

Estimativa de vazões de referência para flexibilização do uso de água na bacia do rio Araranguá, sul de Santa Catarina, Brasil

Estimation of reference flows to make water use more flexible in the Araranguá river basin, south Santa Catarina, Brazil

Sérgio Luciano Galatto

Universidade do Extremo Sul Catarinense
Criciúma, Santa Catarina, Brasil
sga@unesc.net

 ORCID: 0000-0002-4325-7936

Álvaro José Back

Universidade do Extremo Sul Catarinense
Criciúma, Santa Catarina, Brasil
ajb@epagri.sc.gov.br

 ORCID: 0000-0002-0057-2186

Carlyle Torres Bezerra de Menezes

Universidade do Extremo Sul Catarinense
Criciúma, Santa Catarina, Brasil
cbm@unesc.net

 ORCID: 0000-0002-2478-8352

Bruna Borges da Rocha

Universidade do Extremo Sul Catarinense
Criciúma, Santa Catarina, Brasil
brubdr@unesc.net

 ORCID: 0000-0009-0008-2617

Información del artículo:

Recibido: 14/06/2023

Revisado: 05/09/2024

Aceptado: 09/09/2024

Online: 31/01/2025

Publicado: 10/04/2025

ISSN 2340-8472

ISSNe 2340-7743

DOI: [10.17561/at.26.8127](https://doi.org/10.17561/at.26.8127)

RESUMO

Os critérios de determinação de vazão outorgável no Brasil são bastante restritivos, gerando descontentamento e conflitos entre múltiplos usuários. A determinação de vazões mínimas sazonais contribui para melhor alocação da disponibilidade hídrica. Este estudo analisou a influência da sazonalidade nas vazões mínimas de referência na bacia do rio Araranguá, visando potencializar o uso das águas superficiais em períodos de maior demanda hídrica. Foram determinadas as vazões $Q_{7,10}$, Q_{98} , Q_{95} e Q_{90} , ajustando as diferentes distribuições de probabilidade e analisada a aderência dos dados pelos testes de Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling. Os resultados obtidos indicam a flexibilização na disponibilidade hídrica da Q_{90} trimestral (5,45 %) e Q_{90} mensal (44,12 %) em relação a Q_{90} anual, o que pode corroborar no processo de emissão de novas outorgas em períodos de maior demanda hídrica.

PALAVRAS-CHAVE: Vazão, Sazonalidade, Flexibilização, Outorga, Probabilidade.

ABSTRACT

The criteria for determining the flow rate available in Brazil are quite restrictive, generating discontent and conflicts between multiple users. The determination of minimum seasonal flows contributes to better allocation of water availability. This study analyzed the influence of seasonality on minimum reference flows in the Araranguá River basin, aiming to enhance the use of surface water in periods of greater water demand. Flow rates $Q_{7,10}$, Q_{98} , Q_{95} and Q_{90} were determined, adjusting the different probability distributions and data adherence was analyzed using the Kolmogorov-Smirnov and Anderson-Darling tests. The results obtained indicate the flexibility in water availability of the quarterly Q_{90} (5.45 %) and monthly Q_{90} (44.12 %) in relation to the annual Q_{90} , which may corroborate the process of issuing new concessions in periods of greater water demand.

KEYWORDS: Flow, Seasonality, Flexibility, Grant, Probability.



Estimación de caudales de referencia para flexibilizar el uso del agua en la cuenca del río Araranguá, sur de Santa Catarina, Brasil

RESUMEN

Los criterios para determinar el caudal disponible en Brasil son bastante restrictivos, generando descontento y conflictos entre múltiples usuarios. La determinación de caudales mínimos estacionales contribuye a una mejor asignación de la disponibilidad de agua. Este estudio analizó la influencia de la estacionalidad en los caudales mínimos de referencia en la cuenca del río Araranguá, con el objetivo de potenciar el uso de aguas superficiales en períodos de mayor demanda hídrica. Se determinaron los caudales $Q_{7,10}$, Q_{98} , Q_{95} y Q_{90} ajustando las diferentes distribuciones de probabilidad y se analizó la adherencia de los datos mediante las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Anderson-Darling. Los resultados obtenidos indican la flexibilidad en la disponibilidad de agua del Q_{90} trimestral (5,45 %) y Q_{90} mensual (44,12 %) en relación al Q_{90} anual, lo que puede corroborar el proceso de otorgamiento de nuevas concesiones en períodos de mayor demanda de agua.

PALABRAS CLAVE: Flujo, Estacionalidad, Flexibilidad, Concesión, Probabilidad.

Estimation des débits de référence pour rendre plus flexible l'utilisation de l'eau dans le bassin du fleuve Araranguá, au sud de Santa Catarina, Brésil

RÉSUMÉ

Les critères de détermination du débit disponible au Brésil sont assez restrictifs, générant mécontentement et conflits entre plusieurs utilisateurs. La détermination de débits saisonniers minimaux contribue à une meilleure allocation de la disponibilité en eau. Cette étude a analysé l'influence de la saisonnalité sur les débits minimaux de référence dans le bassin de la rivière Araranguá, visant à améliorer l'utilisation des eaux de surface pendant les périodes de plus

grande demande en eau. Les débits $Q_{7,10}$, Q_{98} , Q_{95} et Q_{90} ont été déterminés, en ajustant les différentes distributions de probabilité et l'adhésion aux données a été analysée à l'aide des tests de Kolmogorov-Smirnov et Anderson-Darling. Les résultats obtenus indiquent la flexibilité de la disponibilité de l'eau du Q_{90} trimestriel (5,45 %) et mensuel Q_{90} (44,12 %) par rapport au Q_{90} annuel, ce qui peut corroborer le processus d'émission de nouvelles concessions en périodes de plus grande demande en eau.

MOTS-CLÉS: Flux, Saisonalité, Flexibilité, Subvention, Probabilité.

Stima dei flussi di riferimento per rendere più flessibile l'uso dell'acqua nel bacino del fiume Araranguá, a sud di Santa Catarina, Brasile

SOMMARIO

I criteri per determinare la portata disponibile in Brasile sono piuttosto restrittivi, generando malcontenti e conflitti tra più utenti. La determinazione dei flussi minimi stagionali contribuisce a una migliore allocazione della disponibilità idrica. Questo studio ha analizzato l'influenza della stagionalità sui flussi minimi di riferimento nel bacino del fiume Araranguá, con l'obiettivo di migliorare l'uso delle acque superficiali nei periodi di maggiore domanda idrica. Sono state determinate le portate $Q_{7,10}$, Q_{98} , Q_{95} e Q_{90} , aggiustando le diverse distribuzioni di probabilità e l'aderenza dei dati è stata analizzata utilizzando i test di Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling. I risultati ottenuti indicano la flessibilità della disponibilità idrica del Q_{90} trimestrale (5,45 %) e del Q_{90} mensile (44,12 %) rispetto al Q_{90} annuale, che potrebbe corroborare il processo di emissione di nuove concessioni nei periodi di maggiore domanda di acqua.

PAROLE CHIAVE: Flusso, Stagionalità, Flessibilità, Concessione, Probabilità.

Introdução

A utilização criteriosa da água e a sua distribuição de forma justa e adequada, tanto em quantidade como em qualidade, é um grande desafio aos órgãos gestores de recursos hídricos no Brasil. A crescente demanda de água para atender aos múltiplos usos tem contribuído para aumento de seu consumo e, consequentemente, dos conflitos entre usuários de diversas bacias hidrográficas nos estados brasileiros¹. Gerir os recursos hídricos é uma necessidade premente, e procura ajustar as demandas econômicas, sociais e ambientais pela água a níveis sustentáveis, permitindo a convivência dos usos atuais e futuros.

No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)², instituída pela Lei nº 9.433/1997 visa proporcionar meios para que a água seja usada de forma racional e justa para o conjunto da sociedade. Gestores, usuários e pesquisadores têm desenvolvido estudos como forma de contribuir na gestão integrada dos recursos hídricos, motivados pela crescente demanda de água, em cenários de escassez relativa cada vez mais evidente³.

Estudos tem colocado que o principal fator para o desencadeamento de conflitos pelo uso de água, é a falta de uma governança sólida e eficaz⁴. Existem três tipos de conflitos⁵ relacionados ao uso da água, sendo aqueles decorrentes de planejamento setoriais discordantes, quando há indisponibilidade da água em quantidade e/ou qualidade por determinado período, e legislações desarmônicas nas diferentes esferas. Estes conflitos têm crescido nas últimas décadas em várias regiões do mundo, o que requer maior efetividade na sua resolução.

Nos estados do Ceará e Paraíba, no Nordeste brasileiro, existem algumas experiências exitosas de mediação de conflitos pelo uso da água⁶, onde o Estado, por meio dos comitês de bacia, tem o papel de mediar os conflitos de primeira ordem. Na bacia do rio São Francisco devido a sua dimensão e complexidade, ocorrem disputas pelo uso da água, onde uma das dificuldades enfrentadas pelos gestores e usuários, é o estabelecimento da alocação negociada. Essa medida é uma solução para equacionar o uso pelas águas numa mesma

bacia, assim como em diminuir a tensão entre usuários, que aliado ao cadastramento e o instrumento de outorga, tem auxiliado na gestão de conflitos⁷.

Estudos enfatizam que quem gerencia as águas nas seções altas da bacia hidrográfica acaba controlando o destino e o uso das águas nas seções média e baixa da bacia⁸. A disponibilidade dos recursos hídricos no âmbito de uma bacia é parte fundamental dos estudos hidrológicos, sendo representada pelas vazões médias⁹ e mínimas¹⁰. A vazão média permite caracterizar a disponibilidade hídrica potencial¹¹ enquanto que as vazões mínimas caracteriza à disponibilidade hídrica natural¹². Os estudos hidrológicos permitem estabelecer as vazões mínimas de referência para a outorga de uso de água superficial ou para a diluição de efluentes. Portanto, a definição da vazão mínima de referência a ser aplicada depende da garantia de atendimento que se considera para os diferentes usos instalados numa determinada bacia.

A vazão de referência para o processo outorga é o valor de vazão que representa o limite superior de utilização da água em um curso natural e, normalmente é baseado em vazões de estiagem ou em vazões com alta probabilidade de superação. Apenas certo percentual dessas vazões deve ser utilizado, sendo o restante considerado como vazão necessária para a manutenção do meio biótico (vazão ecológica, ambiental ou sanitária)¹³. A análise das vazões mínimas observadas nos períodos de estiagem define a disponibilidade natural dos recursos hídricos, enquanto a disponibilidade potencial é determinada pela vazão média de longa duração. As vazões mínimas, caracterizadas pela magnitude, duração e frequência, utilizadas na concessão de outorga são normalmente representadas pela vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$), ou pelas vazões cujas probabilidades de superação são de 90 % (Q_{90}) ou 95 % (Q_{95})¹⁴.

A outorga de direito de uso da água é um dos instrumentos adotados pela PNRH, pois permite estabelecer um limite de referência para os usos sustentáveis da água num determinado corpo hídrico. Para fins de outorga pelos órgãos gestores de recursos hídricos, as

⁷ Spolidorio, 2017.

⁸ Romero; Paiva; Opazo, 2019.

⁹ Oliveira, 2008. Novaes et al., 2009.

¹⁰ Smakhtin, 2001. Barbosa et al., 2005. Martins et al., 2011. Pruski et al., 2015.

¹¹ Lima; Lacerda; Loreiro, 2022.

¹² Silva et al., 2006. Rego, 2013. Luiz; Fernandes; Reis Junior, 2013. Lisboa et al., 2014.

¹³ Oliveira; Fioreze, 2011.

¹⁴ Reis; Guimarães; Barreto Neto, 2008. Almeida; Curri, 2016.

vazões mínimas de referência influenciam diretamente no total disponível para outorga. Os critérios para análise de pedidos de outorga utilizados pelos órgãos gestores no Brasil utilizam diferentes vazões de referência, bem como percentuais considerados outorgáveis. Nos estados do Brasil, bem como na federação, tem-se adotado critérios restritivos ao estabelecimento de vazões mínimas, sem apresentar necessariamente, justificativas para adoção desses valores.

Nesse sentido, a outorga de uso da água deve ser orientada para a maximização do bem-estar social e da administração de conflitos entre usuários na mesma bacia¹⁵. Para a sua implementação é necessário definir critérios e regras claras e objetivas de distribuição da água, considerando a hierarquização de prioridades dos vários usos, dependente das características de uso e ocupação do solo¹⁶ e do desenvolvimento socioeconômico da bacia hidrográfica¹⁷. Neste viés, e considerando que apenas partes das vazões mínimas são outorgáveis, existe a limitação do uso da água nos períodos de maior disponibilidade hídrica. A diversidade de vazões mínimas adotadas, assim como de diferentes percentuais desta vazão para outorga, afeta diferentes usuários e suas atividades econômicas.

A adoção de uma vazão mínima anual nos critérios de outorga pode se tornar restritiva¹⁸ em bacias com elevada demanda de recurso, em períodos chuvosos, e pode ser eventualmente insuficiente para a manutenção do meio biótico, nos períodos de escassez. Existe, portanto, à necessidade de evoluir nos critérios de outorga, com estudos aprofundados para suprir a falta de dados hidrológicos, assim como, a adoção de vazões mínimas sazonais. Alguns trabalhos têm avaliado a sazonalidade nas vazões de referência para estimativa de vazões mínimas, e revelaram que a utilização do período trimestral para determinação de vazões mínimas apresentou-se mais adequada ao processo de outorga, quando comparada ao período anual¹⁹.

A bacia no rio Araranguá, localizada no sul do Estado de Santa Catarina, Brasil, tem apresentando um aumento da demanda pelo uso da água superficial, especialmente para irrigação nas lavouras de arroz, que ocupa atualmente 473,25 km². Além da produção de arroz, existe a produção de milho, banana e fumo,

agroindústrias, cerâmicas, metalmecânicas, indústrias de couro e confecções, minerações de seixo, areia, argilas e carvão, além da pesca e seguimentos ligados ao turismo²⁰.

O plano de recursos hídricos da bacia do rio Araranguá estabeleceu como vazão mínima de referência a Q_{90} anual²¹, tendo como vazão máxima outorgável 50 % da Q_{90} anual. Esta vazão despreza as variações sazonais da disponibilidade hídrica ofertadas na bacia, implicando na concessão de vazões muito restritivas em períodos de maior disponibilidade, limitando a captação de água em períodos de maior regime de chuvas²². Essa situação tem gerado desconforto entre usuários de água, pois além das concessões de outorga existentes, tem aumentado as demandas hídricas (vazões captadas)²³ na bacia. Portanto, a determinação de vazões mínimas sazonais é uma alternativa para a potencialização do uso da água superficial considerando as diferentes finalidades e demandas existentes.

Este estudo buscou analisar a influência da sazonalidade nas vazões mínimas de referência na bacia do rio Araranguá, com intuito de potencializar o uso das águas superficiais em períodos de maior demanda hídrica. Além de subsidiar com informações técnico-científicas a Secretaria de Estado do Meio Ambiente e da Economia Verde (SEMAE), órgão responsável pela gestão dos recursos hídricos no Estado de Santa Catarina.

Metodologia

A bacia do rio Araranguá situada no sul de Santa Catarina, Brasil, localiza-se entre os quadrantes 28°48' a 29°06' Sul e 49°20' a 50°00' W (Mapa 1), drenando em superfície o território de 17 municípios. A população estimada destes municípios, que ocupam parte ou totalmente as áreas territoriais na bacia, é de 514.398 habitantes²⁴. O sistema de drenagem na bacia foi ordenado conforme Strahler de 1957²⁵, utilizando o software Hydro Flow 1.3. Neste programa foram inseridos, em formato shapefile, a drenagem e o limite da bacia, obtendo assim a hierarquização fluvial.

Para o cálculo das vazões mínimas de referência foram usados os dados diários consistidos de seis

¹⁵ Marques et al., 2009.

¹⁶ Medeiros; Santos, 2024.

¹⁷ Ferraz; Braga Junior, 1998.

¹⁸ Silva; Marques; Lemos, 2011.

¹⁹ Catalunha, 2004. Silva; Marques et al., 2011.

²⁰ PERH/SC, 2017.

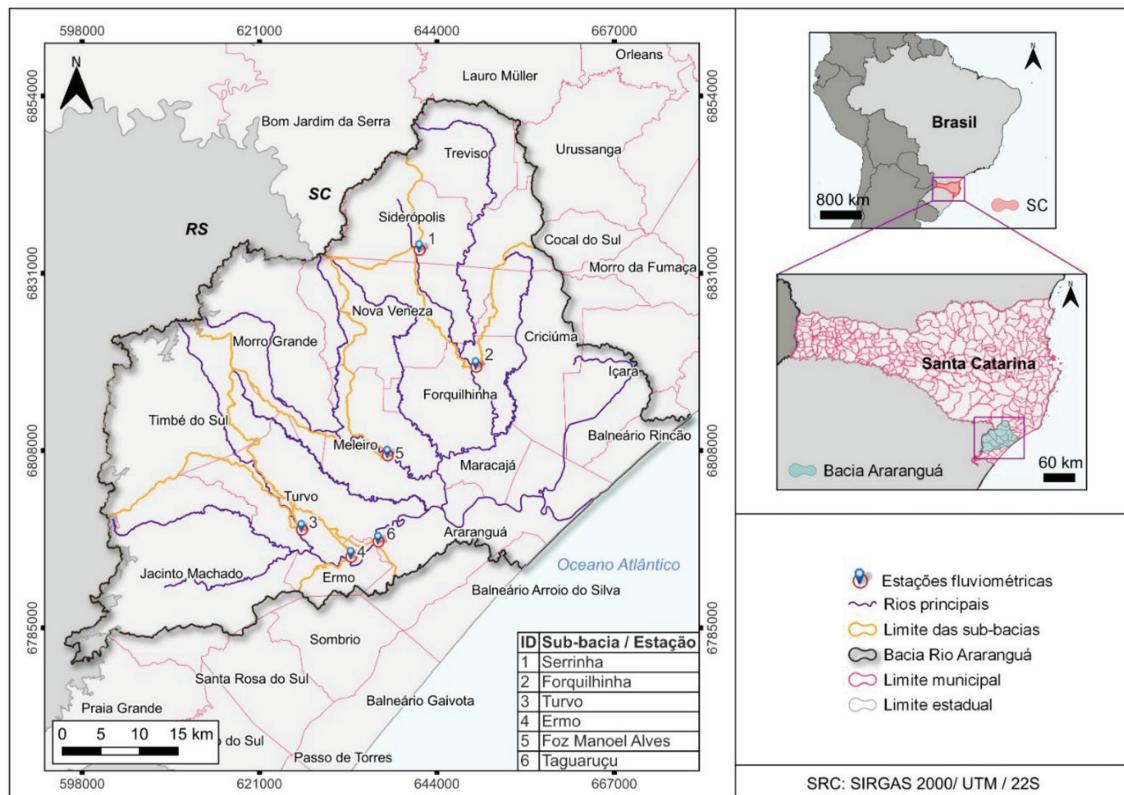
²¹ PRHBA, 2015.

²² Coan; Back; Bonetti, 2014.

²³ Mori; Fan, 2023.

²⁴ IBGE, 2021.

²⁵ Strahler, 1957.

Mapa 1. Mapa de localização da bacia do rio Araranguá destacando os rios principais e as estações fluviométricas

Fonte: Elaboração própria.

estações fluviométricas (Tabela 1) disponibilizados no Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb). Foram determinadas vazões mínimas ($Q_{7,10}$, Q_{90} , Q_{95} e Q_{98}) organizadas em séries mensal, trimestral e anual, conforme ano civil (janeiro a dezembro).

Foram ajustadas as distribuições Gumbel mínima (GB), Weibull com dois (Wb2) e três (Wb3) parâmetros, Log-Normal com dois parâmetros (LN2) e três parâmetros (LN3), Pearson Tipo III e Log-Pearson Tipo III. Para estimativa dos parâmetros foram usados o método dos Momentos (MM), método da Máxima Verossimilhança (MV) e método dos L-Momentos (LM). Na distribuição de Gumbel (GB) foi incluído o método de Chow para estimativa dos parâmetros. Para avaliar a aderência dos dados foram usados os testes de Kolmogorov-Smirnov (KS) e Anderson-Darling (AD) ao nível de significância de 5 %, conforme expressões que seguem adiante. O teste KS baseia-se na comparação entre as distribuições teóricas $[F'(x)]$ e as empíricas cumulativas $[F(x)]$. A estatística D descreve a maior discrepância entre $[F'(x)]$ e $[F(x)]$. Naturalmente, valores de D suficientemente grandes levam à rejeição de H_0 .

$$D = \text{Max} / F(x) \text{ observada} - F(x) \text{ teórica} /$$

$$KS_{\text{crit}} = \frac{K_{\alpha}}{\sqrt{n + 0.12 + 0.11 / \sqrt{n}}}$$

Em que:

KS_{crit} : Kolmogorov-Smirnov.

$F(x)$: frequência.

$$A^2 = -N - \sum_{i=1}^N \frac{(2i-1)\{ \ln F_x(x_{(i)}) + \ln [1 - F_x(x_{(N-i+1)})] \}}{N}$$

Em que:

A^2 : Anderson-Darling.

$x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(m)}, \dots, x_{(n)}$: observações ordenadas em modo crescente.

$F_N(x)$ e $F_x(x)$: distribuições empírica e teórica.

Para definir o critério de seleção foram determinados a raiz do erro quadrático médio - RMSE (Root Mean Square Error), o erro absoluto médio (MAE) e o D-index, respectivamente calculados conforme expressões:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{e_i})^2}{n}}$$

Tabela 1. Estações fluviométricas na bacia do rio Araranguá

Código	Nome da Estação	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Área (km ²)	Curso d'Água	Série de dados (ano)	Série de dados consistido (ano)
84800000	Serrinha Jusante	28,6125	49,5514	114	116,30	Rio São Bento	1985 a 2021	36
84820000	Forquilhinha	28,7492	49,4744	40	507,80	Rio Mãe Luzia	1942 a 2017	59
84949000	Turvo	28,9422	49,7025	30	323,15	Rio Amola Faca	1976 a 2020	32
84949800	Ermo	28,9725	49,6372	12	822,87	Rio Itoupava	1978 a 2016	37
84853000	Foz do Manuel Alves	28,8536	49,5897	10	346,68	Rio Manuel Alves	1977 a 2020	39
84950000	Taguaruçu	28,9550	49,6008	10	881,53	Rio Araranguá	1943 a 2011	68

Fonte: adaptado de ANA (2022).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_e - X_i|$$

$$Dindex = \frac{1}{R} \sum_{i=1}^6 |R_i - R_i^*|$$

Em que:

RMSE: raiz do erro quadrático médio para uma dada distribuição de probabilidade.

X_i : vazão observada de ordem i .

X_{ei} : vazão estimada pela distribuição teórica de probabilidade.

n : número de elementos na série.

MAE: erro absoluto médio.

Dindex: índice baseado nos seis menores valores da série.

R: valor médio da série da precipitação registrada.

R_i ($i = 1$ a 6): seis primeiros valores mais baixos na série de precipitação registrada.

R_i^* : precipitação estimada por distribuição de probabilidade.

Para a seleção da melhor distribuição, estas foram ranqueadas de acordo com escore formado pelo ranqueamento dos valores dos testes de aderência e dos índices de desempenho. Com a distribuição selecionada foram calculados os valores de $Q_{7;10}$.

De posse das vazões mínimas e das características físicas (Área de drenagem (A), Comprimento (L) e Densidade de drenagem (Dd)), correspondentes às bacias de contribuição das estações fluviométricas, foi aplicada a regressão para estimar às vazões mínimas (anual, trimestral e mensal) na bacia do rio Araranguá. Para espacialização das vazões foi utilizado o software ArcGis 10.3.

As vazões mínimas de base mensal e trimestral foram comparadas a base anual. A sazonalidade, expressa

na variação entre as vazões mínimas foi avaliada para identificar a flexibilidade nos critérios de outorga, conforme expressão.

$$Dr = \frac{Q_{sazonal} - Q_{anual}}{Q_{anual}} 100$$

Em que:

Dr: diferença relativa da disponibilidade hídrica (%).

$Q_{sazonal}$: vazão estimada em base sazonal (m^{3.s⁻¹).}

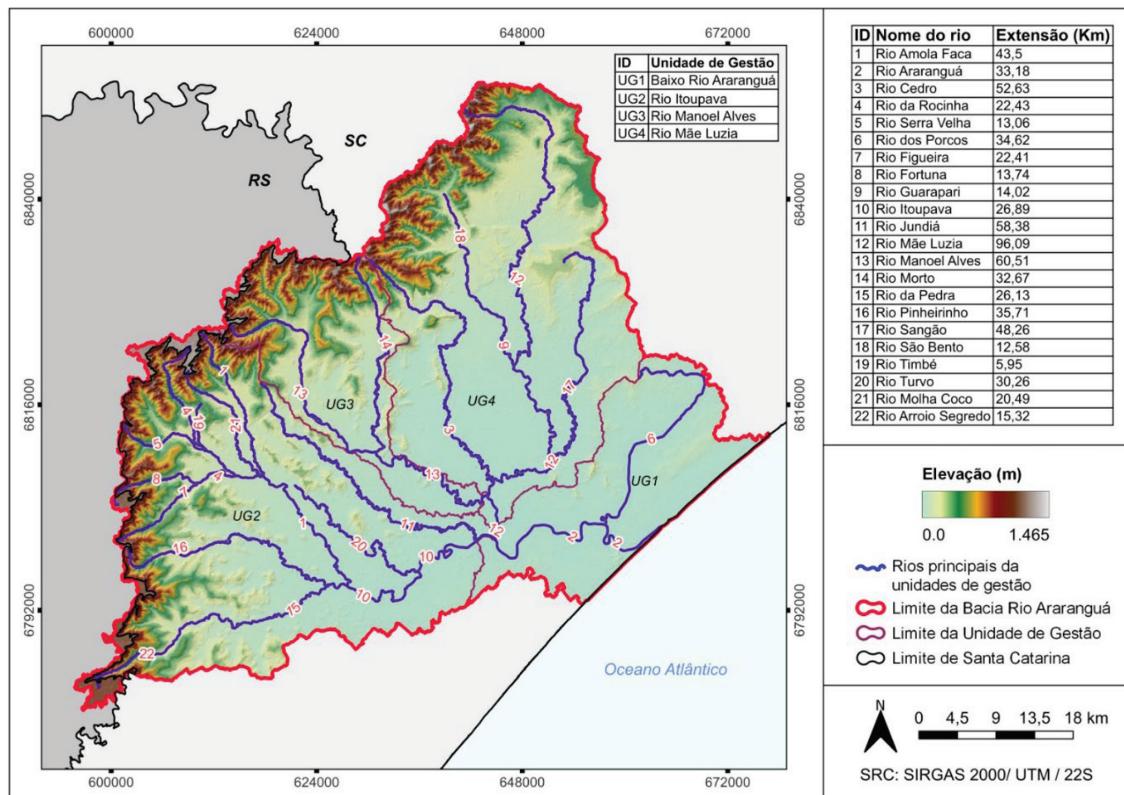
Q_{anual} : vazão estimada em base anual (m^{3.s⁻¹).}

Resultados

A bacia do rio Araranguá ocupa superficialmente uma área de 3.071,20 km² e possui quatro subsistemas compreendidos pelos rios Itoupava (1.137,76 km²), Mãe Luzia (1.111,52 km²), Baixo Araranguá (428,67 km²) e Manoel Alves (393,25 km²) (Mapa 2). A partir da hierarquização da hidrografia da bacia, a maior ordem de rios encontrada foi de 8^a, correspondente ao rio Araranguá. A extensão do rio principal é de 96,07 km (junção dos rios Mãe Luzia e do Araranguá), com altitude variando de zero a 1485 metros. O rio Araranguá, que deságua no oceano, possui 32,8 km de extensão, e é formado pelo encontro dos rios Mãe Luiza e Itoupava²⁶.

De posse das vazões mínimas determinadas nos períodos anual, trimestral e mensal, ajustou-se as distribuições de probabilidade com seus respectivos métodos de estimativa de parâmetros. Obteve-se o total de 102 distribuições ajustadas, considerando que foram utilizadas as seis estações fluviométricas, totalizando 2142 distribuições testadas para cada vazão nas escalas sazonais. As distribuições que melhor se ajustaram aos

²⁶ PRHBA, 2015.

Mapa 2. Principais rios da bacia do rio Araranguá

Fonte: elaboração própria.

períodos analisados foram a Log-Normal a dois e três parâmetros, a Weibull com dois e três parâmetros e a Pearson III, visto que não foram rejeitadas ao nível de significância de 5 % de probabilidade, pelos testes de aderência de Kolmogorov-Smirnov e Anderson-Darling.

Estudos realizados nas sub-bacias dos rios Paraná²⁷ e Paraíba do Sul²⁸, constataram que as distribuições Log-Normal a dois e três parâmetros apresentaram melhores ajustes. Já a distribuição Weibull foi a que melhor se ajustou para representar eventos mínimos²⁹. Nos estudos de estimativa e regionalização de vazões mínimas (Q_7 e Q_{30}) realizados na região sul do Brasil³⁰, verificou-se que as distribuições Log-Normal a dois e três parâmetros, a Weibull dois e três parâmetros e a Pearson III, foram as que melhor se ajustaram. Normalmente é adotada a distribuição Weibull com dois parâmetros devido a maior facilidade à determinação de seus parâmetros e por apresentar melhor aderência aos dados de vazões mínimas³¹.

Para as vazões mínimas, verificou-se que o RMSE foi superior a $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em 26 vazões mínimas estimadas, enquanto que as demais vazões foram $<1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Em relação aos valores de D-index para as distribuições testadas, apenas duas apresentaram valor $>0,50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (Estações Turvo e Manoel Alves). Dezessete vazões apresentaram valores entre $<0,50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e $>0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, e as demais vazões mínimas foram inferiores a $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. O ADcrítico estabelecido para o teste de Anderson-Darling foi de 0,752. Estes resultados indicam um desempenho favorável aos modelos de distribuição selecionados para cada estação fluviométrica. Na Tabela 2 constam os parâmetros das distribuições de probabilidade selecionada para estimativa da $Q_{7,10}$ nas diferentes sazonais.

As distribuições Normal e Gumbel Mínima com parâmetros estimados pelos três métodos de estimativa (MM, MV e LM) não foram classificadas em nenhuma estação fluviométrica. Das cinco distribuições melhor ranqueadas, destaca-se com melhor ajuste a distribuição Log-Normal com três parâmetros ajustados pelo método da máxima verossimilhança.

Nas Figura 1 e Figura 2 estão representados os valores de vazão mínima de referência ($Q_{7,10}$, Q_{98} , Q_{95} , Q_{90})

²⁷ Silva; Marques; Lemos, 2011.

²⁸ Baena, 2002.

²⁹ Euclides et al., 2001.

³⁰ Candorin, 2022.

³¹ Barros et al., 2018.

Tabela 2. Parâmetros das distribuições de probabilidade selecionada para estimativa da $Q_{7,10}$ anual, trimestral e mensal para as seis estações fluviométricas e respectivos erros padrões da estimativa (RMSE, MAE e Dindex)

Código	Período	Distribuição	Parâmetro Forma	Parâmetro Escala	Parâmetro Posição	Dmax	AD	RMSE	MAE	Dindex
84800000	Anual	WB3 - MM	5,8955	1,3773	-0,7180	0,1363	0,3742	0,0396	0,0325	0,3236
84820000		LN3 - MV	0,8146	0,3582	-0,9013	0,0616	0,1325	0,0710	0,0521	0,1459
84949000		WB3 - LM	1,0667	0,7467	-0,1196	0,1332	0,6983	0,1399	0,0983	0,4809
84949800		LN3 - MV	1,1019	0,4328	-0,5540	0,0887	0,2397	0,2518	0,1553	0,1441
84853000		WB2 - MV	0,5394	0,7752		0,1254	0,4637	0,1656	0,0959	0,1092
84950000		WB2 - MV	3,4640	1,2614		0,1019	0,5644	0,3831	0,2828	0,1861
84800000	1º Trimestre	LN2 - MV	0,5172	0,6023		0,1368	0,7289	0,4395	0,2598	0,3074
84820000		PIII - MV	3,2775	1,1041	0,5169	0,1088	0,7372	0,6024	0,3916	0,0732
84949000		WB3 - LM	0,7788	2,0852	-0,0432	0,1768	0,6602	0,4299	0,2968	0,0482
84949800		LN3 - MV	1,4062	0,9353	0,7391	0,1011	0,3194	1,9134	0,8627	0,0952
84853000		LN3 - MV	0,2019	1,2310	-0,0627	0,1331	0,3508	1,0823	0,3409	0,0461
84950000		LN3 - MV	1,7253	0,8580	-0,6929	0,0713	0,261	1,8008	0,7263	0,0950
84800000	2º Trimestre	LN3 - MV	0,0240	0,6154	-0,1281	0,1407	0,6684	0,3411	0,1683	0,3286
84820000		LN3 - MV	0,9444	0,5908	-0,1403	0,0726	0,3714	0,4059	0,1993	0,1509
84949000		WB3 - LM	1,8165	2,3698	-0,5444	0,0834	0,4141	0,149	0,11951	0,5916
84949800		LN3 - MV	1,5204	0,6154	-0,2188	0,0746	0,1822	0,5670	0,3199	0,0930
84853000		WB3 - LM	1,5568	2,5993	-0,2058	0,0779	0,1403	0,1114	0,0887	0,1432
84950000		WB2 - MM	6,4254	1,8285		0,1253	0,7079	0,5280	0,3956	0,1239
84800000	3º Trimestre	LN3 - MV	-0,0336	0,4813	-0,2329	0,1362	0,5035	0,1224	0,0836	0,1940
84820000		LN3 - MM	1,0869	0,4794	-0,9824	0,0628	0,2229	0,1958	0,1269	0,1651
84949000		WB2 - MV	1,3864	1,1589		0,1386	0,7189	0,1712	0,1382	0,3589
84949800		LN3 - MV	1,5667	0,5417	-0,6533	0,0971	0,2771	0,4481	0,2747	0,1164
84853000		WB3 - LM	1,3008	1,6915	-0,2219	0,0892	0,2928	0,147	0,1022	0,2641
84950000		LN3 - MV	1,7034	0,4854	-0,9035	0,0904	0,6559	0,5134	0,3812	0,0974
84800000	4º Trimestre	WB3 - MM2	1,5845	1,3982	0,0226	0,1041	0,3010	0,1062	0,0873	0,1319
84820000		LN3 - MV	1,1616	0,4579	-0,8724	0,0680	0,1492	0,1517	0,1018	0,0760
84949000		WB2 - LM	1,1940	0,8060		0,0962	0,2644	0,1528	0,1056	0,0537
84949800		LN2 - MV	1,3565	0,6012		0,0690	0,2301	0,9409	0,3871	0,1947
84853000		WB3 - LM	1,0859	1,2138	-0,1943	0,1292	0,8043	0,1417	0,11626	0,5542
84950000		WB3 - MM	1,4922	6,5694	-0,4259	0,0775	0,536	0,5766	0,4525	0,1690
84800000	Janeiro	LN3 - MV	1,6296	0,3140	-2,2867	0,1304	0,2789	0,1990	0,1662	0,1417
84820000		LN3 - MV	1,4796	0,9118	0,0088	0,0781	0,2632	1,5278	0,6308	0,0837
84949000		WB2 - LM	3,0372	0,8327		0,1406	0,3751	0,6026	0,3254	0,0544
84949800		LN2 - LM	1,9780	0,9313		0,0937	0,5137	1,7867	1,2065	0,1557
84853000		LN3 - MV	0,6086	1,4112	-0,0532	0,0811	0,1663	2,5931	0,6664	0,0314
84950000		LN3 - MV	1,9011	1,1480	-0,2973	0,0628	0,226	6,1683	1,6585	0,0450

Tabela 2. Parâmetros das distribuições de probabilidade selecionada para estimativa da $Q_{7,10}$ anual, trimestral e mensal para as seis estações fluviométricas e respectivos erros padrões da estimativa (RMSE, MAE e Dindex) (Continuação)

Código	Período	Distribuição	Parâmetro Forma	Parâmetro Escala	Parâmetro Posição	Dmax	AD	RMSE	MAE	Dindex
84800000	Fevereiro	LPIII - MMD	-0,2712	3,9165	2,1852	0,0950	0,4446	0,6943	0,4498	0,0897
84820000		LN3 - MV	1,8705	1,0048	-0,0743	0,0919	0,3901	2,3112	1,2593	0,1197
84949000		WB2 - LV	4,415	0,7616		0,1138	0,3076	1,1337	0,6640	0,0657
84949800		LN2 - MM	2,3638	0,9744		0,1413	0,4725	4,9568	2,5976	0,1185
84853000		WB2 - LM	6,0899	0,8865		0,1176	0,446	1,2061	0,86321	0,0642
84950000		LN3 - MV	2,5740	0,9321	-1,0036	0,0686	0,2815	4,5327	1,9144	0,0561
84800000	Março	PIII - MV	1,5302	1,1418	0,6661	0,1649	0,5459	0,4057	0,2576	0,0703
84820000		LN3 - MV	1,6650	0,7978	0,4665	0,0815	0,3084	1,7467	0,7270	0,0612
84949000		LN2 - MV	4,0012	1,0171		0,1057	0,7332	0,7264	0,4695	0,2414
84949800		LN3 - MV	2,3163	0,6153	-0,9214	0,0893	0,2321	1,3544	0,7299	0,1242
84853000		LN3 - MV	1,4894	0,7332	-0,6967	0,0579	0,131	0,7406	0,3535	0,1635
84950000		LPIII - MMD	-0,2781	9,5720	5,0821	0,0601	0,2445	4,9584	2,1991	0,0422
84800000	Abril	LN3 - MV	0,5129	0,5641	-0,1522	0,0880	0,2415	0,1993	0,1264	0,1581
84820000		WB3 - LM	1,1052	4,0269	1,3404	0,0701	0,2824	0,3652	0,2634	0,0496
84949000		WB3 - LM	2,0528	5,0693	-1,4626	0,1037	0,491	0,3519	0,2731	0,5738
84949800		LN3 - MV	2,1027	0,5139	-0,7323	0,0981	0,3128	1,3702	0,7068	0,1508
84853000		LN3 - MM	2,7129	0,1397	-11,4520	0,1118	0,5031	0,3671	0,2922	0,4424
84950000		PIII - MV	3,7578	2,5053	0,4130	0,0845	0,4112	1,3207	0,6320	0,1782
84800000	Maio	LN3 - LM	0,4098	0,4852	-0,3925	0,1068	0,197	0,0973	0,0727	0,1575
84820000		LN2 - MV	1,1637	0,6158		0,1086	0,3454	0,6114	0,2447	0,1715
84949000		WB3 - LM	1,5315	3,4991	-0,4946	0,0604	0,1799	0,1872	0,1329	0,260
84949800		PIII - MV	4,3847	1,4627	0,9441	0,1027	0,4001	1,8822	0,8322	0,1742
84853000		WB3 - MM	1,9078	4,0342	-0,5844	0,0881	0,3823	0,2677	0,2160	0,3487
84950000		WB2 - MM (CV)	8,2976	1,5971		0,0936	0,4928	0,4899	0,4092	0,1109
84800000	Junho	LN2 - LM	-0,0828	0,7894		0,1324	0,7945	0,2425	0,1706	0,4468
84820000		LN3 - MV	0,8943	0,7129	0,2155	0,0768	0,4891	0,7428	0,3276	0,1098
84949000		WB3 - LM	1,6681	2,9479	-0,4395	0,0867	0,3073	0,2151	0,1466	0,2994
84949800		LN3 - MV	1,6496	0,6516	-0,2012	0,0687	0,1661	0,8557	0,4148	0,1118
84853000		LN3 - MV	0,9289	0,7061	-0,4247	0,0697	0,1873	0,4962	0,2471	0,0697
84950000		PIII - MV	2,9250	2,1017	0,7555	0,1093	0,6717	0,7132	0,5337	0,0955
84800000	Julho	LN3 - MM	0,0022	0,4977	-0,1372	0,1127	0,2612	0,1189	0,0664	0,1904
84820000		LN3 - LM	0,9287	0,7763	0,1398	0,0830	0,2384	0,6558	0,2794	0,0644
84949000		WB3 - MM	1,5547	2,9718	-0,295	0,1059	0,4504	0,2614	0,2104	0,2608
84949800		LN3 - MV	1,8666	0,5322	-0,5935	0,0982	0,2135	0,7529	0,4135	0,0887
84853000		WB2 - MV	3,1585	1,3362		0,0922	0,228	0,2232	0,1476	0,1169
84950000		PIII - MV	3,4310	1,8198	0,9206	0,0730	0,3886	0,8806	0,4912	0,1108

Tabela 2. Parâmetros das distribuições de probabilidade selecionada para estimativa da $Q_{7,10}$ anual, trimestral e mensal para as seis estações fluviométricas e respectivos erros padrões da estimativa (RMSE, MAE e Dindex) (Continuação)

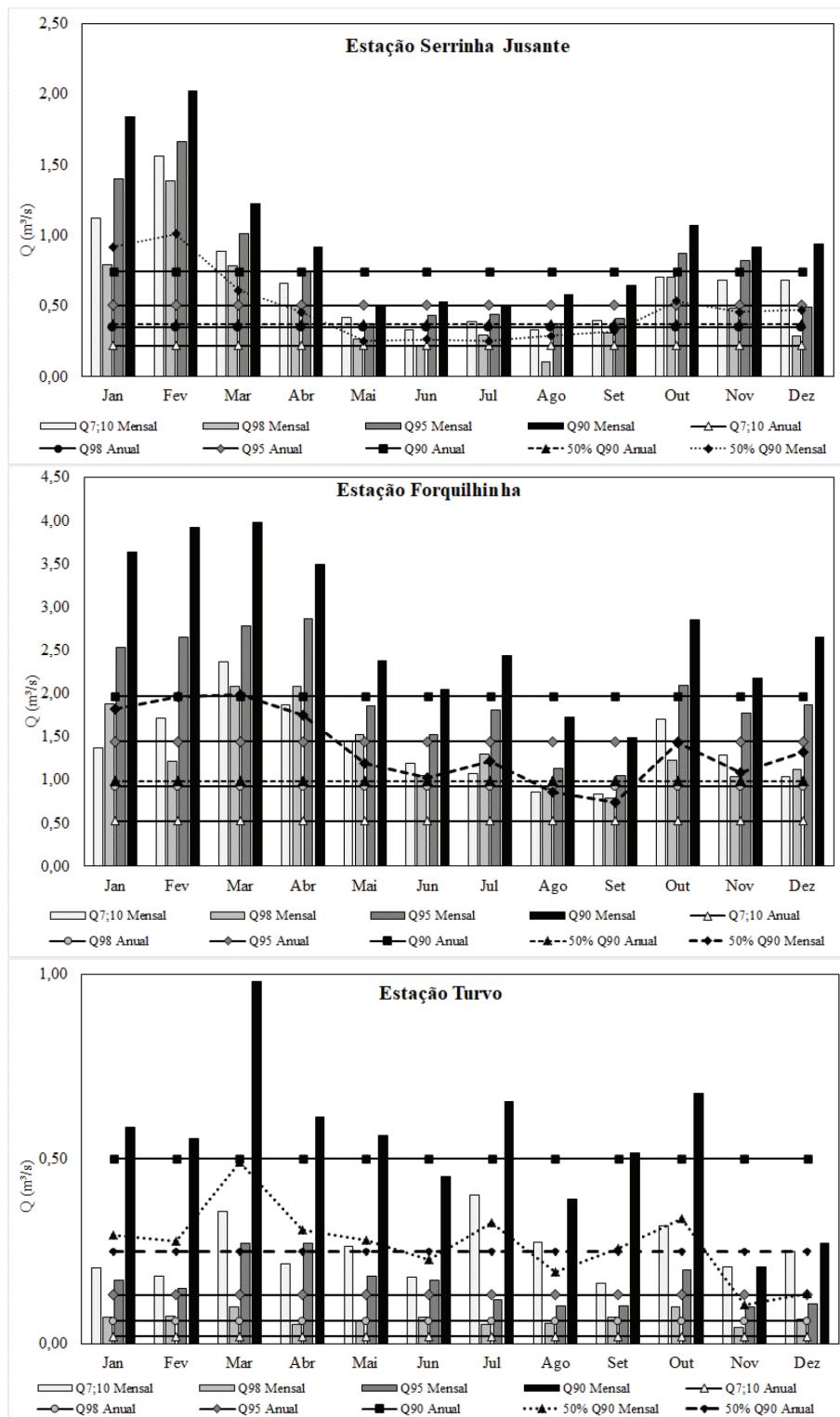
Código	Período	Distribuição	Parâmetro Forma	Parâmetro Escala	Parâmetro Posição	Dmax	AD	RMSE	MAE	Dindex
84800000	Agosto	LN3 - MV	0,1575	0,5571	-0,2378	0,1384	0,6296	0,1926	0,1289	0,3754
84820000		LN3 - MV	1,2477	0,6832	-0,5985	0,0665	0,3648	0,4936	0,3055	0,2752
84949000		PIII - MM	2,5215	1,0048	0,0163	0,0674	0,2331	0,3616	0,1888	0,1307
84949800		LN2 - MV	1,7538	0,6517		0,0770	0,3015	0,9337	0,5522	0,1894
84853000		WB3 - LM	1,0143	2,7527	-0,0526	0,1223	0,4458	0,2933	0,2266	0,1504
84950000		LN2 - MV	1,8203	0,6742		0,0785	0,3613	0,9069	0,5273	0,1283
84800000	Setembro	WB2 - MV	1,6930	1,5584		0,1009	0,3196	0,1637	0,1141	0,1604
84820000		WB2 - LM	4,4874	1,4353		0,1201	0,6366	0,6573	0,4188	0,1076
84949000		PIII - LM	2,3065	1,2375	-0,0198	0,1109	0,6152	0,827	0,4017	0,1926
84949800		LN3 - LM	2,2299	0,3724	-3,5059	0,0750	0,0842	0,3270	0,1985	0,1171
84853000		WB2 - MV	2,2672	0,951		0,1055	0,5981	0,5501	0,2584	0,1388
84950000		LN2 - LM	2,0418	0,6339		0,0873	0,4421	1,0272	0,6365	0,2667
84800000	Outubro	LN2 - MV	0,5361	0,6820		0,1015	0,313	0,1827	0,1424	0,1527
84820000		LN3 - MV	1,1348	0,8412	0,6445	0,0830	0,2004	0,7156	0,3166	0,0785
84949000		WB2 - LM	3,4290	0,9466		0,0894	0,5133	1,3605	0,6138	0,0443
84949800		LN2 - LM	1,9483	0,6563		0,0867	0,3636	1,1369	0,7462	0,1502
84853000		WB3 - LM	0,9379	2,6293	-0,0565	0,0668	0,2205	0,4659	0,2341	0,0858
84950000		LN2 - MV	2,1877	0,6521		0,0837	0,3025	1,3536	0,7022	0,0855
84800000	Novembro	LN3 - MV	0,7297	0,5907	-0,2861	0,0917	0,2848	0,1769	0,1268	0,2296
84820000		WB3 - LM	1,0430	3,7337	0,8573	0,0909	0,2821	0,5765	0,3064	0,0616
84949000		PIII - MM	3,3859	0,9137	-0,0649	0,0777	0,5542	0,5598	0,3725	0,1174
84949800		LN3 - MV	1,3315	1,0436	1,5054	0,0821	0,1929	1,2895	0,5634	0,0880
84853000		WB3 - LM	0,9527	2,496	-0,1593	0,091	0,3439	0,3756	0,2295	0,1419
84950000		PIII - MV	7,8956	1,1620	1,0895	0,0741	0,3524	1,7705	0,7825	0,0744
84800000	Dezembro	WB2 - LM	2,4126	1,4969		0,1024	0,2406	0,2256	0,1536	0,1711
84820000		LN3 - MV	1,3235	0,7884	-0,3311	0,0817	0,3396	1,0846	0,4724	0,1064
84949000		WB2 - LM	2,9024	0,9197		0,0851	0,4307	0,4044	0,2914	0,0571
84949800		LN3 - MV	1,6730	0,7575	-0,2536	0,1403	0,6895	1,5354	0,8153	0,2275
84853000		WB2 - MV	2,0210	0,7764		0,1409	0,7537	0,7327	0,3512	0,0560
84950000		WB3 - MM2	1,1364	8,6868	-0,2061	0,0951	0,4116	0,9122	0,5867	0,0976

Fonte: elaboração própria.

nas sazonais anual e mensal determinados para as estações fluviométricas. Os resultados obtidos para $Q_{7,10}$ mostraram tendência de comportamento similar nas seis estações. A $Q_{7,10}$ mensal foi superior em todos os 12 meses nas seis estações em comparação com a $Q_{7,10}$ anual, tendo em média, um ganho de 667,02 %. Os maiores ganhos mensais, considerando as estações, foram em março (1267,97 %), abril (1199,49 %) e julho (850,06 %), respectivamente em comparação a $Q_{7,10}$ anual. Os meses

com menores ganhos foram em novembro (327,77 %), dezembro (338,56 %) e agosto (433,50 %), porém todos superiores a $Q_{7,10}$ anual. Corroborando com essa análise, os valores de $Q_{7,10}$ anual encontrados foram de $0,019\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Turvo), $0,023\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Foz Manoel Alves), $0,222\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Serrinha), a $0,526\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Forquilhinha), $0,582\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Taquarenu) e $1,174\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Ermo), enquanto que os menores valores de $Q_{7,10}$ mensal foram de $0,163\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Turvo), $0,072\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Foz Manoel Alves), $0,333\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Serrinha),

Figura 1. Vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{98} , Q_{95} , Q_{90}) mensais e anuais e projeção do uso de critérios de vazões máximas permitíveis para concessão de outorga nas estações Serrinha Jusante (84800000), Forquilhinha (84820000) e Turvo (84949000)



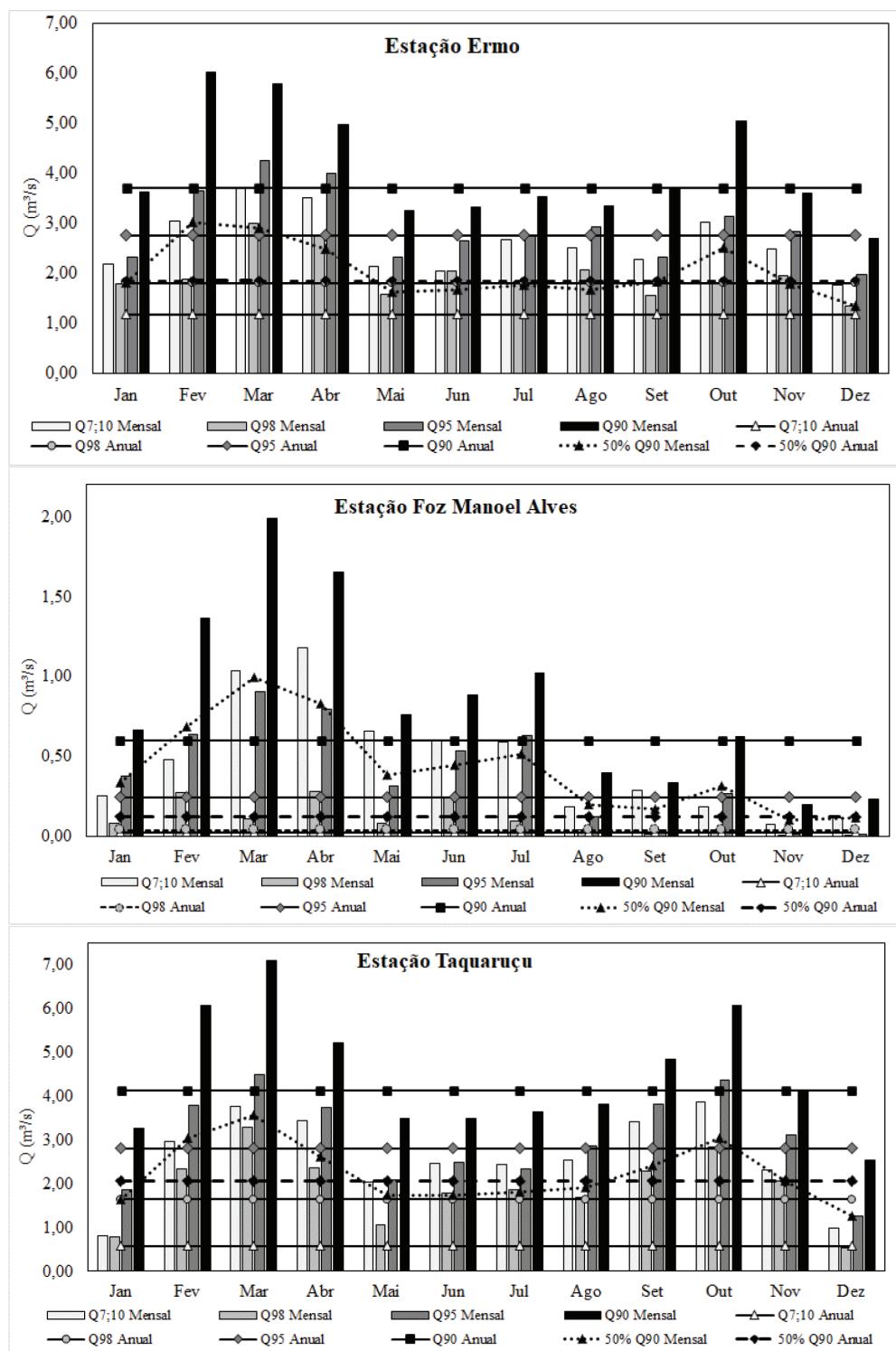
Fonte: elaboração própria.

a $0,837\ m^3.s^{-1}$ (Forquilhinha), $0,809\ m^3.s^{-1}$ (Taquaruçu) e $1,765\ m^3.s^{-1}$ (Ermo), o que confirma maior potencial de incremento com a adoção da $Q_{7,10}$ mensal³².

³² Silva; Silva; Moreira, 2015.

Em análise as Q_{98} e Q_{95} mensal, observa-se um ganho superior nos sete primeiros meses (janeiro a julho) e em outubro, todos estes em comparação às Q_{98} e Q_{95} anual. Ao longo dos doze meses, o ganho em média foi de 51,64 % (Q_{98} mensal) e 30,60 % (Q_{95} mensal).

Figura 2. Vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{98} , Q_{95} , Q_{90}) mensais e anuais e projeção do uso de critérios de vazões máximas permisíveis para concessão de outorga nas estações Ermo (84949800), Foz do Manoel Alves (84853000) e Taquaruçu (84950000)



Fonte: elaboração própria.

Em análise da Q_{90} mensal, observa-se ganho superior nos quatro primeiros meses (janeiro a abril), em julho e outubro, todos comparados à Q_{90} anual. Maio, junho, agosto, setembro, novembro e dezembro tiveram leve redução. Ao longo de um ano, o ganho em média foi de

22,49 %. Foram ainda comparadas as vazões máximas outorgáveis (50 % Q_{90} anual x 50 % Q_{90} mensal), uma vez que o Plano de Recursos Hídricos da bacia do rio Araranguá estabeleceu como vazão mínima de referência a Q_{90} anual, sendo outorgável apenas 50 %. Observa-se que

nos meses de outubro a abril (Serrinha), outubro a julho (Forquilhinha), janeiro a maio, julho, setembro e outubro (Turvo), janeiro a abril e outubro (Ermo), janeiro a julho e outubro (Foz Manoel Alves) e janeiro a março, setembro e outubro (Taquaruçu), a Q_{90} mensal foi superior a Q_{90} anual, proporcionando ganhos variando de 7,55 % (Turvo) a 248,34 % (Foz Manoel Alves).

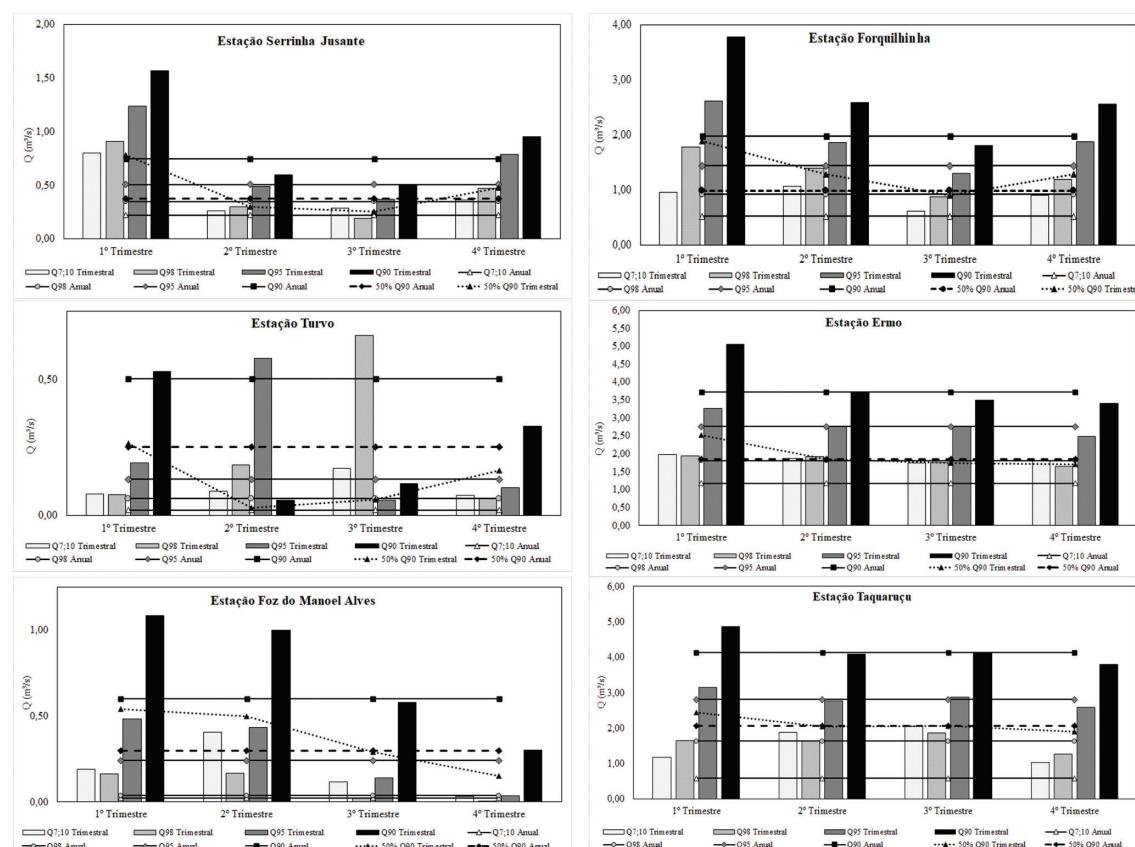
Dessa forma, a utilização de um valor de referência de vazões mínimas variável conforme a sazonalidade local permite uma flexibilização com maior captação de água para os meses chuvosos (outubro a março) e a garantia da vazão mínima necessária nos períodos de menor regime de chuvas (junho e julho)³³, proporcionando potencial para incremento dos recursos hídricos superficiais sem colocar em risco a biota do ecossistema local.

Quanto as vazões mínimas trimestrais (Figura 3), verifica-se tendência de comportamento similar nas

seis estações fluviométricas. A $Q_{7,10}$ trimestral foi superior em todos os quatro trimestres nas seis estações em comparação a $Q_{7,10}$ anual, tendo em média, um ganho de 255,87 %. O 1º trimestre apresentou ganho de 257,35 %, o 2º trimestre de 406,52 %, o 3º trimestre de 260,32 % e o 4º trimestre de 99,29 %, todas em comparação a $Q_{7,10}$ anual. Os resultados obtidos corroboram com o aumento proporcionado na disponibilidade hídrica em todos os trimestres (379 % 1º trimestre, 174,5 % 2º trimestre, 36,1 % 3º trimestre e 14,7 % 4º trimestre)³⁴ observados nos principais rios da bacia do São Francisco a montante do reservatório de Três Marias.

A Q_{98} trimestral foi superior nos três primeiros trimestres nas seis estações em comparação com a Q_{98} anual, tendo em média um ganho de 86,37 %. Os três primeiros trimestres apresentaram ganhos superiores a Q_{98} anual correspondendo a 103,80 %, 100,29 % e 149,63 %, respectivamente, enquanto no 4º trimestre teve redução (-8,23 %), ou seja, perda em relação a Q_{98} anual.

Figura 3. Vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{98} , Q_{95} , Q_{90}) trimestrais e anuais e projeção do uso de critérios de vazões máximas permissíveis para concessão de outorga nas estações Serrinha Jusante, Forquilhinha, Turvo, Ermo, Foz do Manoel Alves e Taquaruçu



Fonte: elaboração própria.

³³ Coan; Back; Bonetti, 2014. Galatto; Souza; Back, 2023.

³⁴ Silva; Marques; Lemos, 2011.

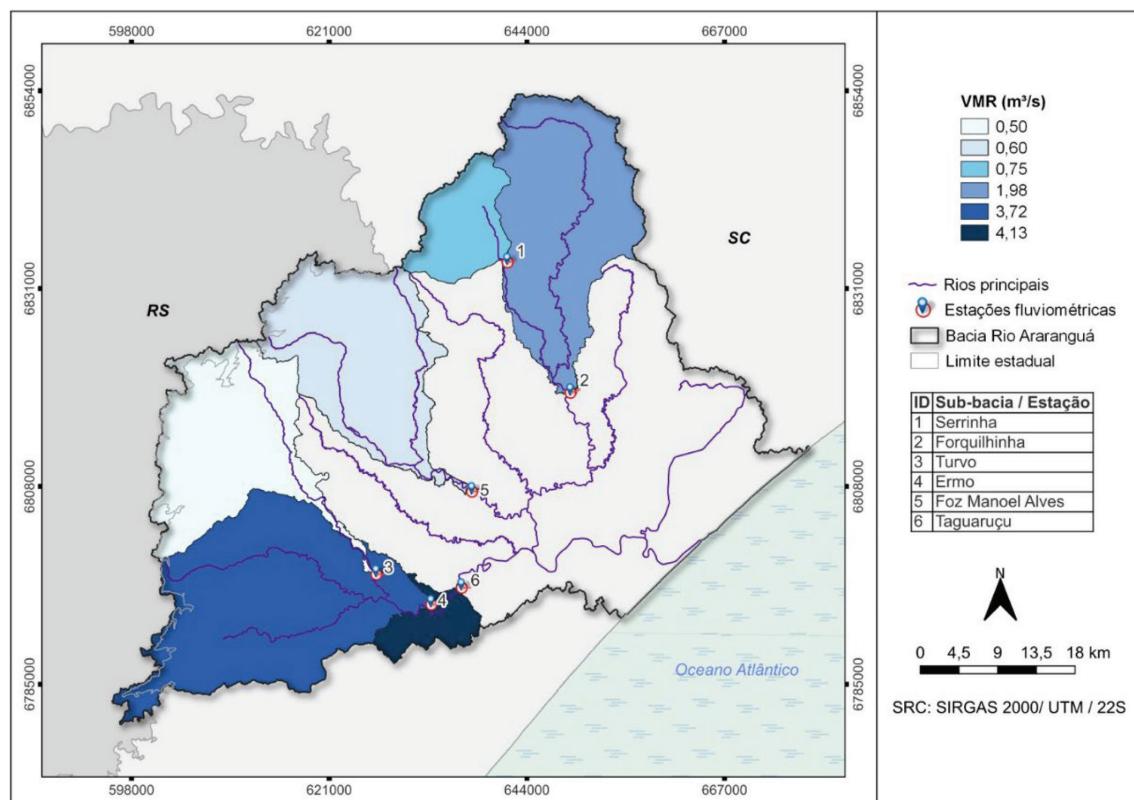
A Q_{95} trimestral foi superior nos dois primeiros trimestres nas seis estações em comparação com a Q_{95} anual, tendo em média um ganho de 27,89 %. Os dois primeiros trimestres apresentaram ganhos superiores a Q_{95} anual de 67,08 % e 73,70 %, respectivamente, enquanto que nos 3º e 4º trimestres tiveram perdas de -22,51 % e -6,72 %, respectivamente. Essas perdas correspondem as Q_{95} trimestrais inferiores a Q_{95} anual.

Os resultados da Q_{90} trimestral foram superiores apenas no 1º trimestre em todas as estações em comparação a Q_{90} anual, com ganho de 56,95 %. Nos 2º, 3º e 4º trimestres, a Q_{90} trimestral apresentou perda de -2,22 %, -21,17 % e -7,14 %, respectivamente, em relação a Q_{90} anual. Por outro lado, nos quatro trimestres, a Q_{90} trimestral possibilitou a flexibilização de 6,60 %, além de proporcionar ganho de até 36,03 % no critério de 50 % da Q_{90} trimestral. Os resultados obtidos neste estudo corroboram com aqueles encontrados na bacia do rio Paraopeba, em Minas Gerais, onde foram evidenciadas

diferenças relativas expressivas entre as vazões mínimas sazonais e de base anual, nos quadrimestres normal e chuvoso, e no semestre chuvoso³⁵. O uso de critérios baseados no comportamento hídrico sazonal potencializou melhor a utilização da água, flexibilizando as vazões outorgáveis na bacia do rio Paraopeba, permitindo maior uso de água em período em que há disponibilidade e restringindo no período crítico.

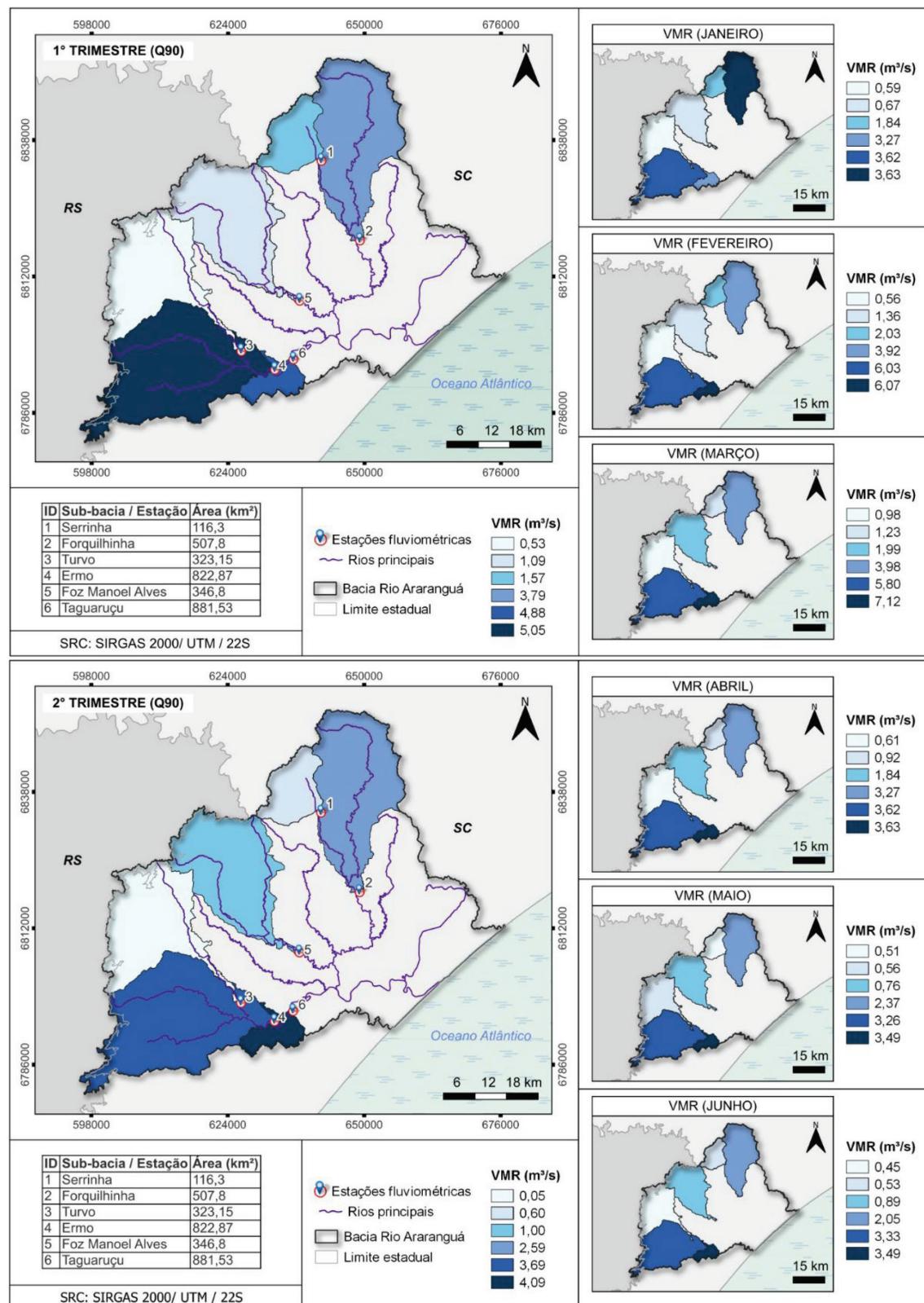
As variações das Q_{90} (trimestral e mensal) e da Q_{90} (anual) das estações fluviométricas são apresentadas nos Mapa 3 e Mapa 4. As estações de Turvo e Ermo se destacam em relação as demais estações em termos de vazão dos rios Amola Faca e Itoupava. As vazões mensais variam de $0,20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (novembro) a $7,12 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (março), enquanto que nos trimestres variou de $0,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (2º trimestre) a $5,05 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (1º trimestre). Já a Q_{90} anual variou de $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $4,13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Portanto, a adoção de vazões mínimas sazonais, proporciona a potencialização do uso das águas superficiais na bacia.

Mapa 3. Vazão mínima (Q_{90}) anual das estações fluviométricas



Fonte: elaboração própria.

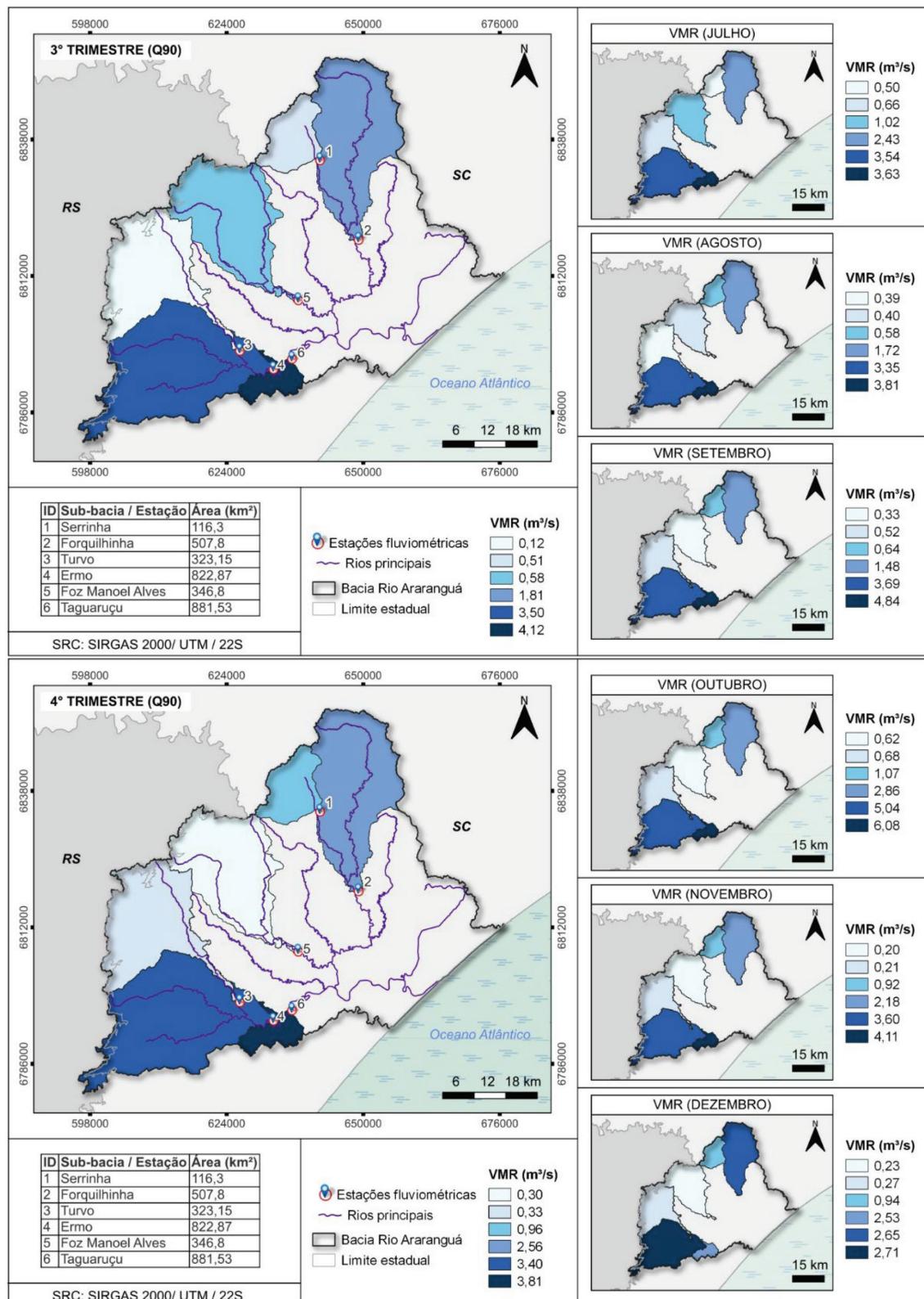
³⁵ Silva; Silva; Moreira, 2015.

Mapa 4. Vazão mínima (Q₉₀) nos trimestres e meses das estações fluviométricas

Miscelánea

Sérgio Luciano Galatto, Álvaro José Back, Carlyle Torres Bezerra de Menezes, Bruna Borges da Rocha

Mapa 4. Vazão mínima (Q_{90}) nos trimestres e meses das estações fluviométricas (Continuação)



Fonte: elaboração própria.

Nas Tabela 3 e Tabela 4 é apresentada a diferença percentual média das vazões mínimas sazonais (mensal e trimestral) em relação à base anual. Os valores encontrados mostram haver maior flexibilidade do uso de água utilizando a base sazonal, em que, para a $Q_{7,10}$ trimestral, chegou-se a flexibilidade média de 99,29 % (1º trimestre), 257,35 % (2º trimestre), 260,32 %

(3º trimestre) e 406,52% (4º trimestre). Enquanto para a $Q_{7,10}$ mensal, as médias das seis estações variam de 327,77 % (novembro) a 1267,97 % (março). Em relação às vazões mínimas associadas à curva de permanência (Q_{98} , Q_{95} e Q_{90}), observou-se flexibilidade nos quatro trimestres com média no período de 86,37 % (Q_{98}), 27,89 % (Q_{95}) e 6,6 % (Q_{90}).

Tabela 3. Comparação das $Q_{7,10}$, Q_{98} , Q_{95} e Q_{90} de base mensal em relação as $Q_{7,10}$, Q_{98} , Q_{95} e Q_{90} anual por estação

Código	Flexibilização em relação a $Q_{7,10}$ anual (%)											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
84800000	406,76	603,60	301,35	196,40	87,84	50,00	76,58	50,90	80,18	217,12	209,46	209,46
84820000	161,22	226,43	350,19	254,75	176,43	127,38	104,56	63,12	59,13	223,76	145,06	97,15
84949000	973,68	868,42	1789,47	1036,84	1294,74	852,63	2026,32	1347,37	757,89	1573,68	989,47	1221,05
84949800	86,63	159,80	214,05	198,64	82,54	75,21	127,94	113,46	94,12	157,75	112,86	50,34
84853000	978,26	1991,30	4404,35	5017,39	2752,17	2508,70	2447,83	691,30	1130,43	691,30	213,04	382,61
84950000	39,00	410,14	548,45	492,96	248,45	323,54	317,18	334,88	487,46	564,09	296,74	70,79
Código	Flexibilização em relação a Q_{98} anual (%)											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
84800000	127,79	296,56	126,07	44,13	-22,92	-36,10	-14,90	-69,91	-10,89	102,01	38,11	-17,48
84820000	103,91	32,17	125,98	126,85	65,43	14,13	41,74	-2,07	-14,89	33,26	12,50	21,30
84949000	18,03	22,95	62,30	-16,39	0,00	16,98	-14,72	-11,48	18,03	63,41	-27,61	6,52
84949800	-0,66	3,37	65,67	53,04	-13,02	12,64	1,10	13,80	-13,96	0,50	7,67	-26,21
84853000	118,92	635,14	181,08	659,46	105,41	551,35	156,76	2,70	-67,57	-2,70	-94,59	-86,49
84950000	-52,50	42,32	101,46	43,78	-35,91	9,27	13,48	3,60	39,02	72,50	25,43	-67,99
Código	Flexibilização em relação a Q_{95} anual (%)											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
84800000	176,88	229,25	100,59	47,63	-26,09	-14,43	-12,06	-26,28	-18,97	73,32	62,25	-1,98
84820000	75,47	83,99	92,58	98,61	28,41	5,34	25,29	-21,41	-27,44	45,11	22,94	29,80
84949000	29,55	13,64	106,06	106,06	38,52	29,55	-8,90	-23,48	-23,48	51,36	-25,00	-17,65
84949800	-15,77	32,16	54,13	45,07	-15,37	-4,28	0,58	6,38	-15,26	13,56	3,01	-28,25
84853000	54,96	161,57	274,38	227,27	29,75	119,01	160,33	-50,83	-83,06	9,92	-95,87	-95,45
84950000	-34,02	35,48	59,89	33,45	-25,23	-11,17	-16,51	1,78	35,52	55,77	10,68	-54,98
Código	Flexibilização em relação a Q_{90} anual (%)											
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
84800000	146,26	170,72	64,04	22,33	-32,35	-29,01	-32,75	-22,19	-13,90	43,18	22,46	26,07
84820000	83,95	98,43	101,62	76,96	20,15	3,65	23,24	-12,76	-24,91	44,76	10,38	33,97
84949000	16,73	10,64	95,62	22,45	12,13	-9,56	30,82	-22,11	3,19	35,26	-58,65	-45,82
84949800	-2,53	62,30	55,97	33,96	-12,22	-10,36	-4,82	-9,93	-0,78	35,55	-3,23	-27,21
84853000	11,02	127,71	232,55	175,96	27,21	47,75	70,28	-33,72	-44,57	3,51	-67,13	-61,77
84950000	-20,82	46,94	72,23	26,60	-15,59	-15,64	-12,08	-7,79	17,16	47,16	-0,48	-38,76

Fonte: elaboração própria.

Tabela 4. Comparação das $Q_{7,10}$, Q_{98} , Q_{95} e Q_{90} de base trimestral em relação as $Q_{7,10}$, Q_{98} , Q_{95} e Q_{90} anual por estação

Código	Flexibilização em relação a $Q_{7,10}$ anual (%)				Flexibilização em relação a Q_{98} anual (%)			
	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
84800000	260,81	17,57	30,18	62,16	160,46	-15,19	-45,56	34,10
84820000	81,94	102,66	18,25	71,86	93,26	51,20	-4,13	29,89
84949000	305,26	368,42	805,26	284,21	22,95	202,95	981,97	0,00
84949800	67,80	58,43	48,21	53,07	7,62	5,79	-2,43	-9,22
84853000	726,09	1669,57	408,70	47,83	337,84	356,76	-45,95	-81,08
84950000	102,23	222,51	251,37	76,63	0,73	0,24	13,90	-23,11
Código	Flexibilização em relação a Q_{95} anual (%)				Flexibilização em relação a Q_{90} anual (%)			
	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre	1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
84800000	144,46	-2,76	-27,47	55,53	109,35	-20,05	-32,21	27,67
84820000	81,08	28,69	-9,49	29,72	91,64	30,98	-8,25	29,77
84949000	46,21	337,12	-59,09	-23,48	5,37	-89,24	-77,09	-34,90
84949800	17,98	0,68	0,00	-10,18	36,00	-0,67	-5,94	-8,42
84853000	100,41	79,75	-41,32	-84,29	81,30	66,61	-3,34	-49,24
84950000	12,34	-1,24	2,31	-7,61	18,04	-0,99	-0,19	-7,77

Fonte: elaboração própria.

De modo geral, observou-se a potencialização do uso da água superficial com adoção da vazão mínima sazonal, conforme evidenciado também nos estudos realizados na bacia rio Paracatu³⁶ integrante da bacia rio São Francisco e na bacia do rio Doce³⁷, em Minas Gerais. Apesar das particularidades encontradas em alguns períodos sazonais, os ganhos percentuais com a adoção da Q_{90} sazonal, especialmente no período de maior demanda hídrica (agosto a fevereiro) comparativamente à base anual, corrobora com o gerenciamento dos recursos hídricos³⁸, permitindo novas concessões de outorga de água superficial.

A Figura 4 apresenta as vazões de base trimestral e mensal em comparação a vazão anual para a bacia do rio Araranguá. A $Q_{7,10}$ mensal foi superior nos 12 meses em comparação a $Q_{7,10}$ anual, com média no período de 160,72 %, variando de 48,39 % (dezembro) a 424,88 % (setembro).

Em análise as vazões de permanência estimadas para a bacia, a flexibilização média obtida é de 51,59 % (Q_{98} mensal), 33,84 % (Q_{95} mensal) e 44,12 % (Q_{90} mensal) em relação a base anual. Os resultados indicam a possibilidade de outorgar maior quantidade de água

superficial, especialmente nos meses de maior índice pluviométrico, que coincide ao período de maior demanda hídrica na bacia, entre agosto a fevereiro, devido a safra de arroz irrigado³⁹.

Em análise ao período trimestral, a $Q_{7,10}$ demonstrou ganho em todos os quatro trimestres em comparação com a $Q_{7,10}$ anual, com média no período de 102,61 %. O 1º trimestre apresentou um ganho de 67,69 %, o 2º trimestre de 48,57 %, o 3º trimestre com 237,18 % e o 4º trimestre com 57,02 %, todos em comparação a $Q_{7,10}$ anual. Essa condição também foi constada em Minas Gerais em sistema integrado para a $Q_{7,10}$ em base sazonal⁴⁰.

A Q_{98} trimestral teve flexibilização no primeiro e terceiro trimestre em comparação a base anual. Em média, no período (12 meses) houve redução de 0,28 % em comparação a Q_{98} anual. Já Q_{95} , exceto no 2º trimestre, os outros três trimestres apresentaram ganhos superiores a Q_{95} anual tendo, em média, ganho de 7,26 %. A Q_{90} trimestral teve ganho nos três primeiros trimestres (24,76 % no 1º trimestre, 0,46 % no 2º trimestre e 0,66 % no 3º trimestre) em relação a Q_{90} anual, com ganho médio do período de 5,45 %.

³⁶ Bof, 2010.

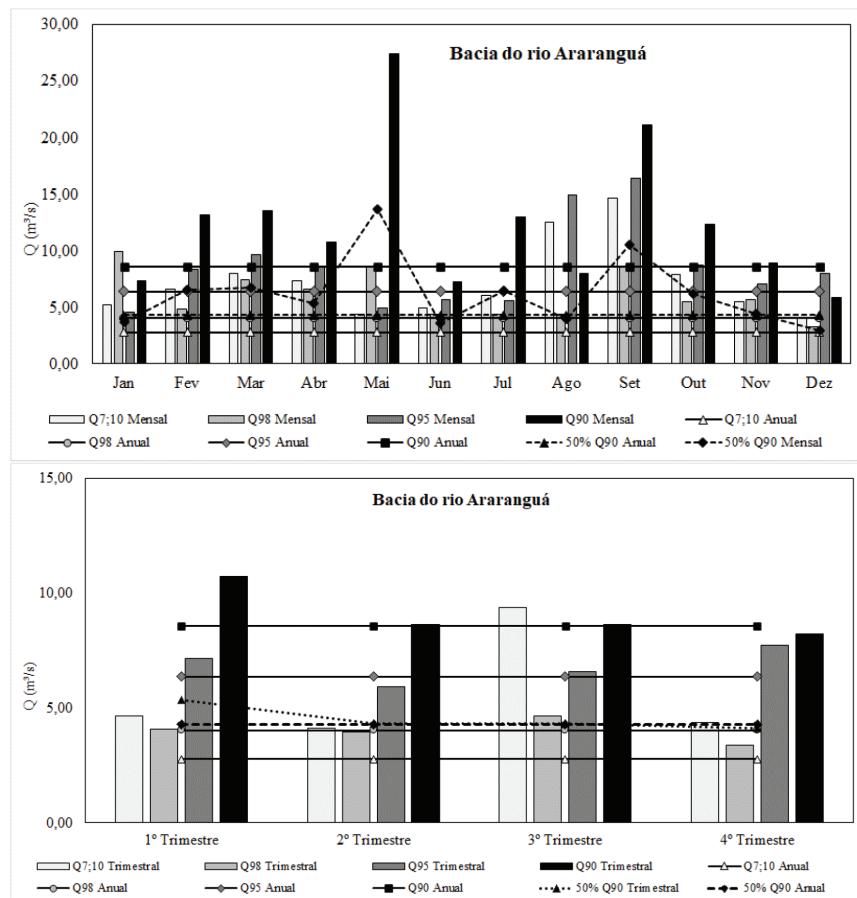
³⁷ Marques et al., 2009.

³⁸ Euclides; Ferreira; Faria Filho, 2006.

³⁹ PRHBA, 2015.

⁴⁰ Catalunha, 2004.

Figura 4. Vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$, Q_{98} , Q_{95} , Q_{90}) mensais, trimestrais e anuais e projeção do uso de critérios de vazões máximas permissíveis à concessão de outorga na bacia do rio Araranguá



Fonte: elaboração própria.

De modo geral, os recursos hídricos superficiais na bacia do rio Araranguá decorrem essencialmente de disponibilidade quantitativa, por meio do esgotamento de uso intensivo no setor agrícola, e de disponibilidade qualitativa, situação típica encontrada nos rios Sangão e Mão Luzia, devido aos impactos da drenagem ácida de mina⁴¹ e associada à poluição por esgotamento sanitário. Os problemas relacionados aos conflitos com escassez de água no mundo confirmam a necessidade de maior controle em sua utilização⁴². A gestão atual dos recursos hídricos passa por um processo de transição em que a descentralização, a gestão por bacias hidrográficas, o monitoramento permanente e a disponibilização de informações para a sociedade são pontos fundamentais⁴³.

O Mapa 5 traz a variação da vazão mínima (Q_{90}) na base trimestral e mensal estimadas para a bacia. A Q_{90} anual da bacia é $8,60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, contra uma variação mensal de $5,86 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em dezembro a $27,38 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ em maio, e de $8,25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (4° trimestre) a $10,73 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (1° trimestre), permitindo maior flexibilização de uso com a base sazonal. A determinação de vazões mínimas por regressão linear corroboram com informações aos usuários de água, uma vez que parte da bacia é descoberta de estações fluviométricas.

Além do critério de disponibilidade hídrica estudado nessa pesquisa, outros aspectos podem ser adotados no processo de concessão outorga de uso da água, como a característica qualitativa da água e a sua dependência hídrica.

⁴¹ Cardoso et al., 2022.

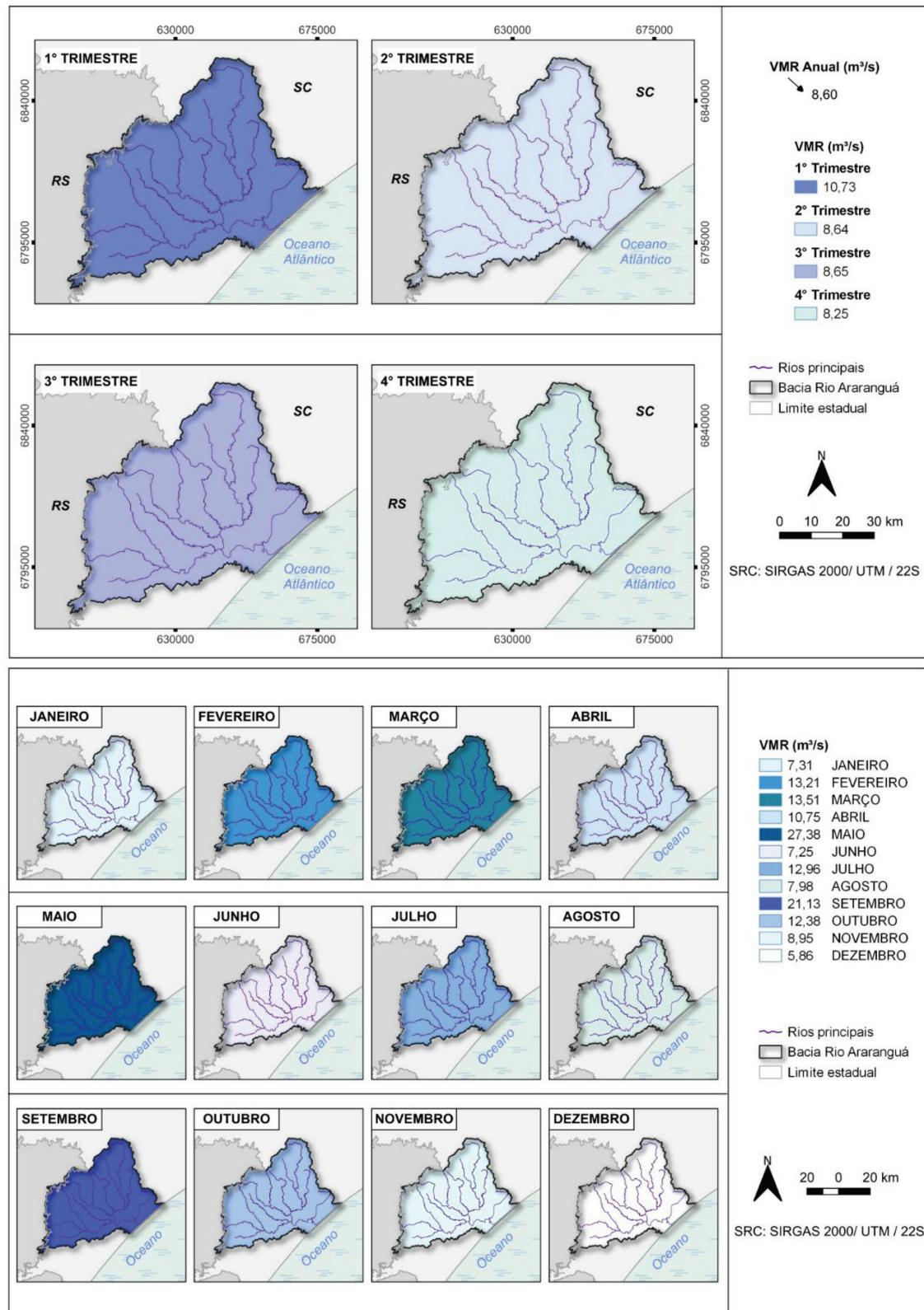
⁴² Silva; Ribeiro, 2022.

⁴³ Fernandes; Nogueira; Rabelo, 2008.

Miscelánea

Sérgio Luciano Galatto, Álvaro José Back, Carlyle Torres Bezerra de Menezes, Bruna Borges da Rocha

Mapa 5. Vazão mínima (Q_{90}) trimestral e mensal da bacia do rio Araranguá



Fonte: elaboração própria.

Considerações finais

De acordo com os resultados deste estudo, pode-se concluir que:

- A disponibilidade hídrica estimada pela $Q_{7,10}$, na base mensal e trimestral em comparação a $Q_{7,10}$ anual foi superior em todos os meses e trimestres. A análise trimestral das séries históricas da $Q_{7,10}$, conforme as estatísticas dos testes de KS e AD, demonstrou que as distribuições Weibull (Wb2 e Wb3), Log-Normal (LN3) e Pearson III foram as que melhor se ajustaram.
- As diferenças relativas entre as vazões mínimas sazonais e as de base anual foram mais expressivas nos 1º e 4º trimestres e nos meses de outubro a março nas vazões de permanência Q_{98} , Q_{95} e Q_{90} , tanto nas estações fluviométricas quanto na bacia.
- A adoção da Q_{90} na base trimestral e mensal como vazão de referência, em substituição a Q_{90} anual, aumenta de 6,6 % a 22,5 %, respectivamente, a vazão passível de ser outorgada.
- Na bacia do rio Araranguá, a adoção da Q_{90} (trimestral e mensal) como vazão de referência, em substituição a Q_{90} anual, potencializa o uso de água com ganhos médios de 5,45 % (Q_{90} trimestral) e de 44,12 % (Q_{90} mensal).
- A garantia de atendimento às diferentes finalidades de uso de água e de forma racional na bacia passa pela adoção de vazões sazonais, permitindo a expansão do atendimento a novas demandas hídricas.
- Para garantir os usos múltiplos da água de forma racional, é necessário contemplar outros critérios de outorga, como a qualidade da água e a dependência hídrica.

Referências

- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).** 2011: *Cadernos de capacitação - Volume 6 - Outorga*. <https://www.gov.br/ana/pt-br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sas/cadernos-de-capacitacao>. Consulta realizada em 23 de março de 2023.
- Almeida, Márcia Araújo; Curi, Wilson Fadlo.** 2016: "Gestão do uso de água na bacia do Rio Paraíba, PB, Brasil com base em modelos de outorga e cobrança". *Revista Ambiente e Água*, 11(4), 989-1005. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1820>

- Baena, Luiz Gustavo Nascentes.** 2002: *Regionalização de vazões para a bacia do rio Paraíba do Sul, a montante de Volta Redonda, a partir de modelo digital de elevação hidrologicamente consistente*. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais (Brasil). <https://locus.ufv.br/items/23b1816e-110a-4988-a640-7a7b9fc9fb3c>
- Barbosa, Sylvio Elvis da Silva; Barbosa Júnior, Antenor Rodrigues; Silva, Gilberto Queiroz; Campos, Elizabeth Neves Borges; Rodrigues, Vanessa Carvalho.** 2005: "Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a bacia do Rio do Carmo, Minas Gerais". *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, 10(1), 64-71. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522005000100008>
- Barros, Calina Grazielli Dias; Pessoa, Francisco Carlos Lira; Santana, Laila Rover; Lopes, Yashmin Keiller Lisboa; Costa, Carlos Eduardo Aguiar de Souza.** 2018: "Vazão mínima $Q_{7,10}$ no Amapá estimada por modelos probabilísticos". *Revista Engenharia na Agricultura - Reveng*, [S.L.], 26 (3), 284-294. <https://doi.org/10.13083/reveng.v26i3.930>
- Bof, Luiz Henrique Nobre.** 2010: *Análise de critérios de outorga de direito de uso dos recursos hídricos*. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais (Brasil). <https://locus.ufv.br/items/a228d709-b64a-4095-9928-a91f66530ae7>
- Brasil.** 1997: *Lei Federal n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Publicada no DOU de 09/01/1997, pág. nº 470.
- Cadorin, Sabrina Baesso.** 2022: *Estimativa e regionalização de vazões mínimas em região do sul do Brasil*. Dissertação (Mestrado). Universidade do Extremo Sul Catarinense, Santa Catarina (Brasil). <http://repositorio.unesc.net/handle/1/9118>
- Cardoso, Albert Teixeira; Fan, Fernando Mainardi; Franzen, Melissa; Simão, Gustavo; Troian, Guilherme Casarotto.** 2022: "Surface water resources of Santa Catarina state's southern region - geochemical background of the coal mining territory". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 27, e41, 1-13. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.272220220084>
- Catalunha, Márcio José.** 2004: *Sistema integrado em rede para gestão do uso múltiplo da água e regionalização da $Q_{7,10}$ para os períodos mensal, bimestral, trimestral e anual*. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais (Brasil). <https://locus.ufv.br/items/d231d5b2-e7e7-4faa-9add-e151e60dfba4>
- Coan, Bruno; Back, Álvaro José; Bonetti, Anderson Vendelino.** 2014: "Precipitação mensal e anual provável no estado de Santa Catarina". *Revista Brasileira de Climatologia*, 15(10), 122-142. <https://doi.org/10.5380/abclima.v15i0.38348>

- Euclides, Humberto Paulo; Ferreira, Paulo Afonso; Faria Filho, Reynaldo Furtado.** 2006: "Critério de outorga sazonal para a agricultura irrigada no Estado de Minas Gerais - Estudo de caso". *Revista Item - Irrigação e Tecnologia Moderna*, 71/72, 1-13. http://www.hidrotec.ufv.br/download/Outorga_sazonal.pdf
- Euclides, Humberto Paulo; Ferreira, Paulo Afonso; Rubert, Og Arão Vieira; Santos, Ronaldo Medeiros dos.** 2001: "Regionalização hidrológica na bacia do Alto São Francisco a Montante da Barragem de Três Marias". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 6(2), 81-105. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v6n2.p81-105>
- Fernandes, André Luís Teixeira; Nogueira, Márcio Augusto de Souza; Rabelo, Paulo Veloso.** 2008: "Escassez e qualidade da água no século 21". *Informe Agropecuário*, 29(246), 86-101. *Escassez e qualidade da agua no seculo 21.pdf_2a00e59ae85696af8334ad6d55adb06c.pdf*
- Ferraz, Angela; Braga Junior, Benedito Pinto Ferreira.** 1998: "Modelo decisório para a outorga de direito ao uso da água no estado de São Paulo". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 3(1), 5-19. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v3n1.p5-19>
- Galatto, Sérgio Luciano; Souza, Gabriel da Silva; Back, Álvaro José.** 2023: "Index of rain aggressiveness and erosivity in different climate types in Brazil". *Concilium*, 23(6), 170-183. <https://doi.org/10.53660/CLM-1119-23D28>
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).** 2021: *Censo 2021*. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/sombrio/panorama>. Consulta realizada em 01 de fevereiro de 2023.
- Lima, Sâmyra Silva; Lacerda, Isabella de Oliveira; Loureiro, Glauber Epifanio.** 2022: "Regimes mensais e anuais das vazões médias, máximas e mínimas na sub-região hidrográfica Itacaiúnas (SRHI)". *Research, Society and Development*, 11(8), 11. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i8.31113>
- Lisboa, Luana; Corrêdo, Lucas de Paula; Silva, Demetrius David; Uliana, Eduardo Morgan; Moreira, Michel Castro.** 2014: "Estimativa e regionalização das vazões mínimas anuais e quadrimestrais na Bacia do Piracicaba-MG". *Encyclopédia Biosfera*, 10(18), 1580-1592. <https://www.conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/2780>
- Luiz, Sarah Figueiredo; Fernandes, Wilson dos Santos; Reis Junior, Dirceu Silveira.** 2013: "Regionalização Hidrológica de Vazões Mínimas por meio dos Métodos OLS e WLS Aplicada à Bacia do Alto São Francisco". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 18(4), 231-241. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v18n4.p231-241>
- Machado, Érica Cristine Medeiros Nobre; Galvão, Carlos Oliveira; Souza Filho, Francisco de Assis de.** 2012: "Alocação quali-quantitativa de águas em bacias hidrográficas: metodologia multiobjetivo inserida no contexto da gestão dos recursos hídricos". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 17(2), 213-227. [10.21168/rbrh.v17n2.p213-227](https://doi.org/10.21168/rbrh.v17n2.p213-227)
- Marques, Felipe de Azevedo; Silva, Demetrius David da; Ramos, Márcio Mota; Pruski, Fernando Falco.** 2009: "Aqua - Sistema Multi-usuário para gestão de recursos hídricos". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 14(4), 51-69. [10.21168/rbrh.v14n4.p51-69](https://doi.org/10.21168/rbrh.v14n4.p51-69)
- Martins, Dhiego; Chagas, Rogério; Melo Neto, José; Mélio Júnior, Arisvaldo.** 2011: "Impactos da construção da usina hidrelétrica de Sobradinho no regime de vazões no Baixo São Francisco". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(9), 1054-1061. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011001000010>
- Mascarenhas, Ana Cristina Monteiro.** 2008: *Conflitos e Gestão de Águas: O Caso da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Brasília, Brasília (Brasil). <http://icts.unb.br/jspui/handle/10482/7936?locale=fr>
- Medeiros, Rafael Brugnoli; Santos, Luiz Carlos Araújo dos.** 2024: "Qualidade das águas, uso e cobertura da terra: subsídios para a gestão de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Pindaré, Maranhão - Brasil". *Agua y Territorio*, 24, 205-219. <https://doi.org/10.17561/at.24.7864>
- Mori, Gisele de Souza; Fan, Fernando.** 2023: "Análise preliminar da segurança hídrica na bacia hidrográfica do rio Araranguá em Santa Catarina". *XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 1-7. <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/191/XXV-SBRH0162-1-20230530-150230.pdf>
- Novaes, Luciano Farias de; Pruski, Fernando Falco; Queiroz, Douglas Oliveira de; Rodriguez, Renata del Giudice; Silva, Demetrius David da; Ramos, Márcio Mota.** 2009: "Modelo para a Quantificação da Disponibilidade Hídrica: Parte 1. Obtenção da Equação de Recessão". *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 14(1), 15-26. [10.21168/rbrh.v14n1.p15-26](https://doi.org/10.21168/rbrh.v14n1.p15-26)
- Oliveira, Fernanda Abreu.** 2008: *Procedimentos para aprimorar a regionalização de vazões: estudo de caso da Bacia do Rio Grande*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais (Brasil). <https://locus.ufv.br/items/8ba4c078-6058-49f7-a6d0-c42916cb4f19>
- Oliveira, Luiz; Fioreze, Ana.** 2011: "Estimativas de vazões mínimas mediante dados pluviométricos na bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(1), 9-15. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000100002>
- Oliveira, Maria de Jesus Lopes; Luna, Renata Mendes.** 2013: "O papel da alocação negociada de água na solução de conflitos em recursos hídricos: o caso do conflito pelo uso da água no açude de Santo Antônio de Aracatiaçu - CE". *XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, 1-8.
- Paulino, J.; Folegatti, M. V.; Zolin, C. A.; Sánchez-Román, R. M.; José, J. V.** Situação da agricultura irrigada no Brasil de acordo com o censo agropecuário 2006. *Irriga*, v.16, p.163-176, 2011. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2011v16n2p163>

- PERH/SC, Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina.** 2017: *Plano de Ações do PERH/SC: Objetivos, Metas e Ações. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável - SDS*. Governo de Santa Catarina, Florianópolis (Brasil). Certi/Fapesc, 57.
- PRHBA, Plano de Recursos Hídricos da Bacia do rio Araranguá.** 2015: *Relatório Etapa C: elaboração do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Araranguá*. Governo do Estado de Santa Catarina, Araranguá (Brasil), Profill, 113.
- Pruski, Fernando Falco; Rodrigues, Renata Del; Nunes, Aline; Pruski, Pedro; Singh, Vijay.** 2015: "Low-flow estimates in regions of extrapolation of the regionalization equations: a new concept". *Engenharia Agrícola*, 35(5), 808-816. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n5p808-816/2015>
- Rego, Fernando Silva.** 2013: *Regionalização de vazões considerando a evapotranspiração real em seu processo de formação*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais (Brasil). <https://locus.ufv.br/items/b4802d48-742a-470b-8eda-d47caa6ce15d>
- Reis, José Antônio Tosta dos; Guimarães, Maria Alves; Barreto Neto, Aurélio Azevedo; Bringhenti, Jacqueline.** 2008: "Indicadores regionais aplicáveis à avaliação do regime de vazão dos cursos d'água da Bacia Hidrográfica do Rio Itabapoana". *Revista Geociências*, 27(4), 509-516. <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/3375>
- Romero, Hugo; Paiva, Júlio César; Opazo, Dustyn.** 2019: "Geografia física crítica, topoclimatologia andina e o extrativismo Mineiro no salar de Atacama". *Revista Brasileira de Climatologia*, Ano w15 - Edição Especial - XIII Simpósio Brasileiro de Climatologia, 1-21. <https://doi.org/10.5380/abclima.v0i0.64776>
- Silva, Antônio; Oliveira, Polyanna; Mello, Carlos; Pierangeli, Cyntia.** 2006: "Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10(2), 374-380. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000200019>
- Silva, Bruno Marcel Barros; Silva, Demetrius David; Moreira, Michel Castro.** 2015: "Influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga de uso da água: estudo de caso da bacia do rio Paraopeba". *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 10(3), 1-12. <https://doi.org/10.4136/amb-aqua.1587>
- Silva, Demetrius David da; Marques, Felipe Azevedo; Lemos, Alysson Feliciano.** 2011: "Flexibilidade das vazões mínimas de referência com a adoção do período trimestral". *REVENG*, 19(3), 244-254. <https://doi.org/10.13083/reveng.v19i3.309>
- Silva, Maycon Breno Macena; Ribeiro, Márcia Maria Rios.** 2022: "Alocação e governança da água como mecanismos de resolução de conflitos". *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, 27(3), 533-540. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210072>
- Smakhtin, Vladimir.** 2001: "Low flow hydrology: a review". *Journal of Hydrology*, 240, 147-186. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00340-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00340-1)
- Spolidorio, Paulo Celso Maistro.** 2017: "A alocação negociada de água como estratégia de regulação responsável". *Revista de Direito Setorial e Regulatório*, 3(1), 183-198. <https://periodicos.unb.br/index.php/rdsr/article/view/19202/17715>
- Strahler, Arthur.** 1957: "Quantitative analysis of watershed geomorphology". *Transactions, American Geophysical Union*, 38(6), 913-920. <http://www.uvm.edu/pdodds/files/papers/others/1957/strahler1957a.pdf>