

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

AVALIAÇÃO E PROPOSTA DE REDE FLUVIOMÉTRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GRANDE, ESTADO DA BAHIA

*Gilbert Vaz Junior¹; Michel Castro Moreira², Ricardo Santos Silva Amorim²;
Demetrius David da Silva² & Abrahão Alexandre Alden Elesbon³*

Abstract: Quantitative and qualitative knowledge is a key factor for the implementation of effective water resources management, which requires a well-allocated hydrometric network with a sufficient number of measurement stations in order to monitor the region's water availability. In the western region of Bahia, specifically in the Grande River basin, agriculture is the dominant activity, and water plays a fundamental role in this sector. However, the station distribution in the basin appears to be poorly optimized, focusing only on the main rivers. In this context, this study aimed to evaluate and propose an optimized monitoring network covering the entire region. Based on fluvimetric stations available through the HidroWeb system of the National Water and Basic Sanitation Agency (ANA), with more than 15 years of data, and using kriging interpolation with an adjusted theoretical semivariogram, the goal was to allocate stations in a way that reduced the standard deviation calculated in comparison to the original data. To achieve this, it was identified that 42 stations either needed to be added or relocated within the basin, especially those currently out of operation or lacking sufficiently robust data series, along with the relocation of 11 of the stations used in this study, totaling 63 stations. It is concluded that, based on the study criteria, there is a possibility to add 42 stations to improve the network's distribution and support more comprehensive monitoring throughout the basin.

Resumo: O conhecimento quantitativo e qualitativo é fator fundamental para a adoção de uma adequada gestão de recursos hídricos, a qual requer uma rede fluviométrica bem alocada e com número suficiente de postos de medição, a fim de monitorar a disponibilidade hídrica da região. Na região Oeste da Bahia, especificadamente na bacia do rio Grande, a agricultura é atividade dominante, e a água têm papel fundamental neste segmento. Entretanto, percebe-se uma distribuição pouco otimizada das estações na bacia, voltada apenas aos rios principais. Neste contexto, este trabalho objetivou avaliar e propor uma rede de monitoramento otimizada, abrangendo a totalidade da região. A partir das estações fluviométricas, disponíveis no sistema HidroWeb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), com mais de 15 anos de dados, e utilizando do processo de krigagem a partir de um semivariograma teórico ajustado, buscou-se a alocação de estações de forma que fosse reduzido o desvio padrão calculado com relação aos dados originais. Para tal concepção, foi identificada a necessidade de adição de 42 estações na bacia ou realocação das que estivessem fora de operação ou sem uma série de dados suficientemente robusta, e a realocação de 11 das estações trabalhadas no estudo, totalizando 63 estações. Conclui-se que, considerando os critérios do estudo, há a possibilidade da adição de 42 estações para melhor distribuição da rede visando o monitoramento mais abrangente na bacia.

Palavras-Chave: Gestão de recursos hídricos; Disponibilidade hídrica; Krigagem.

¹) Graduando em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, gilbert.junior@ufv.br.

²) Prof. do Departamento de Eng. Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, michelcm@ufv.br, rsamorim@ufv.br, demetrius@ufv.br.

³) Prof. do Instituto Federal do Espírito Santo, Colatina - ES, abrahaoelesbon@gmail.com.

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da disponibilidade de água em uma bacia hidrográfica é indispensável para uma adequada gestão de recursos hídricos. Elesbon (2014a) explica que uma das diretrizes gerais de ação da Política Nacional de Recursos Hídricos se baseia na gestão sistemática dos recursos hídricos a partir da coleta de informações por intermédio da instalação e operação de uma rede de estações de monitoramento, a qual deverá ser suficiente para a geração de informações que atendam seus múltiplos usos.

No que se refere às aplicações do monitoramento fluviométrico, têm-se o uso de seus dados em estudos de diferentes escopos, como concessão de outorgas para empreendimentos diversos (BRASIL, 1997; Silva, 2020), além de projetos que visem a captação adequada e sua conservação (Pereira *et al.*, 2020).

Desta forma, redes fluviométricas defasadas tendem a comprometer a compreensão acerca da disponibilidade hídrica. Em regiões com baixa disponibilidade do recurso, períodos longos de estiagem e alta competição pelo uso, a ausência de informação pode agravar tensões dada a má gestão hídrica (Pereira *et al.*, 2020.).

A região oeste do estado da Bahia, com área produtiva de quase três milhões de hectares sendo mais de 300 mil hectares de área irrigada, apresenta-se como local de intenso uso da água (AIBA, 2024). Na região oeste do estado, encontra-se a bacia hidrográfica do rio Grande, porção de grande importância econômica ao estado, possuindo uma rede de monitoramento com 131 estações fluviométricas (ANA, 2023).

Todavia, considerando o tamanho da região, o quantitativo de estações fluviométricas encontra-se aquém do valor estipulado pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM, 1994). Além disso, considerando que muitas das estações existentes não possuem dados disponíveis ou apresentam falhas, estão fora de operação ou ainda possuem pequenas séries histórias, há uma inviabilização do uso de seus dados para a realização de estudos hidrológicos para o conhecimento da disponibilidade hídrica. Este cenário tende a intensificar a disputa pelo uso da água na região onde, segundo Pousa (2019), desde 2010 têm se percebido um aumento nos registros, ainda que informais, de conflitos pelo uso do recurso.

Desta forma, observada a importância de redes de monitoramento fluviométrico para o conhecimento da disponibilidade hídrica da região, este estudo objetivou, através da metodologia desenvolvida por Elesbon (2014), avaliar e propor uma rede de monitoramento fluviométrico na bacia hidrográfica do rio Grande, propondo realocações estratégicas de estações que otimizem a rede de monitoramento e garantam maior eficiência na coleta de dados de vazão.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

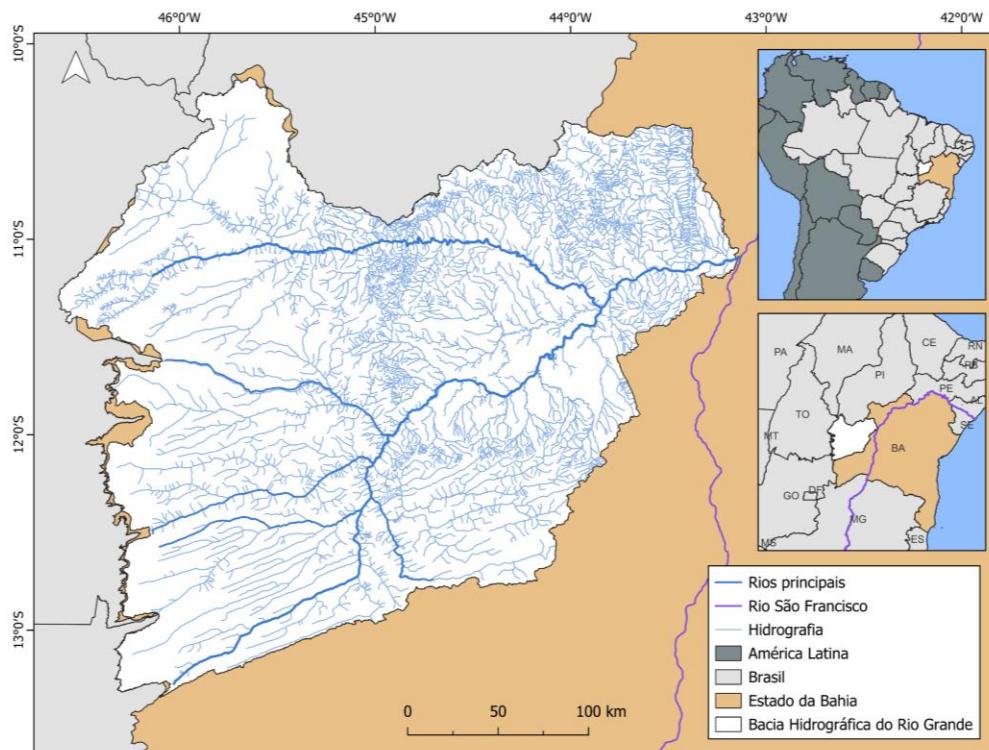
2.1. Área de estudo

A bacia do rio Grande localiza-se na região Oeste do Estado da Bahia, sendo a maior sub-bacia do rio São Francisco. A bacia possui aproximadamente 78.500 km², o que corresponde a 13,9% da área do Estado da Bahia e é caracterizada pelo bioma Cerrado (Figura 1) (Almeida *et al.* 2014; Gonçalves e Chang, 2017).

Conforme a classificação climática de Thornthwaite, a região da bacia hidrográfica é dividida em três tipos climáticos: úmido, localizado no extremo Oeste da bacia, com índices pluviométricos com potencial de ultrapassar 1.700 mm anuais; subúmido, na região central da bacia; e semiárido,

situado na parte oriental da bacia, com média de índices pluviométricos inferiores a 800 mm. Existem ainda na região dois períodos bem definidos do regime pluviométrico: o chuvoso, entre os meses de outubro a abril; e o seco, entre os meses de maio a setembro (Alencar; Moreira; Silva, 2017; Borges *et al.*, 2020).

Figura 1 – Bacia hidrográfica do rio Grande.



A economia da região Oeste da Bahia está associada diretamente ao uso dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Grande (BHRG). Guimarães; Landau; Souza (2014) apresentam as áreas irrigadas por pivôs na Bahia no ano de 2013, mostrando que 49,48% das áreas irrigadas do Estado localizam-se na bacia do rio Grande, sendo as cidades, com maior concentração de pivôs, Barreiras (338 pivôs, 34.714,68 ha), São Desidério (321 pivôs, 33.488,18 ha) e Luís Eduardo Magalhães (167 pivôs, 14.955,29 ha).

Segundo BAHIA (2019), na região há predominância de gêneros agrícolas associados ao agronegócio, com cultivos de algodão, soja, milho, café e fruticulturas. Também são observadas em distintas porções da bacia outras atividades, como as agropastoris ligadas à agricultura familiar, indústrias, turismo, assentamentos rurais, comunidades quilombolas, povos indígenas, geração de energia, entre outras.

2.2. Obtenção dos dados

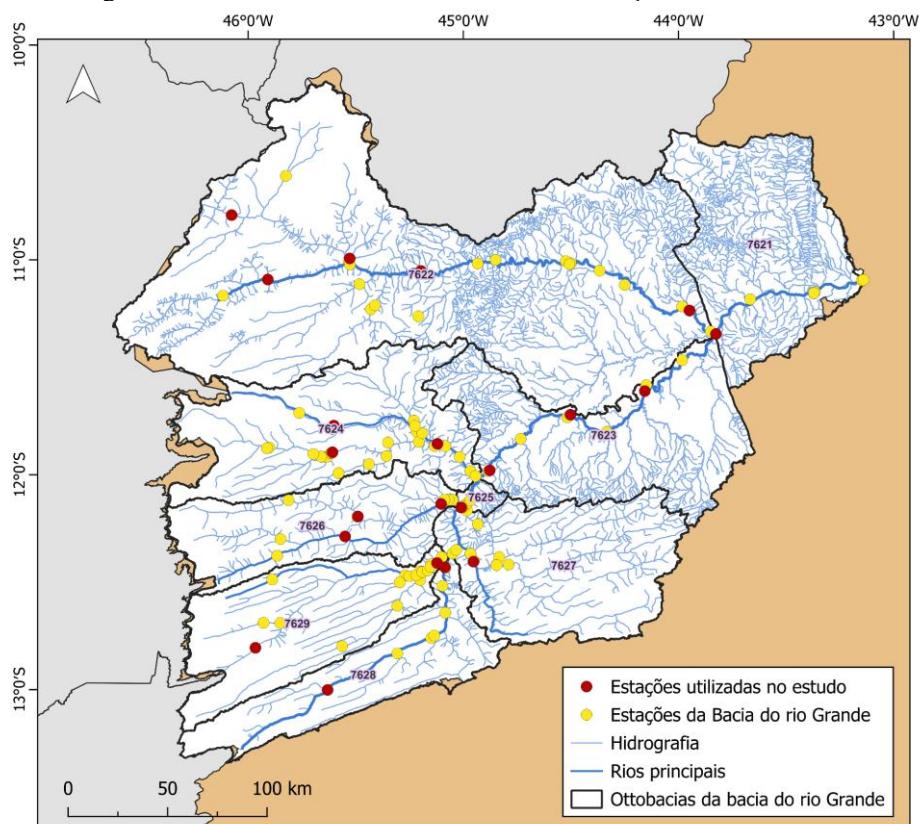
A série de dados de vazão das estações fluviométricas da bacia do rio Grande foi obtida utilizando a linguagem R, em conjunto do pacote “hidrobr” (Calegario, 2020). Além de fornecer a série de vazões diretamente do sistema HidroWeb, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), o pacote permite cálculos de diferentes vazões de permanência, como a Q₉₀ anual, utilizada como referência no estado da Bahia e neste estudo como objeto de análise.

Foram consideradas no estudo as estações com no mínimo 15 anos de dados consistidos entre 1990 e 2025, tendo sido selecionadas 21 estações na bacia (Figura 2), das 131 identificadas.

2.3. Metodologia e processamento dos dados

Para a realização deste trabalho, utilizou-se da metodologia elaborada por Elesbon (2014a; 2014b), a qual consiste na aplicação do semivariograma teórico ajustado através da krigagem ordinária para obtenção dos desvios padrões espacializados. Buscando facilitar a apresentação e visualização dos dados, a BHRG foi subdividida em ottobacias, de acordo com a Resolução nº 30/2002 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (Figura 2).

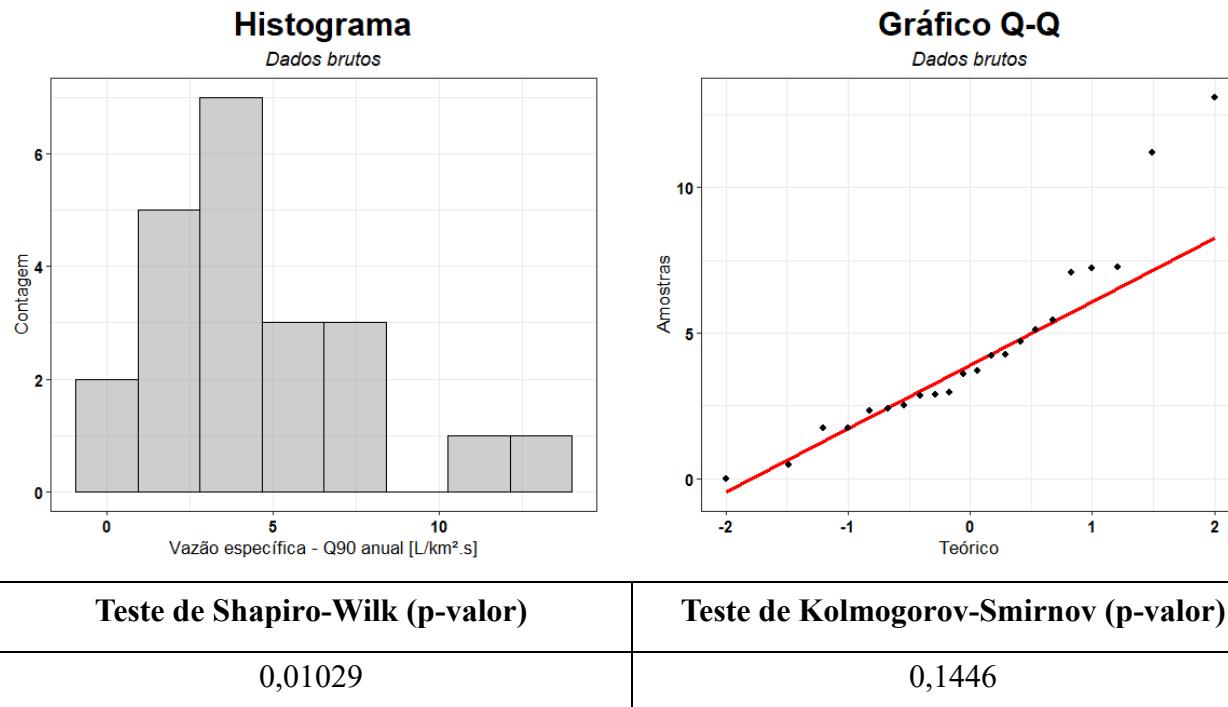
Figura 2 – Ottobacias da Bacia do rio Grande e estações fluviométricas



Posteriormente, calculou-se a Q_{90} anual e, como preconizado por Elesbon (2014a), a condição de aderência a distribuição normal dos dados foi testada a partir do teste de Shapiro-Wilk e Kolmogorov-Smirnov, a um nível de 5% de significância, avaliada também por métodos visuais, como o histograma da distribuição e um gráfico Q-Q (Figura 3).

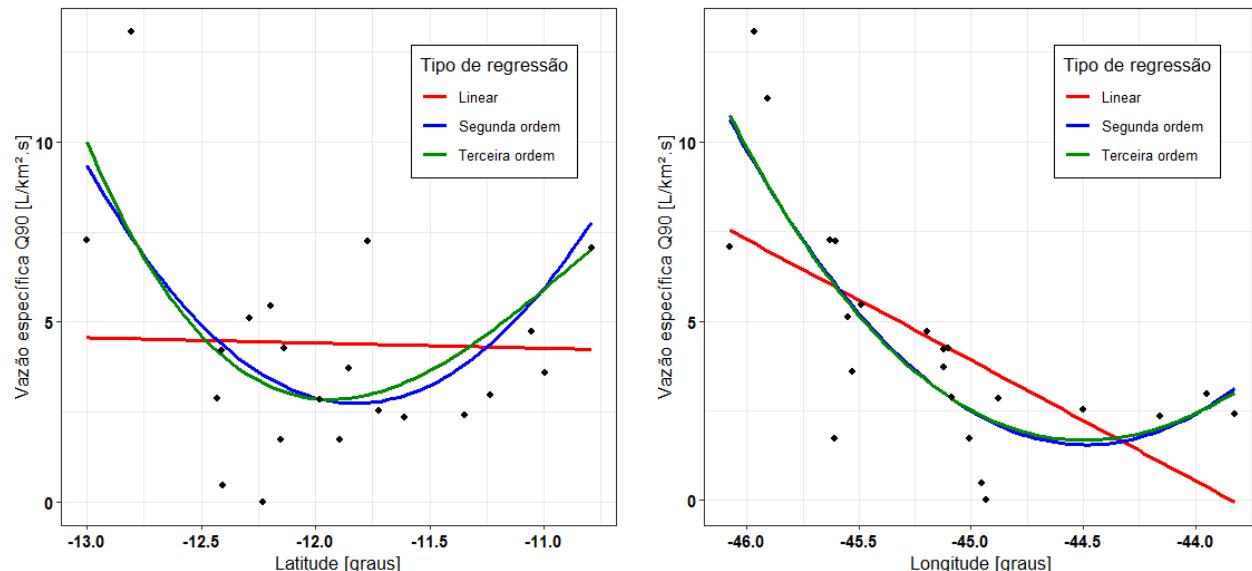
Ainda que o teste de Shapiro-Wilk tenha indicado a ausência de distribuição normal, optou-se por manter-se os dados de Q_{90} íntegros. Outra condição para o uso do semivariograma teórico ajustado é a ausência de tendências espaciais, de forma que estas foram testadas a partir de regressões de primeira, segunda e terceira ordem (Figura 4), utilizando do pacote “ggplot” no R.

Figura 3 – Histograma, gráfico Q-Q dos dados de vazão específica e p-valores dos testes de normalidade.



Constatada a ausência de tendência espacial, utilizando do Sistema de Informações Geográficas ArcMap® 10.5, desenvolvido pelo Environmental Systems Research Institute – ESRI, avaliou-se qual seria, dentre os modelos de krigagem mais utilizados, exponencial, gaussiano e esférico, aquele com melhor performance em relação aos dados em estudo.

Figura 4 – Gráficos de tendências espacial nos sentidos Norte-Sul e Leste-Oeste.



Baseado nos desvios padrões mínimos e máximos locais, avaliados dentro das subdivisões da BH RG, foram feitas as escolhas quanto a necessidade da adição, realocação ou remoção de uma estação. Quando, em uma região, o desvio apresentou-se como mínimo, houve a possibilidade de

rearranjo ou exclusão, de forma que em regiões de desvio máximo, a necessidade de adicionar um ponto de monitoramento.

O processo de krigagem foi então refeito até que se alcançasse uma configuração de estações fluviométricas que apresentasse um desvio padrão máximo local aceitável para todas as sub-bacias, atendendo também o número mínimo de estações estipuladas pela OMM (2008) (Tabela 1).

Tabela 1 – Recomendação mínima de densidade de estações

Unidade fisiográfica	Área por estação (km ²)
Costeiro	2.750
Montanhas	1.000
Planícies interiores	1.875
Montanhoso/Ondulado	1.875
Pequenas ilhas	300
Áreas urbanas	-
Polar/Árido	20.000

Fonte: Adaptado de OMM (2008).

A partir das análises dos semivariogramas experimentais e de seus ajustes, o modelo que melhor se adequou aos dados de vazão específica foi o exponencial, utilizando de um alcance máximo de 250 km e incremento (lag) de 25 km. Aplicando o método de krigagem utilizando do semivariograma teórico ajustado escolhido, obteve-se o mapa de desvios padrões para a BHRG.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

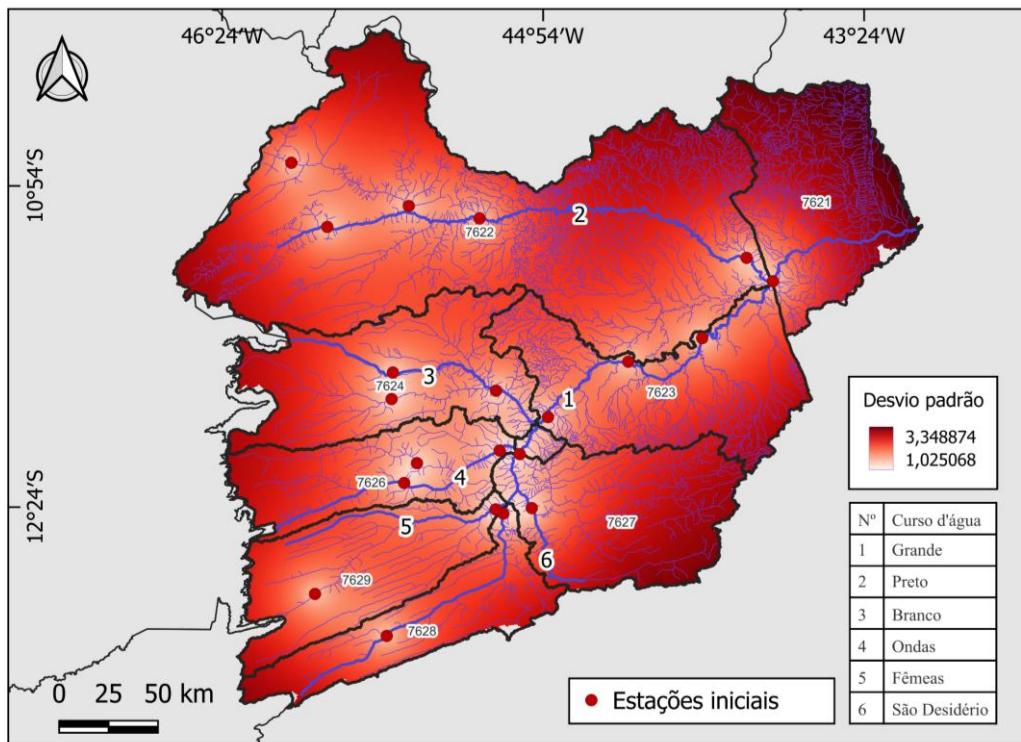
Utilizando do mapa construído com os dados originais (Figura 5), calculou-se os valores de desvio mínimos e máximos para cada sub-bacia em estudo, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Medição de desvios padrões para as sub-bacias da bacia hidrográfica do rio Grande.

Código	7621	7622	7623	7624	7625	7626	7627	7628	7629
Área (km ²)	8.002,9	27.581,1	8.648,6	8.229,5	297,2	5.503,2	7.468,6	4.868,2	6.420,9
Mínimo	1,247	1,244	1,203	1,174	1,098	1,098	1,091	1,025	1,040
Médio	2,803	2,283	2,155	2,073	1,498	2,020	2,476	2,266	2,077
Máximo	3,349	3,097	2,959	2,912	1,800	2,913	3,191	3,078	2,954

Com estimativas de erro variando entre 1,025 e 3,349, todas as sub-bacias apresentaram desvios consideráveis, com exceção da 7625. Este cenário se dá muito pela ausência de estações de monitoramento nos trechos iniciais dos rios na BHRG, com grande concentração de estações na região central da bacia, favorecendo os valores de desvio mais baixos à 7625, como citado anteriormente. Em contrapartida, a sub-bacia 7621 apresentou a particularidade de não possuir nenhuma estação, o que ocasionou no maior erro de predição da bacia.

Figura 5 – Mapa de desvios padrão para Q₉₀ com distribuição original.



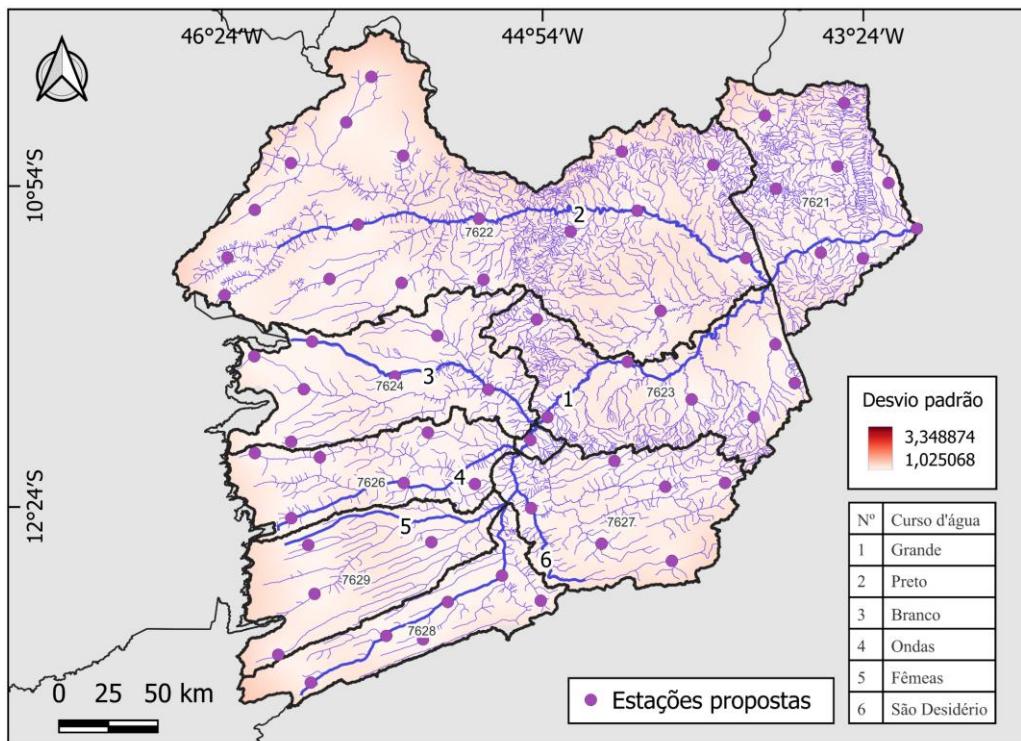
As sub-bacias 7623, 7624, 7626 e 7267 obtiveram resultados que indicam a necessidade de monitoramento próximos as suas nascentes, com valores aceitáveis em suas respectivas fozes. Já as regiões 7628 e 7629 possuem estações majoritariamente em sua região central, apresentando a necessidade de pontos na região de cabeceira e de foz.

É importante ressaltar que, considerando o quantitativo total de 131 estações na BHRG, das quais 66 estão em operação, o número de pontos de monitoramento é suficiente sob ótica da metodologia proposta pela Organização Mundial da Meteorologia (OMM), tendo em vista que, sob esta metodologia, apenas o quantitativo mínimo seria de apenas 43 estações. Todavia, considerando as estações em operação e com mais de 15 anos de dados (21 estações), utilizadas neste estudo, o quantitativo não atinge ao valor estipulado pela OMM, o que dificulta a aquisição de dados hidrológico para a região e seu monitoramento constante, assim como análises temporais e espaciais com maior robustez.

Desta forma, adotando um erro máximo local de 1,50, cerca de metade do valor médio máximo entre aqueles calculados na primeira parte deste trabalho, adicionou ou realocou-se as estações na bacia, buscando alcançar o desvio padrão anteriormente estipulado para todas as sub-bacias. A rede fluviométrica proposta pode ser vista na Figura 6. Para fins de melhor compreensão, manteve-se a legenda do segundo mapa igual ao do primeiro.

No total, 11 estações originais da BHRG foram realocadas, com outras 42 sendo adicionadas a região. Entretanto, a realocação de estações que já possuem uma série de dados compilada acaba por inutilizá-los, de forma a comprometer a continuidade dos dados (ANA, 2016). Assim, ainda que algumas das estações que já possuíssem uma série de dados consistente neste estudo tenham sido realocadas para fins de otimização da rede, é interessante que se mantenham estas para melhor proveito das informações já coletadas ao longo dos anos.

Figura 6 – Mapa de desvios padrão para Q₉₀ com distribuição proposta.



Considerando a estimativa da OMM de uma estação a cada 1.875 km² para regiões de planícies interioranas, a quantidade de estações mínimas necessárias na BHRG seria de 43 estações, em seu total. Com o remanejamento da rede, teve-se um total de 63 estações, onde pôde-se observar uma redução nos erros de medição, como observado na Tabela 3. É importante ressaltar que, assim como explica Elesbon (2014), este processo de análise apenas identifica regiões dentro da bacia para serem alocadas as estações, sendo necessária a realização de visitas *in loco* e análises técnicas e financeiras para compreensão dos melhores pontos de instalação.

Tabela 3 – Desvios padrão pós processamento e número de estações adicionadas/realocadas na bacia do rio Grande

Código	7621	7622	7623	7624	7625	7626	7627	7628	7629
Mínimo	0,934	0,942	0,906	0,878	0,893	0,902	0,934	0,922	0,919
Médio	1,088	1,124	1,090	1,047	0,978	1,050	1,090	1,080	1,100
Máximo	1,400	1,494	1,241	1,226	1,048	1,281	1,352	1,504	1,393
Estações adicionadas	8	12	4	4	0	3	5	4	2
Estações repositionadas	0	3	1	2	1	2	0	1	1

4. CONCLUSÃO

Neste estudo, a partir da metodologia de krigagem ordinária utilizando do semivariograma teórico ajustado, observou-se uma diminuição nos desvios padrão calculados para toda a BHRG, com

a necessidade de aquisição de 42 estações ou realocação das estações já existentes na bacia, inoperantes ou sem uma série adequada de dados, assim como a realocação de 11 das estações trabalhadas no estudo, totalizando 63 estações na bacia. O valor mínimo de estações encontrado neste estudo, baseado no método da krigagem pelo semivariograma teórico ajustado, é maior que a quantidade inicial de 21 estações trabalhadas neste estudo, é inferior a rede total atualmente presente na BHRG, a qual consta com 131 estações, entretanto, quando considerado os critérios do estudo de no mínimo 15 anos de dados e estarem em operação, observa-se a necessidade de adição de estações à bacia. Desta forma, a partir deste trabalho, conclui-se quanto à possibilidade do aumento nos pontos de monitoramento de 21 para 63, adicionando-se 42 estações a bacia e utilizando da realocação de 11 das estações já presentes para maximização do potencial da rede fluviométrica.

AGRADECIMENTOS – Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior – CAPES, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG – pelo apoio no desenvolvimento do trabalho.

REFERÊNCIAS

- AIBA (Associação de Agricultores e Irrigantes da Bahia). **Anuário Agropecuário Oeste da Bahia — Safra 2023/2024**. Disponível em: <https://aiba.org.br/anuarios> (acesso em 22 de maio de 2025).
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Manual de procedimentos para a instalação, operação e manutenção de estações fluviométricas**. Brasília: ANA, 2016. 67 p. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/monitoramento-e-eventos-criticos/monitoramento-hidrologico/monitoramento-hidrologico-do-setor-eletrico/resolucao-conjunta-ana-aneel-127-2022/ManualInstalaoEstaesFluviomtricas.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2025.
- ALMEIDA, W. A.; SILVA, D. D. DA; MOREIRA, M. C. Applying Water Vulnerability Indexes for River Segments. **Water Resources Management**, v. 28, n. 12, 2014.
- BAHIA. **Uso atual das terras: bacia do rio Grande, Bahia**. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (SEI). Salvador-BA, p.248, 2019.
- BRASIL. Lei nº 9.433, DE 8 DE JANEIRO DE 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília, DF, 1997. Brasília, DF, 2017
- ELESBON, A. A. A, SILVA, D. D. DA, SEDIYAMA, G. C., MONTENEGRO, A. A. A., RIBEIRO, C. A. A. S., GUEDES, H. A. S. Proposta metodológica para projeto de redes hidrométricas: Parte II - Exclusão, rearranjo e inclusão de estações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.10, p.1023–1030, 2014.
- ELESBON, Abrahão AA et al. Proposta metodológica para projeto de redes hidrométricas: parte I- espacialização não tendenciosa dos dados hidrológicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 980-985, 2014.
- GUIMARÃES, D. P.; LANDAU, E. C.; SOUZA, D. L. DE. **Irrigação por Pivôs Centrais no Estado da Bahia - Brasil**. 1a edição ed. Sete Lagoas: Embrapa, 2014.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE METEOROLOGIA - OMM. Guia para práticas hidrológicas: Aquisição e processamento de dados, análises, estimativas e outras aplicações. 15 ed., n. 168, 735 p., 1994.

PEREIRA, Marco Alésio Figueiredo; BARBIEIRO, Bruno Lippo; QUEVEDO, Daniela Muller de. Importance of river basin monitoring and hydrological data availability for the integrated management of water resources. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 292-303, 2020.

POUSA, Raphael et al. Climate change and intense irrigation growth in Western Bahia, Brazil: The urgent need for hydroclimatic monitoring. **Water**, v. 11, n. 5, p. 933, 2019.

SILVA, Felipe Bernardes et al. Pluviometric and fluviometric trends in association with future projections in areas of conflict for water use. **Journal of Environmental Management**, v. 271, p. 110991, 2020.

WMO (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION). Guide to hydrological practices. Volume I: Hydrology—From measurement to hydrological information. **WMO Report No. 168**, p. 296, 2008.