



Campos dos Goytacazes/RJ

## Análise Exploratória da Bacia Paraíba do Sul

*Pâmela Melo*<sup>1</sup>; *Erica Acioli Canamary*<sup>2</sup>; *Javier Tomasella*<sup>3</sup>; *Diovana de Moura Silva*<sup>4</sup> & *Layrson Menezes*<sup>5</sup>

**RESUMO** – Devido à complexidade dos múltiplos usos da Bacia Paraíba do Sul, sua representação na modelagem hidrológica requer levantamento in loco das suas instalações hidráulicas e das estações fluviométricas. Visto isso, este trabalho se objetivou em realizar uma análise exploratória pela bacia, visitando pontos de monitoramento do nível da água e o levantando de dados para representação no modelo hidrológico, como a largura dos cursos d'água. Também foram observadas as usinas hidrelétricas e estações elevatórias para transposição na bacia, seu funcionamento, localização da tomada d'água e vertedores. Foi observado que a grande extração de água realizada pelo sistema Guandú e o possível assoreamento do canal até a sua foz alteram as características do canal, prejudicando também as seções com estações de monitoramento fluviométrico.

**ABSTRACT**– Due to the complexity of the multiple uses in Paraíba do Sul Basin, its representation in hydrological modeling requires in loco survey of hydraulic installations and fluviometric stations. Thus, this work aimed to execute an exploratory analysis across the basin, visiting water level monitoring points and collecting data for representation in the hydrological model, such as the channel width. It was also observed hydroelectric plants and pumping stations for transposition in the basin, their operation, location of the water intake and spillways. It was observed that the large intake of water removed by the Guandú system and the silting on the water channel possibly altered the its characteristics, which impairs the fluviometric monitoring sections.

**Palavras-Chave** – Expedição, modelo hidrológico, base de campo.

### 1. INTRODUÇÃO

A Bacia do Rio Paraíba do Sul (BPS) possui grande importância para a região Sudeste do Brasil. Localizada entre os estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, que concentram 50,1% do PIB brasileiro, a bacia abastece uma região de grande potencial econômico. Além de abranger 184 municípios, com população aproximada de 6,8 milhões de habitantes (CEIVAP, 2021), duas transposições de vazão somando aproximadamente  $125 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  auxiliam no abastecimento das regiões metropolitanas de São Paulo e do Rio de Janeiro. No mais, a bacia possui grande potencial energético,

1) Departamento de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras - MG, Brasil.

2) Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos – SP, Brasil.

3) Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), Cachoeira Paulista – SP, Brasil.

4) Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos – SP, Brasil.

5) Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), São José dos Campos – SP, Brasil.



Campos dos Goytacazes/RJ

com um total de 81 hidrelétricas em operação, sendo 12 delas com potência igual ou superior a 30 MW o que corresponde a uma potência total instalada de 1.148,94 MW.

Devido à forte exploração econômica na bacia, essa perdeu grande parte de sua vegetação natural ao longo dos anos, sendo modificada pela exploração de inúmeras atividades, como a plantação de café, cana de açúcar e pastagem (CEIVAP, 2018). Alguns estudos avaliam que cenários de expansão de culturas como eucalipto (REZENDE et al., 2018) e de arroz (MARTINS et al., 2023), somadas à expansão urbana da região (PAIVA et al., 2020), podem colocar em risco a segurança hídrica da bacia.

Durante a crise hídrica na Região Sudeste entre os anos de 2013 e 2015, os reservatórios do sistema Cantareira ficaram abaixo do nível mínimo operacional, necessitando bombear água do “volume morto” para abastecer a região metropolitana de São Paulo (KELMAN, 2014). Nobre et al., (2016) destacam que uma combinação de fatores, como grande crescimento populacional, tendência de redução da precipitação na região do Sistema Cantareira desde os anos 90 e incidência de maiores temperaturas resultaram na grave crise observada na Região Sudeste entre os anos de 2013 e 2015.

Em vista das alterações climáticas e do crescimento das demandas de água, estudos que buscam antecipar os impactos futuros são essenciais para uma boa gestão dos recursos hídricos. Com isso, o uso de modelos matemáticos para projetar futuros cenários auxiliam na predição dos impactos. No entanto, para simular os processos naturais em modelos deve-se representar as características físicas e hidrológicas da bacia hidrográfica e verificar as condições em que os dados foram coletados.

Visto isso, a proposta deste trabalho foi realizar uma expedição pela bacia do Rio Paraíba do Sul, de modo a conhecer as características da bacia, visitar as estações de monitoramento de nível da água, conhecer o funcionamento hidráulico das UHEs e dos sistemas de bombeamento das estações elevatórias e, por fim, levantar dados de largura do canal ao longo da bacia para representação no modelo de propagação em canais.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1. Área de Estudo**

A bacia do Rio Paraíba do Sul possui aproximadamente 57.000 km<sup>2</sup> de área de drenagem, com elevação de até 2600 metros acima do nível do mar (Figura 1). Seu rio principal nasce no município de Areias – SP e percorre 1400 km até a foz em São João da Barra – RJ. Atualmente, o uso e ocupação

do solo na bacia é composto por florestas (43%), Campos e pastagens (40%) e áreas agrícolas (10%) (CEIVAP, 2020).

O clima na região, segundo a classificação climática Koppen-Geiger, próximo ao estado de São Paulo é temperado, sem estação seca e com verão quente. Já no lado oeste do estado do Rio de Janeiro é temperado, com inverno seco e verão quente e no lado leste do estado é tropical característico de Savana (Beck et al., 2018).

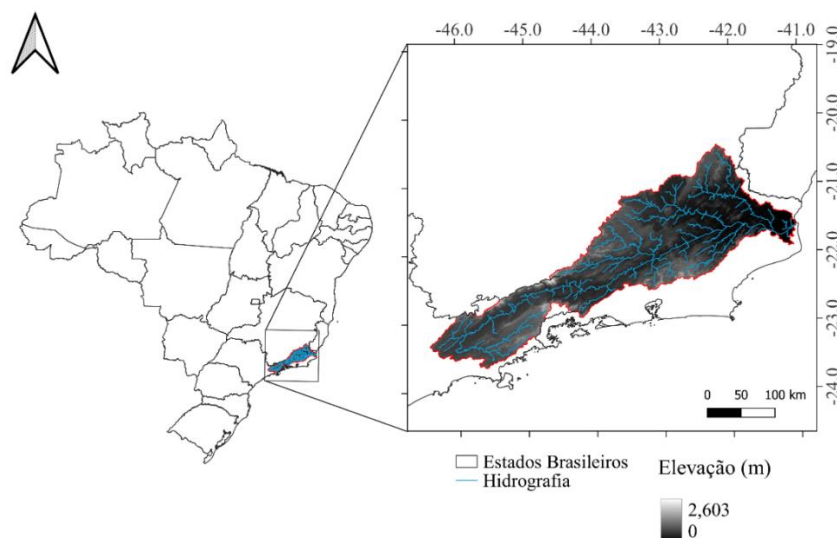


Figura 1. Localização da bacia do Rio Paraíba do Sul, seus principais cursos d'água e modelo digital de elevação (MDE).

## 2.2. Rota da Expedição

A viagem teve início no dia 02 de dezembro de 2022 e se estendeu por 8 dias, até 09 de dezembro de 2022. Para traçar a rota foram consideradas as estações fluviométricas da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) e barramentos de usinas hidrelétricas ou estações elevatórias consideradas na calibração do Modelo Hidrológico Distribuído do INPE, o MHD-INPE (Tabela 1). Durante a expedição utilizou-se um drone DJI Air 2S combo fly more para visualizar o ponto da confluência dos rios Paraíba do Sul, Paraibuna e Piabanha, onde não era possível o acesso.

Durante todo o percurso foram percorridos 2325 km e visitados 53 pontos (Figura 2). A rota se iniciou no município de Guaratinguetá – SP, percorrendo as margens dos rios Paraitinga e Paraibuna até o reservatório da UHE de Paraibuna. A seguir, acompanhou-se o Rio Paraíba do Sul, visitando a estação elevatória do Rio Jaguari. Seguiu-se em direção à foz do Rio Paraíba do Sul até o seu exutório, em São João da Barra - RJ. Ao retornar, seguiu-se o Rio Muriaé e Pomba, até o município de Juiz de



Campos dos Goytacazes/RJ

Fora - MG. No mais, foi visitada a UHE Picada, seguindo pelo Rio do Peixe e o Rio Preto. Por fim, foi visitada a UHE Simplício e seguiu-se pela parte Sul do Rio Paraíba do Sul até o município de Petrópolis - RJ, acompanhando o Rio Piabanha.

Tabela 1. Estações fluviométricas utilizadas na calibração do modelo hidrológico, área de drenagem no ponto de medição, nome do rio e vazão média na série histórica.

Id.	Código	Nome	Área de Drenagem	Rio	Vazão média (m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )
1	58030000	ESTRADA DO CUNHA	796	RIO PARAITINGA	14,17
2	58041000	UHE PARAIBUNA	1920	RIO PARAITINGA	28,99
3	58060000	PONTE ALTA	277	RIO PARAÍBUNA	-
4	58087080	UHE PARAIBUNA	4150	RIO PARAÍBUNA	63,83
5	58095000	UHE SANTA BRANCA	4920	RIO PARAÍBA DO SUL	75,25
6	58117100	UHE JAGUARI	390	RIO JAGUARI	24,01
7	58240080	UHE FUNIL	13400	RIO PARAÍBA DO SUL	208,83
8	58318000	UEL SANTA CECÍLIA	16600	RIO PARAÍBA DO SUL	270,07
9	58630010	UHE ANTA	30645	RIO PARAÍBA DO SUL	163,15
10	58632000	UHE SIMPLÍCIO	33000	RIO PARAÍBA DO SUL	-
11	58652000	UHE ILHA DOS POMBOS	34300	RIO PARAÍBA DO SUL	445,45
12	58680001	ITAOCARA	36600	RIO PARAÍBA DO SUL	-
13	58790002	SANTO ANTÔNIO DE PÁDUA	8210	RIO POMBA	125,27
14	58874000	DOIS RIOS	3120	RIO DOIS RIOS	41,03
15	58974000	CAMPOS DOS GOYTACAZES	55700	RIO PARAÍBA DO SUL	722,25
16	58960000	CARDOSO MOREIRA	7210	RIO MURIAÉ	95,52
17	58940000	ITAPERUNA	5800	RIO MURIAÉ	81,27
18	58512075	UHE PICADA	1702	RIO DO PEIXE	30,41
19	58521080	UHE SOBRAGI	3720	RIO PARAÍBUNA	66,26
20	58585000	MANUEL DUARTE	3110	RIO PRETO	76,93

### 2.3. Análise da Rede Hidrográfica

Em cada ponto visitado (Figura 2) foram feitos registros fotográficos e o levantamento da largura dos trechos de rios considerados importantes para obtenção de uma relação entre a área de drenagem e a largura, considerada no Modelo Hidrológico Distribuído do INPE (MHD-INPE). Essa ferramenta vem sendo utilizada em análises sobre a disponibilidade hídrica da BPS no âmbito do projeto denominado “Cenários climáticos futuros na Bacia do Rio Paraíba do Sul e seus impactos no abastecimento humano e industrial, agricultura e geração de energia” (Processo 428995/2018-7). O modelo representa a bacia por células, onde é calculado o balanço hídrico e o escoamento excedente é propagado considerando a metodologia de Muskingum-Cunge (Negrão et al., 2016).

Os trechos de rios que atravessam cada célula são divididos em seções, caracterizadas em função de propriedades como largura do rio, declividade e vazão do rio. Esses parâmetros são

utilizados nos cálculos dos coeficientes de Muskingum-Cunge, considerados na propagação da onda.

Para delimitar a rede de drenagem da bacia foram utilizados dados de altitude da base Topodata que é mantido pela divisão de sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A ferramenta computacional adotada nessa etapa foi o Terrahidro, que também é desenvolvido pelo INPE.

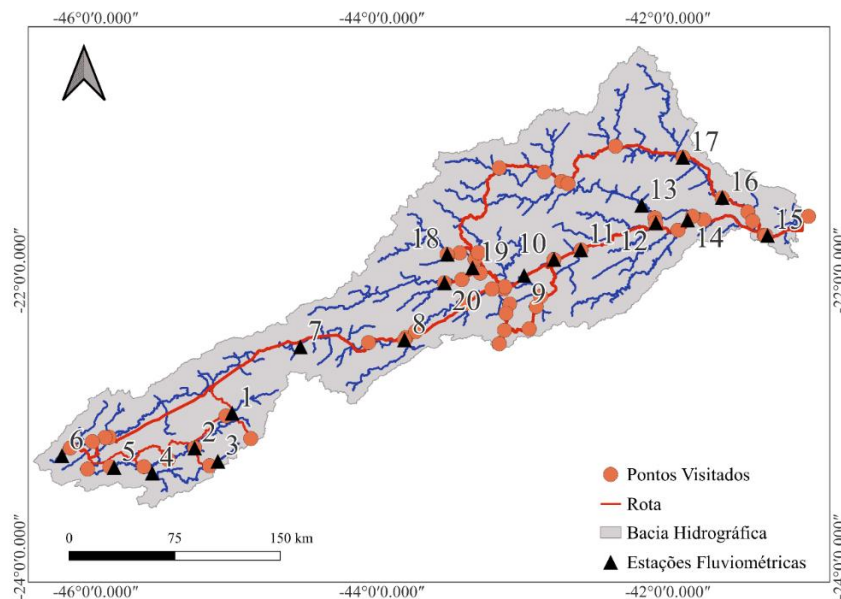


Figura 2. Rota percorrida, pontos visitados com medição da largura do canal e estações fluviométricas utilizadas na calibração do modelo hidrológico.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os primeiros pontos visitados foram os Rios Paraitinga (Figura 3a) e Paraibuna (Figura b), próximos ao município de Cunha-SP e São Luís do Paraitinga-SP. A região é característica por relevos mais acentuados e seção do rio mais encaixada. Nesse trecho da bacia se observa um relevo montanhoso com uma altitude de mais de 700 m acima do nível do mar. A seção do rio Paraibuna se alarga rapidamente, passando de 1,65 m à uma área de drenagem de 12,7 km<sup>2</sup> para 31,2 m em uma área de 354 km<sup>2</sup>, no município de São Luís do Paraitinga - SP.

Campos dos Goytacazes/RJ

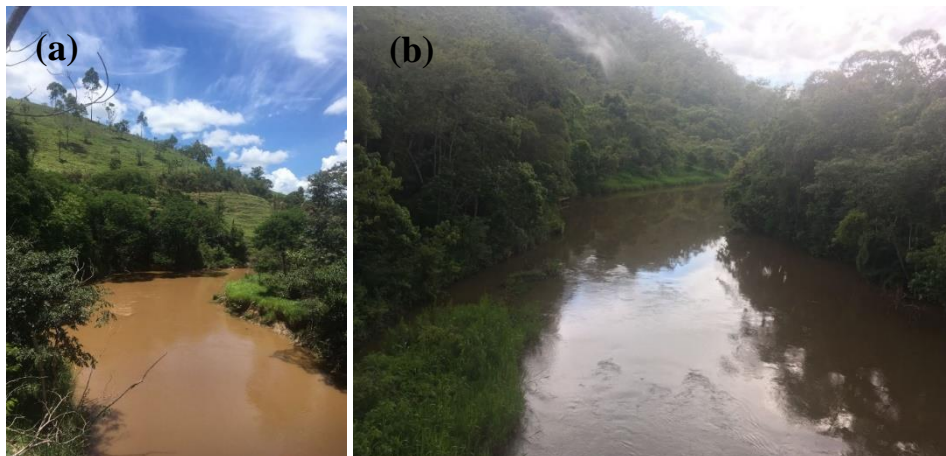


Figura 3. Rio Paraitinga próximo ao município de Cunha-SP (esquerda) e Rio Paraibuna no município de São Luís do Paraitinga-SP (Direita).

No segundo dia de expedição, a viagem continuou ao longo do rio Paraitinga, até as proximidades da barragem da UHE de Paraibuna (87,02 MW). Imediatamente após o vertedor da barragem, agora chamado de Rio Paraíba do Sul, já se observou a influência do reservatório da UHE de Santa Branca (56,05 MW) (Figura a). Após essa barragem, em Jacareí-SP, a seção do rio possui 46,50 m de largura, com uma área de drenagem de 4950 km<sup>2</sup>.

No Reservatório do Jaguari é realizado o desvio de, em média, 5,13 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup> para o Reservatório de Atibainha no Sistema Cantareira. No dia da visita o reservatório estava com apenas 35,23% do seu volume útil, segundo dados da Agência Nacional de Águas (ANA). O baixo volume do reservatório pôde ser facilmente confirmado pela elevada distância entre o nível do vertedor e a superfície da água (**Erro! Fonte de referência não encontrada.b**).



Figura 4. Vertedores do Reservatório da UHE Paraibuna (esquerda) e do Reservatório da elevatória do Jaguari (direita).

Seguindo pelo Rio Paraíba do Sul, na porção da bacia localizada no Estado do Rio de Janeiro, no município de Volta Redonda-RJ a seção verificada do rio Paraíba do Sul era de 119,3 m e área de drenagem de 16.061 km<sup>2</sup>. É interessante destacar que em muitas das cidades visitadas nesse estado se constatou uma maior ação antrópica no uso e ocupação do solo na calha do rio.

Na estação elevatória de Santa Cecília (Figura a) se desvia uma vazão de 119 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> para a bacia do rio Guandú, fundamental para garantir a segurança hídrica e energética dessa região. A seguir, em uma distância de 2 km<sup>2</sup>, o rio Paraíba do Sul recebe contribuição do Rio Piraí, que possui área de drenagem de aproximadamente 1.081km<sup>2</sup>. Após a transposição foi observada uma redução significativa da seção do rio Paraíba do Sul, sendo a largura do rio no município de Vassouras-RJ de apenas 64,4 m (17.840 km<sup>2</sup>) (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**b).



Figura 5. Barramento da estação elevatória Santa Cecília (esquerda) e seção do rio após a transposição (direita).

Na cidade de Três Rios o rio recupera o seu volume devido a junção com as redes de drenagem dos rios Piabanha e Paraibuna. Após a confluência em Três Rios (Figura ) foi observada novamente a redução da vazão do rio Paraíba do Sul, mas dessa vez, influenciada pela operação do complexo hidrelétrico constituído pelas usinas de Anta e Simplício (333,7 MW). Na primeira usina, localizada na cidade de Anta-RJ, parte da água do rio Paraíba do Sul é desviada uma vazão máxima de 340 m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>, que aproveita um desnível de 115 m ao longo de 30 km para produção de energia na UHE Simplício, nas proximidades da cidade de Além Paraíba-MG. Após essa cidade também existe o aproveitamento hidrelétrico na UHE Ilha dos Pombos (187,17 MW).



Campos dos Goytacazes/RJ



Figura 6. Confluência de três rios capturada com drone.

O exutório da bacia fica localizado na cidade de São João da Barra - RJ, onde o avanço da duna de areia afetou vários imóveis, sendo necessária a interdição da área pela defesa civil. Devido à baixa vazão do rio pelo grande volume de água retirada, principalmente nos períodos de estiagem, e ao assoreamento do canal do Rio Paraíba do Sul, o rio não consegue manter a sua foz larga e profunda, prejudicando a passagem de embarcações.

Por fim, as medidas de larguras dos rios obtidas durante a expedição foram associadas com as áreas de drenagem. Uma função quadrática foi ajustada para ser representada no modelo hidrológico, de modo a caracterizar matematicamente o comportamento das redes de drenagem da bacia estudada (Figura 7a). Os pontos localizados logo após a elevação Santa Cecília no Rio Paraíba do Sul foram descartados, pois a vazão retirada do rio ( $119 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) afeta diretamente na largura do canal (em vermelho na figura 7a). Destaca-se que um trecho do canal que passa pelo município São Fidélis – RJ apresenta largura superior às demais (424 m), também descartado. No trecho foram observadas muitas ilhas com sedimentos e rochas depositadas no fundo do leito, o que pode explicar esta diferença. A formação de ilhas com sedimentos foi observada em muitos trechos do Rio Paraíba do Sul, também em locais onde estão instaladas estações fluviométricas de medição do nível da água. No mais, todo o trecho do rio após a estação elevatória é influenciado pela transposição e, portanto, a estimativa da relação área acumulada x largura necessita cautela.

Na Figura 7b se encontra a relação da área de drenagem na bacia com a vazão média medida na série histórica. Os resultados indicam a variação da vazão média após a elevatória de Santa Cecília (aproximadamente  $16.600 \text{ km}^2$ ), principalmente no reservatório da UHE Anta (aproximadamente  $30.600 \text{ km}^2$ ). No entanto, a barragem de Anta é recente (2013) e sua série histórica de vazão se inicia



em 2008. Assim, a vazão média medida sofre forte influência do período seco observado entre os anos de 2010 e 2015.

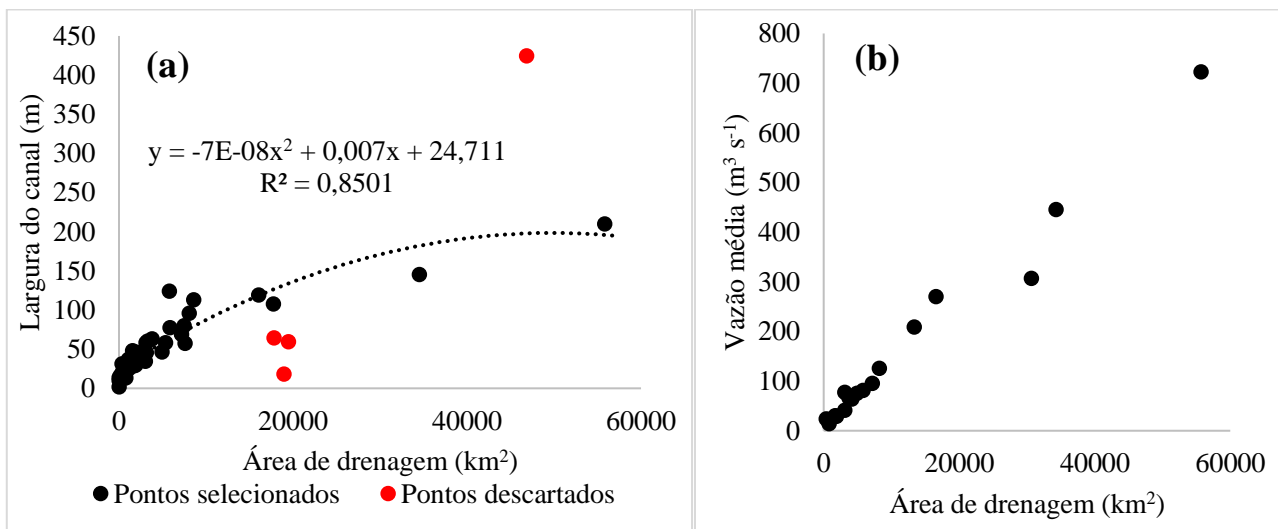


Figura 7. Relação entre Área de Drenagem com a Largura do Rio (esquerda) e com a vazão média (direita). Pontos em vermelho se referem a medições descartadas localizadas à jusante da elevatória de Santa Cecília e em local com presença de ilhas.

#### 4. CONCLUSÃO

A expedição pela bacia do Rio Paraíba do Sul possibilitou conhecer a complexidade dos múltiplos usos demandados pela bacia, bem como levantar as características físicas dos canais e observar as seções onde são coletados os dados de nível da água, que são informações importantes para a sua representação no modelo hidrológico.

Devido às transposições, o desvio do curso d'água principal e o grande número de barragens, a relação da área de drenagem com a largura do canal é complexa e necessita ser representada com cautela. As mudanças de uso e ocupação do solo, que intensificam o assoreamento, e o manejo do canal pelos municípios, como limpeza do fundo e construções nas laterais, possivelmente modificaram as seções do rio ao longo dos anos. Essa condição não somente prejudica a representação da largura do canal, mas, principalmente, na representação da curva-chave no trecho.

Portanto, a expedição possibilitou a compreender alterações necessárias para a representação do modelo e despertou a necessidade em revisar as curvas-chave de alguns pontos de monitoramento, de modo a considerar as alterações sofridas.



Campos dos Goytacazes/RJ

**AGRADECIMENTOS:** Este trabalho recebeu financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico CNPq (Processo 428995/2018-7).

## REFERÊNCIAS

- ANEEL. *SIGA - Sistema de Informações de Geração da ANEEL*. Disponível em: <<https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/siga-sistema-de-informacoes-de-geracao-da-aneel>>. Acesso em: 26 set. 2021.
- Beck, H. E. et al. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data*, v. 5, n. 1, p. 180214, 30 out. 2018.
- CEIVAP. (2018). *Produto Parcial 02: Consolidação do Diagnóstico e Prognóstico e Versão Preliminar do Banco de Dados - TOMO I*. [http://18.229.168.129:8080/publicacoesArquivos/ceivap/arq\\_pubMidia\\_Processo\\_030-2018\\_AGVP\\_PS\\_PIRH-Atualizacao\\_TOMO\\_I\\_R03\\_2.pdf](http://18.229.168.129:8080/publicacoesArquivos/ceivap/arq_pubMidia_Processo_030-2018_AGVP_PS_PIRH-Atualizacao_TOMO_I_R03_2.pdf)
- CEIVAP. (2020). *Relatório de Situação da Bacia do Paraíba do Sul 2020*. <https://www.ceivap.org.br/conteudo/relsituacao2020.pdf>
- Negrão, A. C., Camargo, C. P., Rodriguez, D. A., Giornes, E. de O., Pinto, G. L. N., Tomasella, J., José Lázaro, S. J., Lopes, L. G., & Prado, M. C. R. (2016). *Modelo Hidrológico Distribuído MHD-INPE: Manual de Implementação*. <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3LD4EQ8>
- Kelman, J. Water Supply to the Two Largest Brazilian Metropolitan Regions. *Aquatic Procedia*, At the Confluence Selection from the 2014 World Water Week in Stockholm. v. 5, p. 13–21, 1 out. 2015.
- Martins, M. A. et al. On the sustainability of paddy rice cultivation in the Paraíba do Sul river basin (Brazil) under a changing climate. *Journal of Cleaner Production*, v. 386, p. 135760, 1 fev. 2023.
- Nobre, C. A., Marengo, J. A., Seluchi, M. E., Cuartas, L. A., & Alves, L. M. (2016). Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. *Journal of Water Resource and Protection*, 08(02), 252–262. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2016.82022>
- Paiva, A. C. DA E. et al. Urban expansion and its impact on water security: The case of the Paraíba do Sul River Basin, São Paulo, Brazil. *Science of The Total Environment*, v. 720, p. 137509, 10 jun. 2020.
- Rezende, F. S. DE et al. Spatial and Temporal Changes in the Land Use and Cover of the Paraíba Valley in São Paulo, Brazil: Development of Future Scenarios. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 11, n. 5, p. 1732–1747, 2018.