantes, viés e deriva. Para validação, alguns erros foram incluídos na série, e a metodologia mostrou eficiência em identificá-los e removê-los.

Por outro lado, é comum à maioria dos trabalhos o alerta de que o procedimento de remoção de ruído deve ser aplicado com cuidado, pois a aplicação de filtros também pode remover o sinal original, e ruído e caos ou viés podem ser incluídos na série pelo processo de filtragem.

Diante dessas questões, o objetivo deste trabalho é investigar se é possível estabelecer uma sequência padrão de filtros para séries de dados de vazão. O processo de filtragem proposto envolve uma parte a ser aplicada offline e outra em tempo real. É apresentada uma metodologia para identificar erros e convertê-los em falhas. Posteriormente, a fim de reduzir a porcentagem de medições originais livres de ruído removidas incorretamente, propõe-se o uso de um modelo hidrológico com assimilação de dados para identificá-las e reintegrá-las à série temporal.

## **METODOLOGIA**

O método proposto para filtragem de ruído em séries temporais hidrológicas é apresentado através do fluxograma da Figura 1. Inicialmente, conforme apresentado na área vermelha do

fluxograma, uma sequência de filtros foi planejada para identificar ruídos, dados ausentes e medições incorretas nas séries temporais de vazão. Os filtros são baseados em considerações físicas e/ou baseados em filtros estatísticos tradicionais e a aplicação ocorre em modo offline, ou seja, aplicado à consistência de uma série temporal histórica.

Em seguida, pressupõe-se que um modelo hidrológico calibrado seja capaz de representar o processo físico das bacias. E assim, é possível recuperar dados que foram equivocadamente removidos pelo processo inicial de filtragem. Destaca-se que neste processo as saídas do modelo hidrológico também podem ser usadas para preencher lacunas nos dados de vazão, contudo o presente trabalho destina-se apenas à identificação de dados incoerentes e transformação destes em falha.

A etapa de filtragem em tempo real consiste na utilização de alguns filtros físicos também aplicados na primeira etapa e da utilização de um modelo de base física com assimilação de dados para fornecer estimativas de referência, as quais são utilizadas como benchmarks para exclusão de dados em tempo real. A partir desta sequência de filtragem, um banco de dados filtrado pela etapa offline pode ser usado em aplicações operacionais, e o processo de filtragem em tempo real pode ser utilizado para manter sua consistência.

Para avaliação da metodologia apresentada propõe-se uma sequência de experimentos que consistem em primeiro avaliar a sequência de filtros offline em diversos hidrogramas sintéticos que representem características hidrológicas distintas, posteriormente utilizar essa base para a avaliação dos filtros em tempo real e, finalmente, uma aplicação é feita para a base de dados das estações telemétricas da Agência Nacional de Águas (ANA). Os filtros aplicados bem como o detalhamento dos experimentos são apresentados nos itens a seguir.

## **1. Filtros Físicos e Estatísticos**

### **1.1. Vazões negativas**

Medições abaixo de zero são transformadas em falhas;

### **1.2. Vazões específicas não realistas**

Vazões acima de 1000mm/dia são consideradas incoerentes com a realidade e, portanto, convertidas em falhas. Para esta análise são utilizadas as informações de áreas de drenagem das estações. Destaca-se que apesar de extremamente elevada, uma vazão específica na ordem de 1000mm/dia não é necessariamente impossível. Desta forma, caso seja compatível com a chuva ocorrida, espera-se que a medição retorne à série ao fim do processo de recuperação de dados equivocadamente removidos;

### **1.3. Zero abrupto ou zero no lugar de falhas**

Identifica se há valores de 0 m<sup>3</sup>/s no lugar de falha. Essa verificação considera rios intermitentes pela avaliação das curvas de permanência. Para casos em que a vazão do rio é maior do que zero em 90% do tempo, as medições iguais a zero são consideradas como falhas. Caso contrário, avalia-se se o valor do passo de tempo anterior é maior do que um limite (definido nestas aplicações como 50 m<sup>3</sup>/s) e, em caso positivo, a medição igual a zero é considerada um zero abrupto e, portanto, também convertida em falha.

### **1.4. Valores constantes**

Verifica se existem longos períodos de valores constantes na série. Para cada valor na série é quantificado quantas vezes esse valor foi repetido e se isso ocorreu em sequência. Se

um valor se repetir em sequência 50% ou mais vezes do que os outros 95% dos valores, essa ocorrência em sequência é transformada em falha.

### ***1.5. Outliers extremos***

Medições maiores do que o triplo da vazão com 1% de permanência transformam-se em falhas.

### ***1.6. Outliers em janela móvel***

Valores que estão a mais de três desvios absolutos da mediana em uma janela de oito passos de tempo são considerados como falha.

### ***1.7. Comparação com filtro de mediana***

Medições que apresentam um erro relativo maior que 30% em comparação com a série gerada pela aplicação de um filtro de mediana, em uma janela de oito passos de tempo, são transformados em falha.

### ***1.8. Comparação com filtro de Wiener***

Medições que apresentam um erro relativo maior do que 30% em comparação com uma série gerada pela aplicação do filtro linear de Wiener, em uma janela de oito passos de tempo, são consideradas falhas.

### ***1.9. Comparação com filtro passa-baixa***

Uma comparação com a série gerada por um filtro passa-baixa é utilizada para decidir sobre dados a serem considerados como falha (quando o erro relativo é maior que 30%). A série do filtro é calculada pela média entre o filtro passa-baixa progressivo e o filtro passa-baixa regressivo, utilizando uma janela de quatro intervalos.

### ***1.10. Comparação com filtro de Wiener na primeira derivada***

Na última etapa do processo de filtragem, é feita uma comparação entre a série da primeira derivada regressiva e a série derivada filtrada por Wiener. Em casos que o erro relativo é maior que 30%, os pontos de dados correspondentes são alterados para falhas.

É importante ressaltar que o erro relativo é usado como critério de filtragem nos últimos quatro filtros: Mediana, Wiener, Passa-Baixa e Derivada. Esses filtros, assim como os anteriores, não modificam os valores quantitativos das medições. Portanto, durante o processo de filtragem, não há introdução de viés artificial na série.

## ***2. Séries temporais sintéticas***

As séries sintéticas referem-se a hidrogramas gerados a partir de um processo de calibração automática usando o modelo hidrológico SOPREVA (Gama, 2019) para representar as séries de vazão de um modelo hidrológico de escala continental (MGB-SA, Siqueira et al., 2018). Assim, foram gerados 33749 hidrogramas correspondentes a várias bacias sul-americanas. Esse processo permite avaliar o método de filtragem de séries temporais hidrológicas com diferentes características. As séries geradas compreendem um período entre 1979 a 2014, com intervalo de tempo diário. O método de calibração automática SCE-UA foi usado para calibrar o modelo hidrológico usando o coeficiente Kling-Gupta (KGE) como função objetivo. Com este processo assume-se que o modelo hidrológico é capaz de representar as séries originais (livres de ruído).

## ***3. Perturbação das séries temporais sintéticas***

O processo de inserção de ruído considerou a inclusão de erros típicos encontrados em séries temporais de estações automáticas (vazões negativas, valores constantes por um longo período, outliers extremos e a inserção de sinais de ruído aleatório por meio de três distribuições diferentes (Gaussiana, Gama e Logística).

Em cada hidrograma, foram incluídos: um período de valores constantes, em que o valor inicial foi escolhido aleatoriamente e a duração foi de aproximadamente 1350 dias (1% do tamanho da série temporal); valores irreais multiplicando 135 medições (0,1% do tamanho da série temporal), escolhidas aleatoriamente, por 100; e substituição de medições por valores zero em 1350 casos (1% do tamanho da série temporal).

Em seguida, sinais de ruído foram incluídos em 8 níveis diferentes, variando de 5 a 70% das medições em uma série temporal (5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60% e 70%). Embora a maioria dos trabalhos encontrados na literatura tenha utilizado ruído Gaussiano para análises, este artigo escolheu apresentar análises para ruídos Gaussiano, Gama e Logístico. As medições que foram modificadas foram escolhidas aleatoriamente.

#### 4. *Experimento I – Consistência de séries históricas*

O primeiro grupo de experimentos tem como objetivo aplicar a sequência de filtros offline, conforme descrito anteriormente. Devido ao fato de que o processo de filtragem também remover dados originalmente sem ruído, é aplicado um método para recuperar essas medições removidas incorretamente. Para isso, as séries temporais filtradas são usadas em um novo processo de calibração automática. Os hidrogramas do modelo calibrado são então comparados com os hidrogramas com ruído, isto é, os hidrogramas com perturbações. As medições que foram transformadas em falhas, mas possuem um erro relativo inferior a 20% entre a estimativa do modelo e a série com ruído, são reconsideradas e retornam para a série.

Destaca-se que caso ocorra de a sequência de filtros remover uma parte essencial da série, as calibrações automáticas resultam em hidrogramas que não correspondem às séries originais. Isso significa que os processos de inserção de ruído e filtragem desconfiguraram a série temporal de forma que é impossível recuperá-la e as métricas representariam esse desempenho.

As análises são apresentadas e discutidas por meio da avaliação das seguintes métricas: KGE, o coeficiente de Nash-Sutcliffe e seu logaritmo (NS e NSlog), o erro de volume (BIAS) e o erro quadrático médio (RMSE). Além disso, no caso dos hidrogramas sintéticos, também é possível avaliar a eficiência na remoção de medições modificadas e quantificar a perda do sinal sem ruído no processo.

#### 5. *Experimento II – Consistência em tempo real*

Estes experimentos tem como objetivo simular um procedimento de filtragem em tempo real que pode ser aplicado para avaliar a consistência dos dados temporais em um processo automático. Para avaliar o método, cada série temporal foi dividida em duas partes. A primeira parte (1979-1996), com dados livres de ruído, foi utilizada para calibrar o modelo hidrológico SOPREVA. A segunda parte (1997-2015) foi utilizada para simular dados em tempo real, onde as medições podem ser valores corretos ou não, conforme aplicação do processo de inserção de ruído apresentado anteriormente.

Após o processo de calibração automática, o SOPREVA trabalhou no modo de previsão operacional e, em cada intervalo de tempo, conforme uma nova medição é recebida, o filtro em tempo real decide se a mantém ou a transforma em falha. A filtragem consiste em verificar se a medição possui um erro relativo menor que um limite (adotado como 20%) em relação à estimativa do modelo. Além disso, alguns filtros também aplicados na filtragem offline são considerados: valores negativos, outliers extremos, zero abrupto e outliers em janela móvel.

Caso o RE seja menor que o limite e os filtros aceitem a medição, o modelo hidrológico assimila os dados e eles são armazenados na série. Caso contrário, a medição é alterada para um valor ausente e o SOPREVA continua funcionando sem assimilar dados naquele intervalo de tempo. Esse processo utiliza o fato de a assimilação de dados otimizar a acurácia da predição do modelo hidrológico, sobretudo para a antecedência de um intervalo de simulação, que é a considerada neste processo.

#### 6. *Experimento III – Aplicação dos filtros nas séries de telemetria da ANA*

Por fim, a metodologia é aplicada ao banco de dados de telemetria da ANA onde também há estações convencionais para servirem como referência (567 estações).

Para evitar valores ausentes ou erros nas séries temporais de precipitação, para modelagem hidrológica foram utilizados os dados do membro de controle do produto de reforecast do modelo global GEFS (Global Ensemble Forecasting System). Portanto, a definição do período de análise foi ajustada a partir das estações convencionais, representando o período comum entre o modelo GEFS (2000-2019), estação convencional e estação telemétrica.

## RESULTADOS

Os resultados a seguir representam as análises dos filtros offline e em tempo real aplicados aos hidrogramas sintéticos. Em seguida, são brevemente apresentados os resultados para a aplicação dos filtros nas séries históricas das estações telemétricas da Agência Nacional de Águas.

A Figura 1 apresenta, respectivamente nas colunas, as métricas para as séries de ruído gaussiano antes da aplicação dos filtros offline, após a aplicação dos filtros e após o processo de recuperação dos dados originais livres de ruído que foram perdidos no processo de filtragem. Destaca-se que para os ruídos com distribuição gamma e logística os resultados foram equivalentes.

Observa-se que os filtros offline conseguiram recuperar a representação do hidrogramas originais. Os valores de KGE e NS, na ordem de -3 e -30 com a série ruidosa, permaneceram acima de 0,98 após aplicação dos filtros. Além disso, as medianas do RMSE melhoraram de valores próximos a 400% para 0,67% no nível mais baixo de ruído e aproximadamente 7,5% nos casos em que 70% dos dados da série original foram alterados. Finalmente, as medianas da eficiência do filtro, ou seja, a porcentagem de remoção dos dados que foram perturbados, foram superiores a 80% em todos os níveis de ruído, atingindo 97,8% para o nível de ruído Gaussiano de 5%.

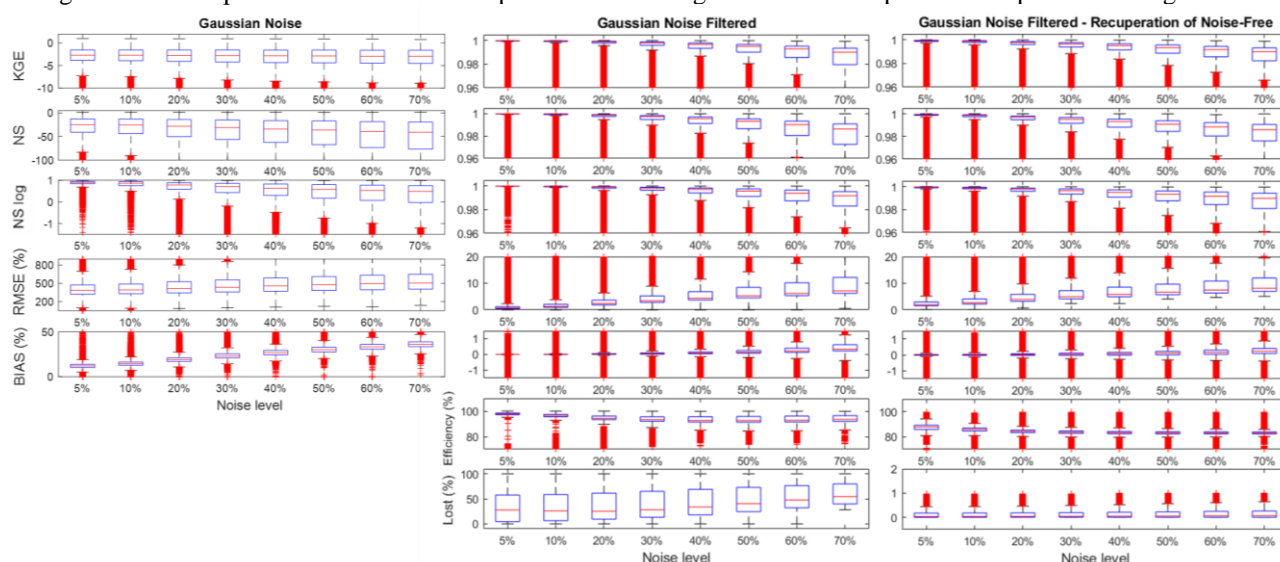
No entanto, ao avaliar os boxplots apresentados na última linha da coluna central, observa-se que, para essa alta eficiência na remoção das medições ruidosas, uma parte significativa do sinal original livre de ruído também foi perdida. As medianas dessas perdas variaram de 22% a 54%. Embora a metodologia proposta neste trabalho não permita a inclusão de ruído artificial durante o processo de filtragem, a perda do sinal original livre de ruído é uma questão importante a ser

considerada e por isso foi utilizada a etapa de recuperação desses dados via modelagem/previsão hidrológica.

Na coluna da direita, que apresenta os resultados após esse processo de recuperação, observa-se que houve uma manutenção das métricas alcançadas com a efetividade do processo de filtragem e que a porcentagem de dados perdidos no processo foi reduzida para valores abaixo de 1% em todos os níveis de ruído, representando a eficácia da recuperação dos dados equivocadamente excluídos.

A Figura 2 resume o desempenho do processo de filtragem em tempo real a partir da apresentação comparativa das métricas para as séries ruidosas (à esquerda) e as séries filtradas (à direita), em relação às hidrografias originais livres de ruído. Observa-se que a filtragem em tempo real melhorou significativamente todas as métricas, especialmente para KGE, NS e NSlog. Para essas métricas, os valores foram acima de 0,95 em todos os níveis de ruído, enquanto nas séries sem filtros, as medianas de KGE e NS estavam na ordem de -3 e -30. Os valores de RMSE foram reduzidos da ordem de 400% para valores abaixo de 20% em todos os níveis de ruído, e os erros de volume não ultrapassaram a ordem de 2% após o processo de filtragem em tempo real.

Figura 1 - Desempenho dos filtros offline aplicados aos hidrogramas sintéticos perturbados por um ruído gaussiano



Pode-se observar ainda que esse procedimento de filtragem teve uma eficiência acima de 80% em todos os casos, com medianas da ordem de 90%. No entanto, ao avaliar a perda do sinal livre de ruído, há um aumento nesse percentual em comparação com o processo de filtragem offline. Para as séries com metade dos dados com ruído, houve uma perda mediana de 29% dos dados livres de ruído. Para o nível de ruído mais baixo, esse valor foi em torno de 12%.

A Figura 3 apresenta alguns hidrogramas originais de algumas estações automáticas analisadas (em azul) em comparação com hidrogramas após o processo de filtragem de ruído offline (em verde), e em relação às medições nos medidores convencionais (em preto). Os dados considerados livres de ruído e recuperados em sequência são mostrados em vermelho.

A partir da análise visual, pode-se observar uma grande eficiência na identificação e remoção de dados com erros ou ruído presentes na série original dos medidores automáticos. Além disso, é possível ver que a metodologia proposta conseguiu identificar medições com vários erros associados

(valores discrepantes, fluxos constantes por longos períodos, zeros em vez de falhas e períodos com níveis de ruído inconsistentes com os hidrogramas).

Figura 2 - Desempenho dos filtros em tempo real aplicados aos hidrogramas perturbados por um ruído gaussiano

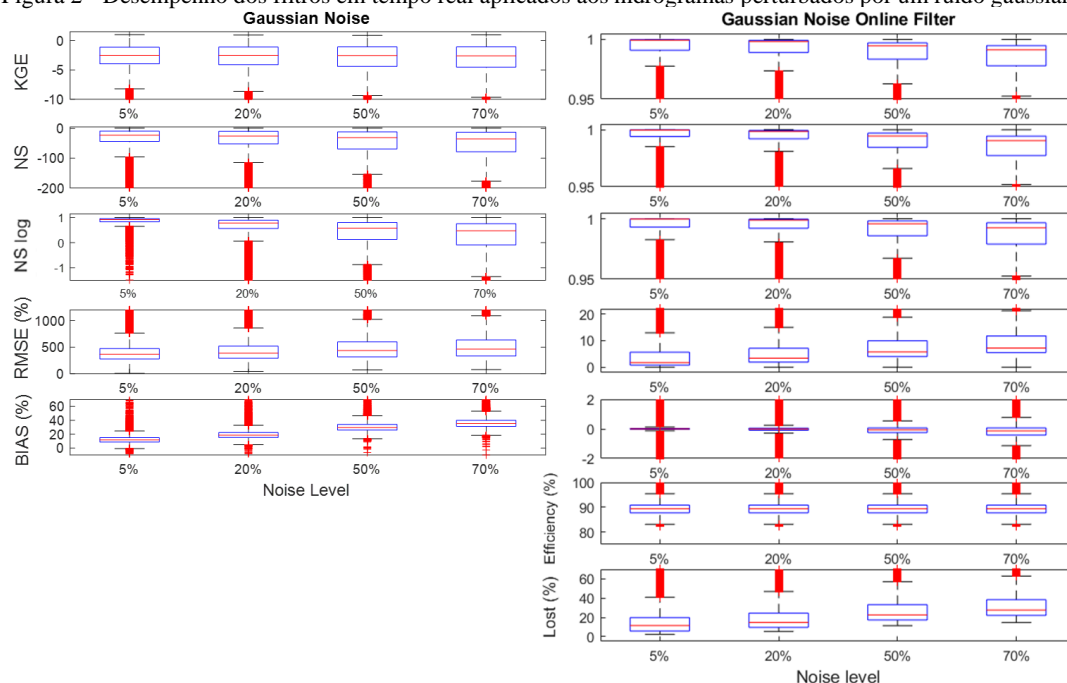
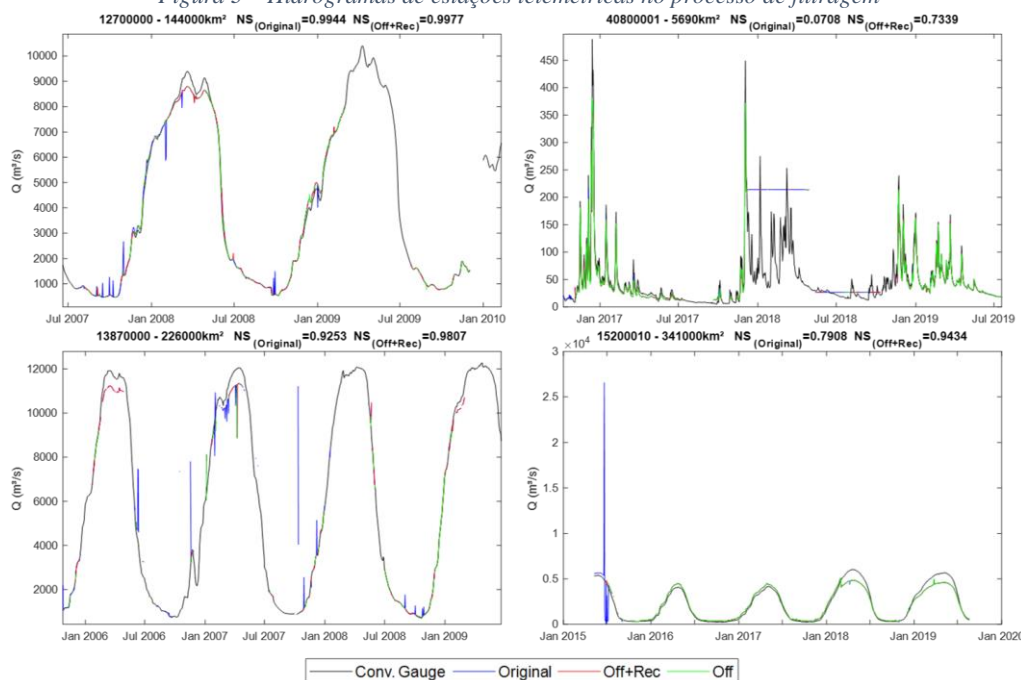


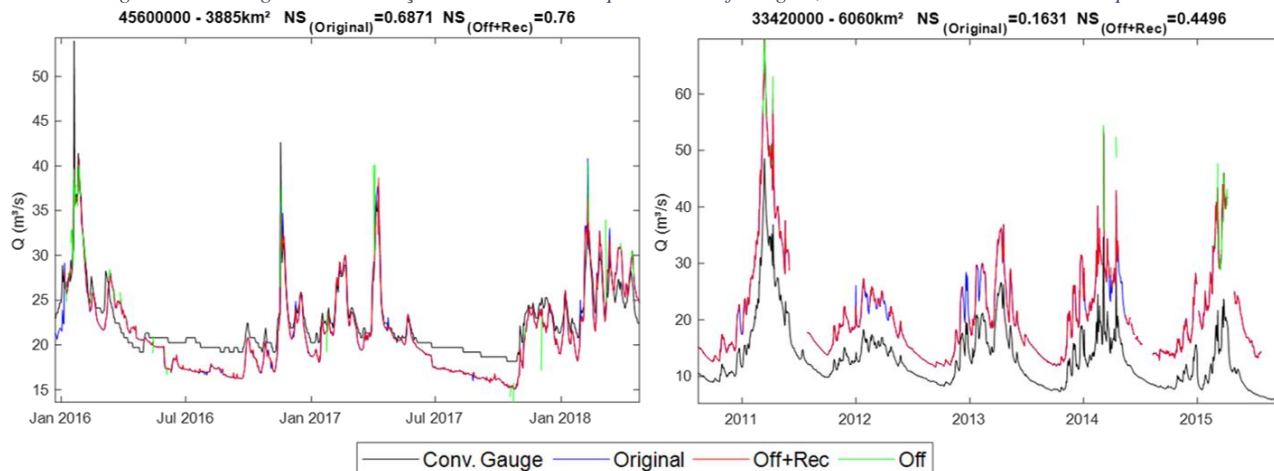
Figura 3 – Hidrogramas de estações telemétricas no processo de filtragem



Similar aos resultados obtidos com os hidrogramas sintéticos, a metodologia de recuperação dos dados originais livres de ruído perdidos durante a aplicação dos filtros offline mostrou uma eficácia impressionante em muitos locais. Os hidrogramas apresentados na destacam alguns locais onde grande parte das hidrografias originais havia sido perdida durante o processo de filtragem e foi posteriormente recuperada.



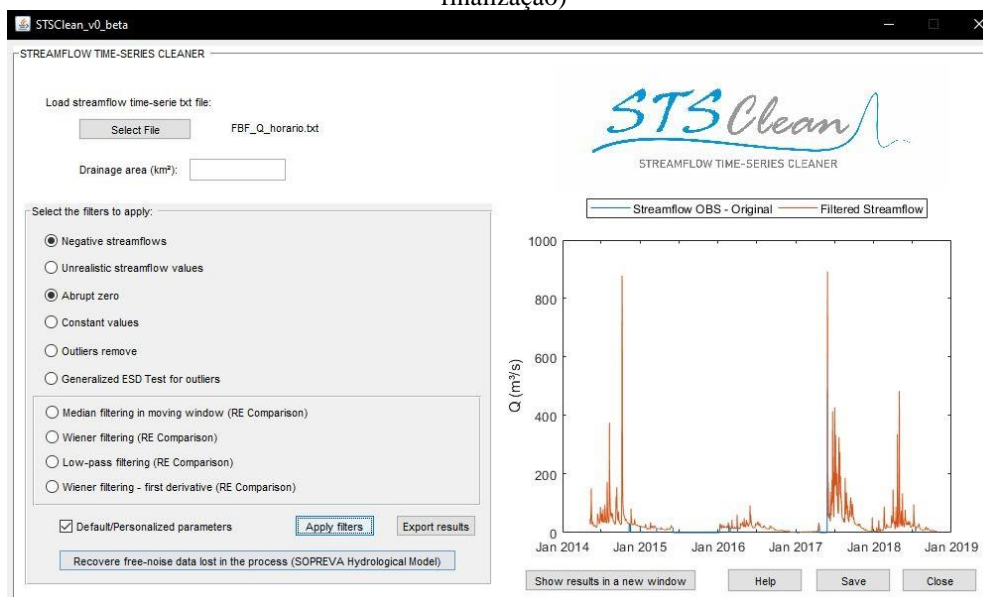
Figura 4 - Hidrogramas de estações telemétricas no processo de filtragem, com alto índice de dados recuperados



## SOFTWARE STS CLEAN

Em ordem de facilitar a aplicação dos filtros, bem como para permitir a customização de quais filtros serão aplicados a depender das condições da série temporal original, foi criado o software Streamflow Time-Series Cleaner, com uma interface de fácil aplicação aos usuários.

Figura 5 - Interface do software STS Clean, ferramenta para auxiliar na consistência de séries temporais (em finalização)



## CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou e avaliou metodologias de filtragem para consistência de dados hidrológicos em modo offline e em tempo real. Sinais de ruído e valores incoerentes foram removidos por meio de uma combinação de filtros físicos e estatísticos. Além disso, foi proposta a utilização de um modelo hidrológico no processo para considerar a recuperação dos dados originais livres de ruído que os filtros haviam removido erroneamente. Destaca-se que a metodologia de filtragem apenas transforma valores incorretos em valores ausentes que evita a inserção de um sinal de ruído artificial pelo processo de filtragem.

A eficiência de identificação e remoção foi superior a 80% em todos os casos e atingiu 97,8% para o nível de ruído gaussiano de 5%. As métricas usadas para avaliar a eficiência do filtro melhoraram significativamente. Por exemplo, os valores de KGE e NS, anteriormente na ordem de -3 e -30, permaneceram acima de 0,98 para todos os casos.

De forma semelhante, o método de recuperação de dados excluídos pela filtragem apresentou uma eficiência muito alta em todas as métricas. A mediana da perda do sinal original passou de 22-54% para menos de 1% em todos os casos, e a eficiência de remoção foi mantida acima de 83%.

Os resultados indicaram também uma eficiência na filtragem de dados em tempo real, com possível aplicação na consistência de séries - especialmente em estações automáticas. No entanto, devido às eficiências mais altas no processo offline, indica-se que, mesmo com uso da filtragem em tempo real, o procedimento offline seja reaplicado periodicamente para obter eficiências mais altas e minimizar a perda do sinal livre de ruído.

## REFERÊNCIAS

ATKINSON, G.; METSIS, V. (2020). Identifying label noise in time-series datasets, in: Adjunct Proceedings of the 2020 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and Proceedings of the 2020 ACM International Symposium on Wearable Computers, pp. 238–243.

GAMA, C. H. A. (2019). Previsão operacional de vazões baseada em modelo hidrológico concentrado, assimilação de dados e previsões meteorológicas, Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, Brasil.

HU, G.; ZHANG, Z.; ARMAOU, A.; YAN, Z. (2020). Robust extended kalman filter based state estimation for nonlinear dynamic processes with measurements corrupted by gross errors, Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers 106, 20–33.

ORMISTON, R.; NGUYEN, T.; COUGHLIN, M.; ADHIKARI, R. X.; KATSAVOUNIDIS, E. (2020). Noise reduction in gravitational-wave data via deep learning, Physical Review Research 2, 3.  
SANTOS, L. A.; FERREIRA, K. R.; CAMARA, G.; PICOLI, M. C.; SIMOES, R. E. (2021). Quality control and class noise reduction of satellite image time series, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 177 75–88.

SCHREIBER, T. (1993). Extremely simple nonlinear noise-reduction method, Physical Review E 47 (4) 2401.

SCHREIBER, T.; GRASSBERGER, P. (1991). A simple noise-reduction method for real data, Physics Letters A 411–418.

SIQUEIRA, V. A.; PAIVA, R. C.; FLEISCHMANN A. S.; FAN, F. M.; RUHOFF A. L.; PONTES, P. R.; PARIS, A.; CALMANT, S., COLLISCHONN, W. (2018). Toward continental hydrologic-hydrodynamic modeling in south america, Hydrology and Earth System Sciences 22 (9) 4815–4842.

**AGRADECIMENTOS** – Agradecemos à Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao CNPq pela concessão de fomento e material para o desenvolvimento da pesquisa.