

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

ANÁLISE DE MÉTODOS PARA A ESTIMATIVA DA SÉRIE DE VAZÃO MÉDIA DIÁRIA NO RIO BIGUAÇU – SC

Vanderléia Schmitz¹ & José Luiz Rocha Oliveira²

Abstract: Water is essential for sustaining life on the planet, and understanding its availability is crucial for planning, managing water resources, and designing hydraulic structures. In the operation and maintenance of hydrological stations, data gaps can occur for various reasons. These data gaps compromise the quality of hydrological studies, highlighting the need to fill in the missing data to generate a continuous dataset. The studied watershed represents an important source for public water supply. The monitoring conducted on the Biguaçu River – SC covers a drainage area of 241,31 km². The objective of this study is to analyze the most suitable method to reconstruct the daily discharge series of the Biguaçu River hydrological station, utilizing the maximum value of the available partial data. Daily discharge series from stations located in watersheds adjacent to the Biguaçu River basin were used, employing drainage area correlation methods and simple regression models to reconstruct the daily average discharge series. The estimated daily average discharge series for the monitoring site on the Biguaçu River, considering the available data and information, is the one estimated by the drainage area correlation method using data from the Poço Fundo station.

Resumo: A água é essencial para a manutenção da vida no planeta, e conhecer sua disponibilidade é fundamental para o planejamento, gestão dos recursos hídricos e dimensionamento de obras hidráulicas. Na operação e manutenção das estações hidrológicas podem ocorrer falhas nas séries dos dados, por diversos motivos. As falhas de dados prejudicam a qualidade dos estudos hidrológicos, por isso da necessidade de realizar o preenchimento dos dados para gerar uma série contínua de dados. A bacia hidrográfica estudada representa um importante manancial para o abastecimento público. O monitoramento realizado no rio Biguaçu – SC abrange uma área de drenagem de 241,31 km². O objetivo do trabalho é analisar o método mais adequado para reconstituir a série diária de vazão da estação hidrológica do rio Biguaçu, com o uso da valorização máxima dos dados parciais disponíveis. Foram utilizadas as séries diárias de vazão de estações localizadas nas bacias contíguas a bacia do rio Biguaçu e empregados os métodos da correlação de área de drenagem e modelos de regressão simples para reconstituição da série de vazão média diária. A série de vazão média diária estimada para o local de monitoramento no rio Biguaçu mais indicada, considerando os dados e informações disponíveis, é a estimada pelo método da correlação de área de drenagem com os dados da estação Poço Fundo.

Palavras-Chave – Correlação, área de drenagem, regressão.

1) MSc. Engenheira Sanitarista e Ambiental. Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (Fapesc). E-mail: vanderleiaschmitz@epagri.sc.gov.br ou sevan9@gmail.com.

2) MSc. Engenheiro Sanitarista e Ambiental. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (Epagri). Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina (Ciram). E-mail: joseoliveira@epagri.sc.gov.br

1. INTRODUÇÃO

A água é essencial para a manutenção da vida no planeta, por isso é importante conhecer sua disponibilidade por bacia hidrográfica. A disponibilidade de água superficial é caracterizada pela vazão, a qual é fundamental para o planejamento, gestão dos recursos hídricos e dimensionamento de obras hidráulicas (Back, 2023). A variável vazão é obtida por meio do monitoramento hidrológico contínuo em uma determinada seção do rio, com o objetivo de estabelecer e manter atualizada uma série diária de dados de vazão. Na operação e manutenção das estações hidrológicas podem ocorrer falhas nas séries dos dados, por diversos motivos, como por exemplo problemas no funcionamento do *datalogger* da estação (Harvey *et. al.*, 2012). As falhas de dados nas séries de vazão prejudicam a qualidade dos estudos hidrológicos, por isso da necessidade de realizar o preenchimento dos dados para gerar uma série contínua de dados (Tucci, 2007).

A bacia estudada não conta com dados históricos de monitoramento de nível e vazão do rio Biguaçu que sejam públicos. Por estar localizada na região metropolitana de Florianópolis, representa um manancial para o abastecimento público de água com potencial para suprir o crescimento de demanda hídrica na região. A Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) está implantando uma ETA que irá captar água do rio Biguaçu. Nesse contexto, foi instalada a estação hidrológica Biguaçu – CASAN, operada pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI).

O objetivo deste trabalho é analisar o método mais adequado para reconstituir a série diária de vazão da estação hidrológica localizada no rio Biguaçu, com o uso da valorização máxima dos dados parciais disponíveis do monitoramento.

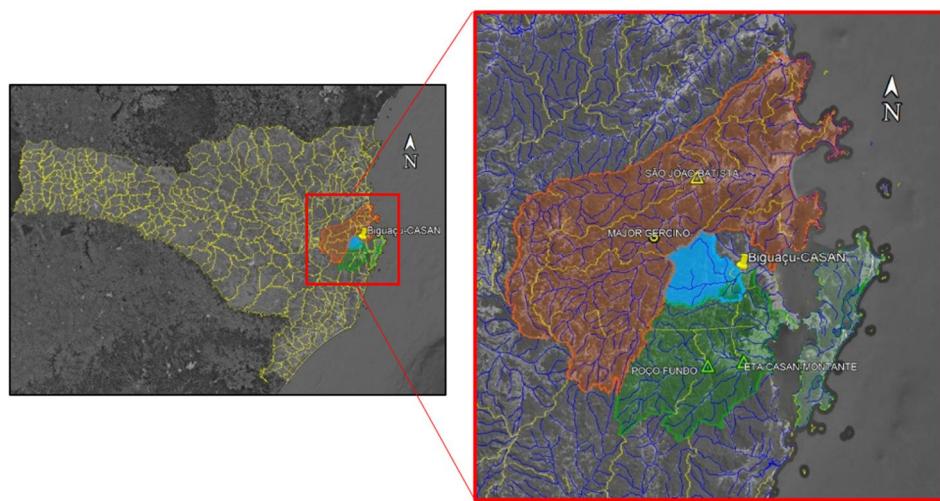
2. METODOLOGIA

2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Biguaçu é formada pelos municípios de Antônio Carlos, Biguaçu e São José. O relevo é predominantemente forte ondulado. O solo que prevalece é do tipo Podzólico Vermelho-Amarelo caracterizado pela alta permeabilidade e baixa retenção de água, suscetível à erosão eólica que pode ser facilitada após o cultivo. A bacia hidrográfica do rio Biguaçu tem registros de ocorrências de desastres naturais relacionados principalmente a eventos de origem hidrológica (enxurradas) e meteorológica (tempestades com chuvas intensas e vendavais). Cerca de 58% da bacia é ocupada por vegetação natural com predomínio de Floresta Ombrófila Densa, e aproximadamente 21% é ocupada por pastagem, campos naturais e solo exposto. E dedica ainda aproximadamente 9% dos usos para agricultura, espalhados por Antônio Carlos e Biguaçu, e cerca de 8% de áreas urbanizadas, encontradas principalmente no município de São José. Encontram-se duas Unidades de Conservação, a RPPN Reserva do Caraguatá e o Parque Natural Municipal Serra de São Miguel (SANTA CATARINA, 2016).

O trabalho foi realizado com os dados da estação Biguaçu – CASAN, localizada no rio Biguaçu, Biguaçu-SC, que possui uma área de drenagem de 241,31 km² (figura 1). O local de monitoramento no rio Biguaçu possui alguns dados de nível, medições de vazão e chuva, registrados em 2024.

Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Biguaçu



2.2 Estações de apoio

As estações hidrológicas de apoio utilizadas localizam-se nas bacias vizinhas da bacia do rio Biguaçu: ao norte a bacia hidrográfica do rio Tijucas e ao sul a bacia hidrográfica do rio Cubatão Sul. A escolha destas estações se justifica por pertencerem a mesma região homogênea e apresentarem comportamentos hidrológicos semelhantes (Santa Catarina, 2006; Tucci, 2002). Regiões hidrologicamente homogêneas tem variabilidade mínima das características climáticas e fisiográficas (Goldenfum, 2003).

Foram selecionadas duas estações de cada uma das bacias vizinhas: as estações hidrológicas Major Gercino (84071000) e São Joao Batista (84095500), localizadas na bacia do rio Tijucas; e Poço Fundo (84100000) e ETA CASAN-montante (84150100), localizadas na bacia do rio Cubatão Sul.

2.3 Seleção/definição das estações de apoio

As estações de apoio foram definidas utilizando as séries de nível diário das quatro estações selecionadas, comparadas com o período da série de nível diário disponível na estação do rio Biguaçu, para avaliar quais estações apresentaram comportamento hidrológico semelhante. Ou seja, a variação do nível do rio ao longo do tempo semelhantes em relação às formas dos fluviogramas e de acordo com os eventos de chuva.

2.4 Métodos utilizados para a estimativa da série de vazão do rio Biguaçu

No trabalho foram utilizados os métodos da correlação de área e os modelos de regressão dos tipos linear, potencial, exponencial e polinomial de grau dois.

O método da correlação de área de drenagem relacionou as séries diárias de vazão das estações de apoio (84100000 e 84150100) e suas áreas de drenagem com a área de drenagem da estação Biguaçu – CASAN.

Os modelos de regressão relacionaram os valores de vazão medida na estação Biguaçu – CASAN e os valores de vazão diária das estações de apoio (84100000 e 84150100), ajustando equações do tipo linear, potencial, exponencial e polinomial de grau dois.

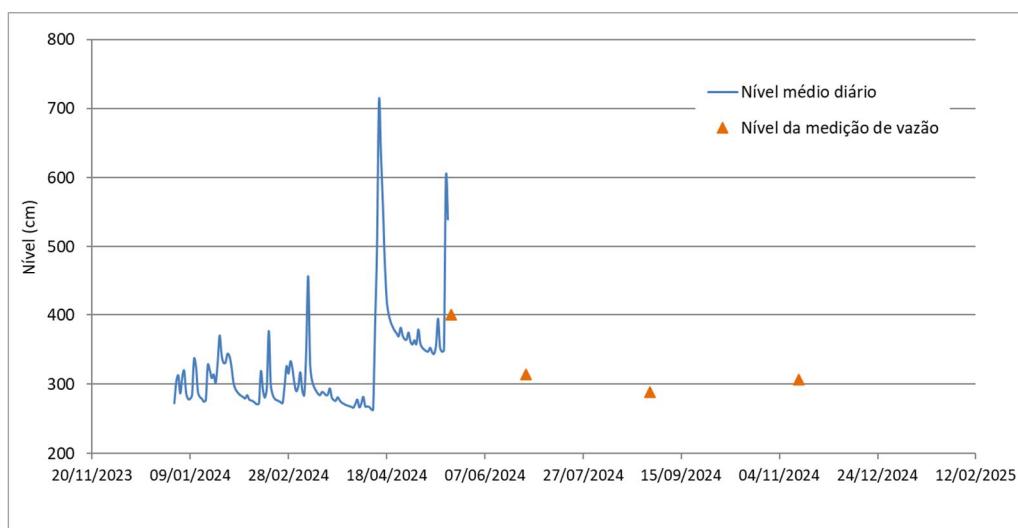
Em ambos os casos os resultados foram comparados com os dados de vazão medida na estação hidrológica Biguaçu – CASAN.

3. ESTUDO DE CASO E ANÁLISE DE RESULTADOS

3.1 Monitoramento no rio Biguaçu

Os dados utilizados no trabalho foram: nível médio diário (01/01 a 19/05/2024), chuva total diária (01/01 a 11/06/2024) e as medições de vazão (maio a novembro de 2024). A figura 2 ilustra a distribuição temporal dos dados de nível e os níveis das medições de vazão.

Figura 2 – Série de nível médio diário e níveis de medição da vazão, no rio Biguaçu



3.2 Seleção das estações de apoio

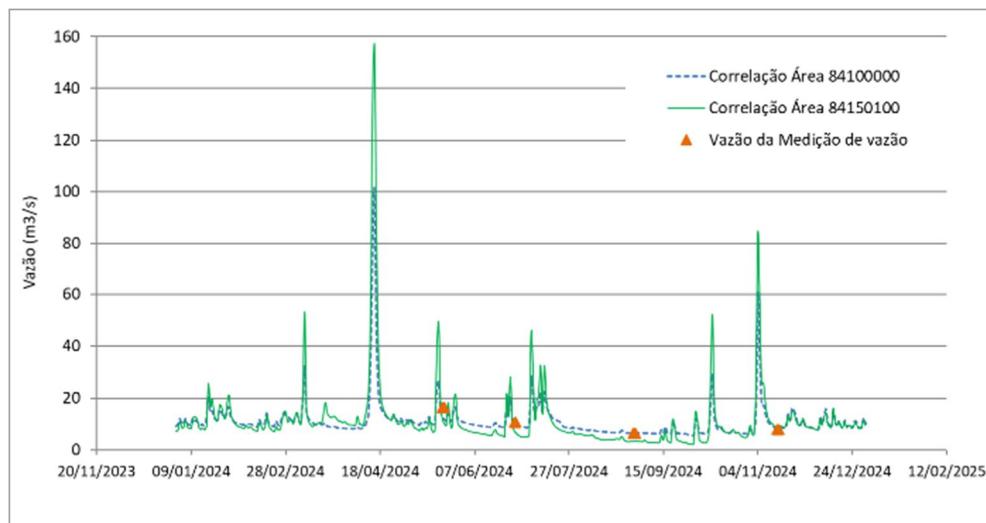
A partir da análise gráfica das séries de níveis das quatro estações de apoio (84071000, 84095500, 84100000 e 84150100) com a série de nível disponível na estação Biguaçu – CASAN foi observado que as estações localizadas na bacia hidrográfica do rio Cubatão Sul (84100000 e 84150100) apresentaram comportamento hidrológico semelhante a série de nível da estação Biguaçu – CASAN, principalmente considerando os maiores eventos hidrológicos observados na estação Biguaçu – CASAN, ocorridos nos dias 15/04/2024 e 19/05/2024.

3.3 Séries de vazão estimadas para o rio Biguaçu

Para reconstituir a série de vazão da estação hidrológica Biguaçu – CASAN, para o ano de 2024, foram utilizadas as estações 84100000 e 84150100, com os métodos da correlação de área de drenagem e regressão numérica.

No método da correlação de área de drenagem foram utilizadas as séries diárias de vazão das estações 84100000 e 84150100 e suas áreas de drenagem respectivamente, 400 km^2 e 522 km^2 e, a área de drenagem da estação Biguaçu – CASAN ($241,31 \text{ km}^2$). Na figura 3 é possível observar que a série de vazão estimada por correlação de área com a estação 84100000 está mais próxima das vazões medidas na estação hidrológica Biguaçu – CASAN.

Figura 3 – Séries de vazão média diária para o rio Biguaçu - correlação de área de drenagem



No trabalho foi aplicado o modelo de regressão numérica simples dos tipos linear, potencial, exponencial e polinomial de grau dois. Foram considerados os valores de vazão medida na estação Biguaçu – CASAN e os valores de vazão diária das estações 84100000 e 84150100.

Os modelos de regressão com a estação 84100000 resultaram em coeficientes de determinação (R^2) com valores entre 0,9515 (linear) e 0,9980 (polinomial de grau dois), conforme demonstrado na figura 4. Os modelos de regressão com a estação 84150100 resultaram em coeficientes de determinação (R^2) com valores entre 0,7397 (potencial) e 0,8774 (polinomial de grau dois), conforme demonstrado na figura 5.

Figura 4 – Modelos de regressão com os dados da estação 84100000

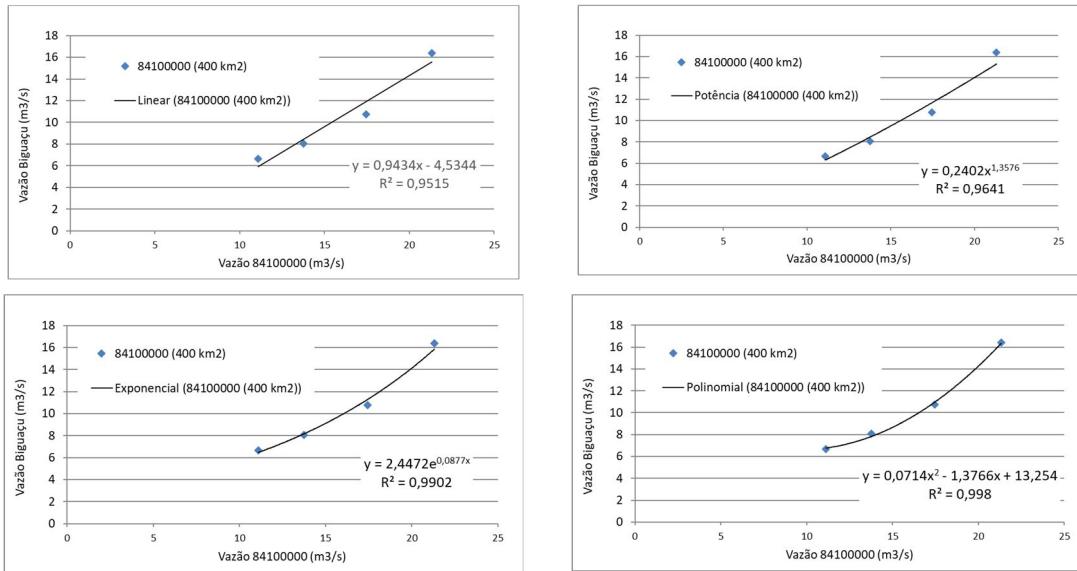
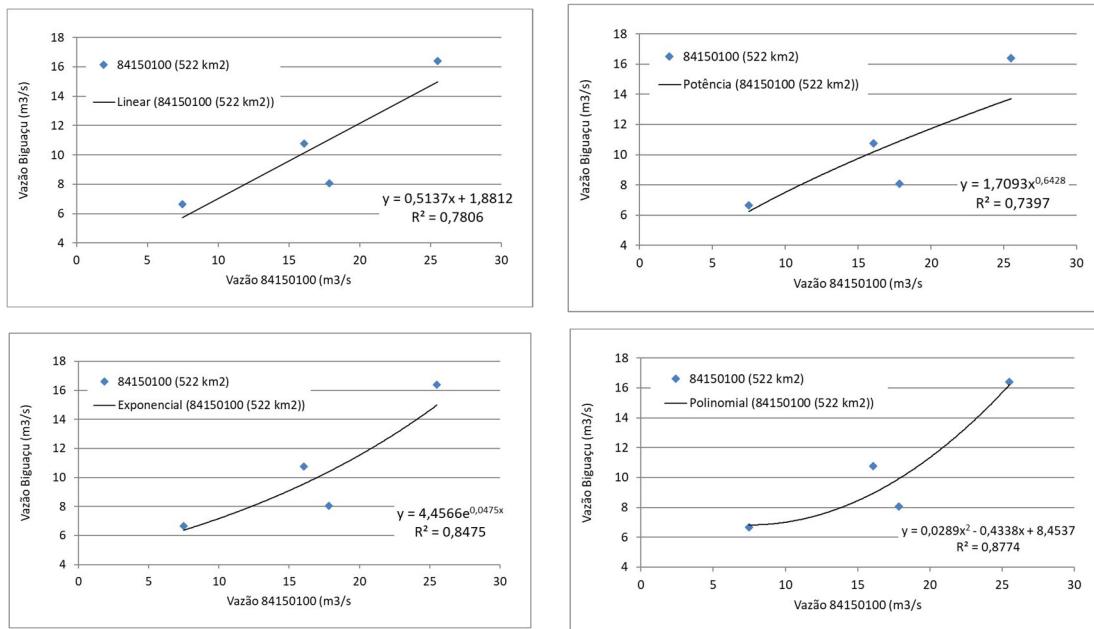
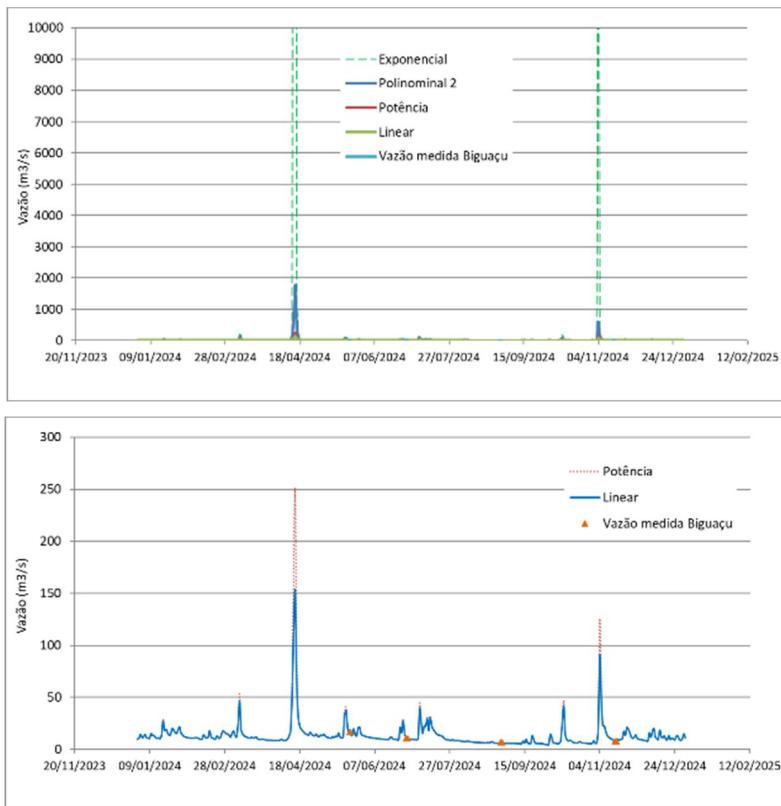


Figura 5 – Modelos de regressão com os dados da estação 84150100



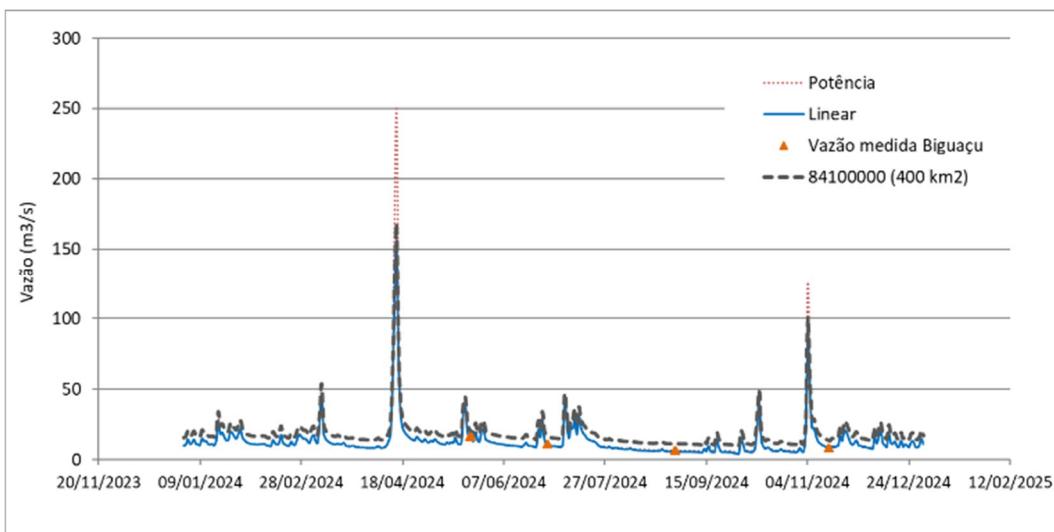
Para a etapa seguinte foram escolhidos os modelos de regressão da relação com a estação hidrológica 84100000, por apresentarem os melhores coeficientes de determinação (R^2). Foram geradas as séries de vazão média diária com os quatro modelos da regressão (figura 6).

Figura 6 – Série de vazão média diária para o rio Biguaçu – regressão com a estação 84100000



Na figura 7 é possível observar que a série de vazão estimada pelo modelo de regressão linear está próximo dos valores de vazão medidas na estação Biguaçu – CASAN. Também é possível observar no gráfico que os valores da série estimada pelo modelo da regressão linear estão coerentes com os valores dos eventos hidrológicos, quando comparados com os valores de vazão da estação 84100000, a qual possui área de drenagem maior.

Figura 7 – Comparação das séries de vazão média diária para o rio Biguaçu regressão com a estação 84100000



3.4 Análise dos métodos considerando as medições de vazão

A tabela 1 apresenta a comparação das medições realizadas na estação hidrológica Biguaçu e a vazão média diária estimada pelos métodos correlação de área e o modelo da regressão linear. Ambos os métodos resultam em desvio absoluto médio de 8%, considerando as quatro medições de vazão. O método da correlação de área apresenta os menores desvios absolutos, com exceção da medição de maio de 2024, quando comparado com o método da regressão. Esta medição foi realizada excepcionalmente cerca de 1,2 km a jusante da seção da estação, por esse motivo não foi dado relevância para o desvio de 28% na escolha do método de correlação de área.

Tabela 1 – Análise das medições e estimativa

Data da vazão medida - Biguaçu	Vazão medida - Biguaçu (m ³ /s)	Vazão estimada (m ³ /s)		Desvio absoluto (%)	
		Correlação Área 84100000 (400 km ²)	Regressão Linear 84100000 (400 km ²)	Correlação Área 84100000 (400 km ²)	Regressão Linear 84100000 (400 km ²)
21/05/2024	16,4	12,9	15,6	28	5
28/06/2024	10,8	10,5	11,9	2	10
30/08/2024	6,7	6,7	5,9	1	12
14/11/2024	8,1	8,3	8,4	3	5
Média	10,5	9,6	10,5	8	8

3.5 Análise dos métodos considerando as séries de vazão

A tabela 2 apresenta um resumo da estatística (média, mediana, mínimo e máximo) das séries de vazão estimadas em 2024 para a estação hidrológica Biguaçu e a estação de apoio 84100000. As estatísticas das séries de vazão estimadas pelos métodos da correlação de área e o modelo da regressão linear estão coerentes quando comparadas com a estatística da estação 84100000, pois espera-se que as vazões sejam superiores na estação 84100000, já que apresenta área de drenagem superior à da estação Biguaçu, respectivamente, 400 km² e 241,31 km².

Tabela 2 – Análise das séries de vazão estimadas

Estatística	Vazão estimada Biguaçu (m ³ /s)		Vazão 84100000 (m ³ /s)
	Correlação Área 84100000 (400 km ²)	Regressão Linear 84100000 (400 km ²)	
Média	11,3	13,1	18,7
Mediana	9,9	10,9	16,3
Mínimo	5,8	4,5	9,6
Máximo	100,7	153,0	167,0

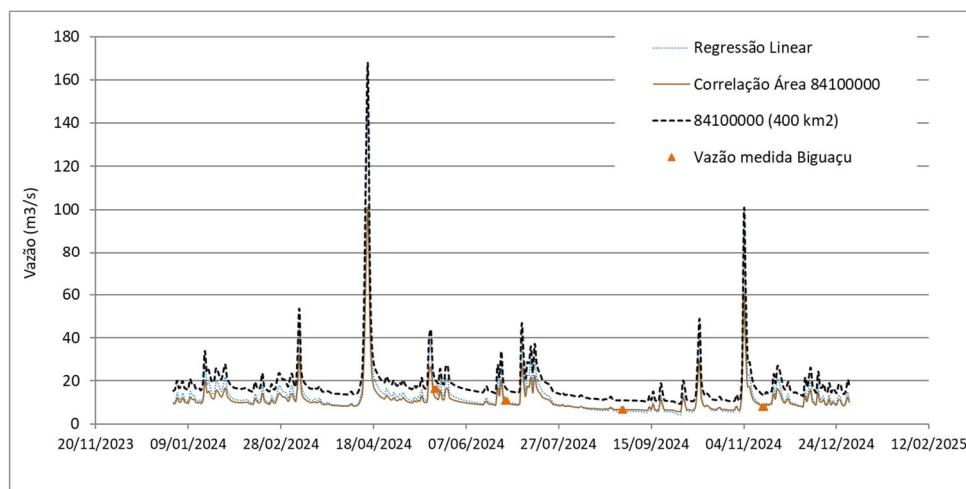
Segundo SANTA CATARINA (2016) a vazão média histórica na bacia do rio Biguaçu é 10,19 m³/s. A estação hidrológica monitora cerca de 63% da bacia hidrográfica do rio Biguaçu, portanto, estima-se que a vazão média histórica seja cerca de 6,44 m³/s.

Foram utilizados os dados de estações pluviométricas da rede de monitoramento da ANA para análise da precipitação da bacia hidrográfica do rio Biguaçu (02748016) e da estação de apoio (02748005). Foram calculadas as médias dos totais anuais de precipitação: 1950 mm na estação localizada na bacia hidrográfica do rio Biguaçu e 1636 mm na estação de apoio. O ano de 2024 apresenta ausência de dados: um mês na estação da bacia e quatro meses na estação de apoio. Mesmo com ausência de dados os totais anuais dos meses disponíveis foram superiores aos valores da média histórica, 2438,4 mm e 2093,3 mm, respectivamente, bacia e estação de apoio. Indicando que o ano de 2024 foi um ano com chuvas acima da média histórica o que reflete na média de vazão para o ano de 2024 em ambos os locais monitorados. O que justifica os valores estimados de vazão média para 2024 (11,3 m³/s e 13,1 m³/s) serem superiores ao valor da vazão média histórica estimada para o local do estudo (6,44 m³/s).

Foram aplicados os métodos da correlação de área e o modelo da regressão linear na série de vazão histórica da estação 84100000, resultando em vazões médias históricas estimadas para a estação hidrológica Biguaçu, de 7,78 m³/s e 7,64 m³/s, respectivamente. Os valores são superiores (21% (correlação de área) e 19% (regressão linear)) ao valor da vazão média histórica estimada (6,44 m³/s), considerando o estudo realizado por SANTA CATARINA (2016).

No gráfico da figura 8 é possível observar que as séries de vazão estimadas estão coerentes com a série de vazão da estação 84100000. Além disso, a série obtida pelo método da regressão linear superestima os valores na maior parte do tempo, quando comparada com a série obtida pelo método da correlação de área.

Figura 8 – Comparação das séries de vazão média diária para o rio Biguaçu – correlação de área e regressão linear



Na análise realizada, em relação as séries estimadas, entende-se que a série de vazão média diária para o ano de 2024 no local de monitoramento mais indicada é a que foi estimada pelo método da correlação de área. A escolha se deve pelo valor da vazão média de 2024 (11,3 m³/s) apresentar o menor valor, ou seja, mais próximo do valor de vazão média histórica estimada para o local do

monitoramento ($6,44 \text{ m}^3/\text{s}$). O que corrobora com a análise das medições de vazão realizadas na estação hidrológica Biguaçu, por apresentar os menores desvios (tabela 1). Conforme Harvey (2012), as técnicas simples de preenchimento de dados visam maximizar a qualidade e a completude dos dados observados.

4.CONCLUSÕES

O trabalho apresenta como resultado a aplicação de dois métodos de reconstituição de série de vazão média diária, com o uso da valorização máxima dos dados parciais disponíveis do monitoramento. Atingiu resultados satisfatórios, considerando a disponibilização de dados hidrológicos parciais para o local de monitoramento no rio Biguaçu.

O trabalho contribui com a série de vazão média diária reconstituída para o rio Biguaçu em 2024. Recomenda-se validar o método com a continuidade do monitoramento da estação e agregar a aplicação da modelagem hidrológica para a reconstituição da série de vazão média diária.

AGRADECIMENTOS - Agradecemos o apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina (FAPESC), a disponibilização dos dados pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) e a parceria do trabalho com a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI).

REFERÊNCIAS

- BACK, A. J. (2023). *Análise de dados de vazão*. Epagri, Florianópolis – SC, 96 p.
- GOLDENFUM, J. A. (2003). “Pequenas bacias hidrológicas: conceitos básicos”, in *Hidrologia Aplicada À Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas*. Org. por Paiva, J. B. D. e Paiva, E. M. C. D., ABRH, Porto Alegre – RS.
- HARVEY, C. L., DIXON, H., e HANNAFORD, J. (2012). *An appraisal of the performance of data-infilling methods for application to daily mean river flow records in the UK*. Hydrology Research, 43(5), 618-636.
- SANTA CATARINA (2006). *Regionalização de vazões das bacias hidrográficas estaduais do Estado de Santa Catarina. Estudos dos instrumentos de gestão de recursos hídricos para o Estado de Santa Catarina e apoio para sua implementação*. Florianópolis: Governo do Estado de Santa Catarina.
- SANTA CATARINA (2016). *Relatório Síntese do Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Tijucas, Biguaçu e Bacias Contíguas*. Florianópolis: Governo do Estado de Santa Catarina. Disponível em: <https://www.aguas.sc.gov.br/base-documental/planos-de-bacias?jsmallfib=1&dir=JSROOT/DHRI/Planos%20de%20Bacias/Plano%20da%20Bacia%20Hidrográfica%20do%20Rio%20Tijucas%20e%20Rio%20Biguacu>
- TUCCI, C. E. (2002). *Regionalização de vazões*. Editora da Universidade/UFRGS, 256 p
- TUCCI, C. E. (2007). *Hidrologia: Ciência e aplicação*. Org. por Tucci, C. E. M., UFRGS, Porto Alegre – RS.