



Campos dos Goytacazes/RJ

ANÁLISE DE TENDÊNCIA EM SÉRIES HISTÓRICAS DE VAZÕES NA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL

*Paula Roberta Souza Carvalho¹; Matheus Bertolino Motta²; Welson de Avelar Filho³ & Celso
Bandeira de Melo Ribeiro⁴*

RESUMO – O presente estudo teve como objetivo analisar as séries históricas de vazões na bacia do rio Paraíba do Sul – que abrange importantes regiões industriais nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais – no período de 2000 a 2020 com a intenção de dar continuidade ao estudo realizado por Marengo e Alves (2005) que analisaram as tendências hidrológicas na região durante o período de 1920 a 2000. O teste de Mann-Kendall foi aplicado para identificar as tendências hidrológicas e as estações fluviométricas estudadas, assim como o estudo de Marengo e Alves, apresentaram tendências negativas nas vazões estatisticamente significativas a 5%, com exceção das estações fluviométricas localizadas nos municípios de Pindamonhangaba e Guaratinguetá. Assim, a regulação do uso da água para múltiplos usos como consumo humano, geração de energia e irrigação podem estar causando grandes impactos na diminuição das vazões, podendo ocasionar consequências sociais e econômicas graves.

ABSTRACT– The present study aimed to analyze the historical series of flow in the Paraíba do Sul river basin – which covers important industrial regions in the states of São Paulo, Rio de Janeiro and Minas Gerais – in the period from 2000 to 2020 with the intention of continuing to the study carried out by Marengo and Alves (2005) who analyzed the hydrological trends in the region during the period from 1920 to 2000. The Mann-Kendall test was applied to identify hydrological trends and the fluviometric stations studied, as well as the study by Marengo and Alves, which showed negative trends in flows that were statistically significant at 5%, with the exception of the fluviometric stations located in the municipalities of Pindamonhangaba and Guaratinguetá. Thus, the regulation of water use for multiple uses such as human consumption, energy generation and irrigation may be causing major impacts in the reduction of flows which may lead to serious social and economical consequences.

Palavras-Chave – Série temporal; vazão; Mann-Kendall.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul (BHPS) constitui-se como uma unidade de alta relevância à sua região, uma vez que passa por três estados do Sudeste abrangendo alto contingente

1) Universidade Federal de Juiz de Fora: Rua José Lourenço Kelmer, s/n - São Pedro - Juiz de Fora/MG, paula.carvalho@engenharia.ufjf.br

2) Universidade Federal de Juiz de Fora: Rua José Lourenço Kelmer, s/n - São Pedro - Juiz de Fora/MG, matheus.motta@engenharia.ufjf.br

3) Universidade Federal de Juiz de Fora: Rua José Lourenço Kelmer, s/n - São Pedro - Juiz de Fora/MG, w.filho@ice.ufjf.br

4) Universidade Federal de Juiz de Fora: Rua José Lourenço Kelmer, s/n - São Pedro - Juiz de Fora/MG, celso.bandeira@ufjf.br



Campos dos Goytacazes/RJ

populacional e importância econômica (COUTINHO, 2018). A bacia engloba um total de 184 cidades em Minas Gerais – 88 dessas –, Rio de Janeiro – 57 dessas – e São Paulo – com os 39 municípios restantes (SANTOS, 2018).

Por conta de uma altíssima demanda demográfica, um dos problemas mais recorrentes está na dificuldade da manutenção do abastecimento de água, visto que a exigência é cada vez maior para o consumo humano, geração de energia, agricultura entre tantas outras (SANTOS & CAVICHIOLI, 2019). A compreensão das variáveis hidrológicas como a vazão, por exemplo, tem sido muito estudada por conta de sua importância econômica e ambiental. Existe uma relação direta desta variável com diversos usos possíveis da água como consumo humano, dessedentação animal, irrigação, entre outros (SANTOS *et al.*, 2016).

Nesse contexto, podemos visualizar outra grande importância da BHPS, uma vez que os estados por ela banhados são muito dependentes. O Rio de Janeiro demanda, aproximadamente, 66% da água da bacia, seguido por 24% de São Paulo e 10% de Minas Gerais (SANTOS *et al.*, 2018). A bacia do Paraíba do Sul possui um sistema hidráulico complexo com quatro grandes reservatórios e também uma transposição de água – direcionada para a bacia do Guandu, que abastece a capital fluminense (COSTA *et al.*, 2018).

Tendo em vista a alta importância do Bacia do rio Paraíba do Sul, vários estudos buscaram entender o seu comportamento – seja ele associado a fatores físicos, de qualidade da água ou até mesmo sociais –, levando em consideração sua evolução natural com o tempo e também suas modificações mais drásticas. Considerando toda sua extensão, temos estudos de Ferreira *et al.* (2017) – avaliaram a concessão de outorgas para o lançamento de efluentes –, Orosco (2018) – análise dos conflitos gerados na bacia associados ao uso dos recursos hídricos –, Costa *et al.* (2018) – análise de precipitação dentro dos limites da bacia durante os anos de 2014 a 2017 –, Santos *et al.* (2018) – avaliação da capacidade do reuso de efluentes em estações de tratamento de esgoto instaladas na BHPS –, Capozzoli *et al.* (2018) – estudaram as secas hidrológicas e as relações com eventos extremos – e Coutinho *et al.* (2021) – pesquisaram as áreas de inundação da BHPS – como exemplos de diferentes temáticas avaliadas por pesquisadores.

Conforme a importância exposta pela alta demografia e uso econômico salientada pela diversidade de temas estudados por pesquisadores, o conhecimento acerca dos dados fluviais e pluviiais é muito importante para o direcionamento das tomadas de decisão. Este fato constitui-se



Campos dos Goytacazes/RJ

ainda como uma das diretrizes gerais de ação para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), uma vez que o conhecimento do regime hidrológico – e suas variações espaço-temporais – é fundamental ao desenvolvimento de ações de planejamento (MOREIRA *et al.*, 2013).

Uma maneira de formar este conhecimento está na coleta de dados relativos à vazão e chuva por meio da utilização de estações de monitoramento fluviométricas e pluviométricas. Uma rede de dados hidrológicos constitui um conjunto de atividades desde a coleta até o processamento de dados, seguindo uma planificação anterior que visa atender a um objetivo – ou conjunto deles – previamente definido (GALVÃO & MENESES, 2005).

Como uma bacia hidrográfica apresenta uma variação espacial considerável das variáveis, idealmente as estações de monitoramento devem ser bem distribuídas sobre a região (GALVÃO & MENESES, 2005). O uso destas em forma de rede em uma bacia é potencialmente suficiente para geração de dados que atendam as mais diversas finalidades, embora a locação das estações, historicamente, não tenha seguido métodos científicos e várias unidades não apresentem o funcionamento adequado (MOREIRA *et al.*, 2013).

Diversos estudos, não só na bacia do Paraíba do Sul, mas por todo o Brasil buscaram avaliar a presença – e os dados qualitativos e quantitativos – de estações meteorológicas com outros parâmetros ambientais, a fim de estabelecer relações utilizadas no embasamento de pesquisas.

Santos *et al.* (2018) utilizaram estações meteorológicas com objetivo de identificar se as vazões máximas anuais diárias da bacia do rio Pardo apresentam comportamento não estacionário.

Na bacia do Paraíba do Sul, objeto de estudo do presente trabalho, Marengo e Alves (2005) analisaram séries de chuva e vazão em vários postos hidrometeorológicos desde 1920 visando identificar tendências e, possivelmente, associar a mudanças observadas nas vazões do rio Paraíba do Sul.

Dessa maneira, é facilmente observada a importância de se conhecer bem os dados hidrológicos da bacia visando a melhor forma de se embasar políticas públicas presentes e futuras, além de poder embasar teoricamente uma gama de novos estudos e projeções acerca desta tão importante bacia.

Sendo assim, o presente trabalho busca contribuir com a temática realizando uma análise das séries temporais de vazões no período de 2000 a 2020 na bacia do rio Paraíba do Sul, com o objetivo de identificar tendências hidrológicas.



Campos dos Goytacazes/RJ

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

A bacia do Rio Paraíba do Sul, em sua totalidade, é a segunda mais povoada de todo Brasil, com altíssima diversidade de atividades econômicas e grande parque industrial. A mesma possui cerca de 56 mil km² divididos com 22,73% no estado paulista, 43,51% no estado fluminense e os restantes 33,76% em Minas Gerais (ANA, 2022; SANTOS & CAVICHIOLI, 2019). A bacia estende-se por 1.550 km, desde sua nascente – união dos rios Paraibuna e Paraitinga, na Serra da Bocaina – até sua foz na cidade carioca de São João da Barra (OROSCO, 2018).

Os principais afluentes do rio Paraíba do Sul pela margem esquerda são: rio Jaguari, rio Paraibuna, rio Pomba e rio Muriaé. Enquanto pela margem direita, os principais afluentes são: rio Pirai, rio Piabanha e rio Dois Rios (ANA, 2022).

A bacia apresenta clima subtropical quente e a temperatura média anual varia entre 18 e 24°C. A precipitação mínima é de 50 mm nos meses mais secos, chegando a 250 mm/mês nos meses com mais precipitações (MARENGO & ALVES, 2005).

A bacia possui um uso e cobertura do solo bem característico de ocupação antrópica. Segundo o MapBiomias (2021), no ano passado, a agropecuária representava 67,79% do território da bacia do Paraíba do Sul, seguida pela floresta com 28,13%. A área não vegetada representava 2,03%, os corpos d'água, por sua vez, correspondiam a 1,07% e a formação natural não florestal representava apenas 0,98% da área da bacia.

Coleta de dados

No presente estudo, utilizou-se as médias mensais de vazão do banco de dados do Sistema Nacional de Recursos Hídricos – SNIRH – disponibilizado pela Agência Nacional das Águas – ANA – no período de 2000-2020. A escolha desse período se deve ao fato de Marengo e Alves (2005) já terem realizado um estudo de tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul para o período de 1920-2000. Assim, esse estudo pretende dar continuidade a análise de tendências hidrológicas na



Campos dos Goytacazes/RJ

bacia, comparando com o estudo realizado por Marengo e Alves (2005) no período de 1920-2000, sendo utilizado os dados das estações fluviométricas localizadas nos mesmos municípios analisados pelos autores citados.

Teste estatístico

Para a validação dos resultados encontrados, aplicou-se o teste não-paramétrico de Mann-Kendall no software ProUCL 5.2 desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. Esse teste é bastante utilizado para identificar tendências em séries temporais a um determinado nível de significância. Os resultados com valores positivos indicam tendências crescente. Por sua vez, os valores negativos correspondem a tendências decrescentes. No presente trabalho, utilizou-se o nível de significância de 5%.

Assim, as etapas para a análise das séries temporais de vazão utilizado na bacia do rio Paraíba do Sul são exemplificadas no fluxograma da Figura 1.

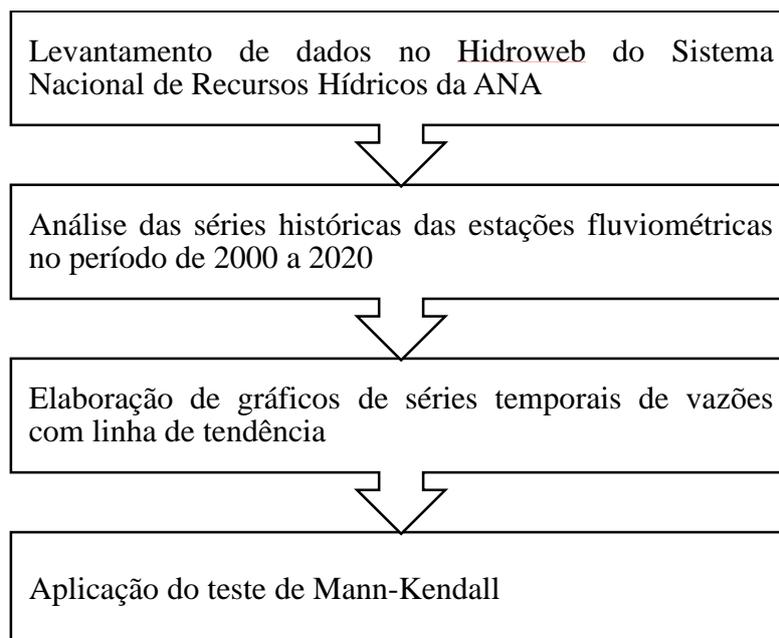


Figura 1 – Fluxograma das etapas realizadas para análise de series temporais de vazão



Campos dos Goytacazes/RJ

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Segundo a ANA (2022), na bacia do Paraíba do Sul 450 estações fluviométricas estão em operação e 394 desativadas, totalizando dados de 844 estações fluviométricas. Algumas dessas estações possuem poucos dados por serem recentes. Enquanto outras não possuem dados atuais por não estarem mais em operação, o que acaba dificultando identificar tendências hidrológicas baseadas apenas em vazões. Assim, foram escolhidas – dentre as estudadas por Marengo e Alves (2005) - as estações nos mesmos municípios que não possuíam falhas no período analisado (2000-2020).

É importante ressaltar que as vazões fluviais, de maneira geral, têm uma grande variabilidade sazonal. Entretanto, no Vale do Paraíba, as vazões costumam ter regularidade devido aos reservatórios de cabeceira dos rios Paraitinga/Paraibuna e Jaguari (MARENGO & ALVES, 2005). Essa região apresenta um processo de industrialização e urbanização acelerado, o que acaba ocasionando uma degradação ambiental.

A bacia possui reservatórios, com aproveitamento de usos múltiplos da água com a finalidade de regularizar vazões, controlar as cheias e, ainda, gerar energia elétrica. Os maiores volumes de regularização de vazões são encontrados nos reservatórios Paraibuna/Paraitinga e Jaguari, garantindo o abastecimento da região metropolitana do Rio de Janeiro (ANA, 2022).

A Figura 2 apresenta as séries mensais durante o período de 2000 a 2020 de algumas estações fluviométricas da bacia do Paraíba do Sul localizadas no estado de São Paulo e Rio de Janeiro, mais especificamente, nos municípios de Queluz (código da estação 58235100), Cardoso Moreira (código da estação 58960000), Resende (código da estação 58530000), Cachoeira Paulista (código da estação 58220000), Pindamonhangaba (código da estação 58183000), Guaratinguetá (código da estação 58204000) e Paraíba do Sul (código da estação 58380001). De maneira geral, observa-se tendências negativas nas séries temporais das estações fluviométricas analisadas.

Pode-se observar ainda na Figura 2 que as estações fluviométricas escolhidas para o estudo apresentam, de forma geral, os valores mais altos da vazão em relação à média de longo termo entre os de 2009 a 2011. Por sua vez, os valores mais baixos foram encontrados nos anos de 2003-2004 e 2015-2016.

É importante ressaltar entre os anos de 2001 a 2004, as chuvas nas cabeceiras do Paraíba do Sul foram abaixo da média de longo termo, fazendo com que o volume útil dos principais reservatórios

hidroenergéticos chegassem a 15% na região sudeste (MARENGO & ALVES, 2005). Ademais, no ano de 2015, houve um período de seca extrema que fez com que o nível dos reservatórios da bacia do Paraíba do Sul chegasse a menos de 0,50% (ANA, 2022).

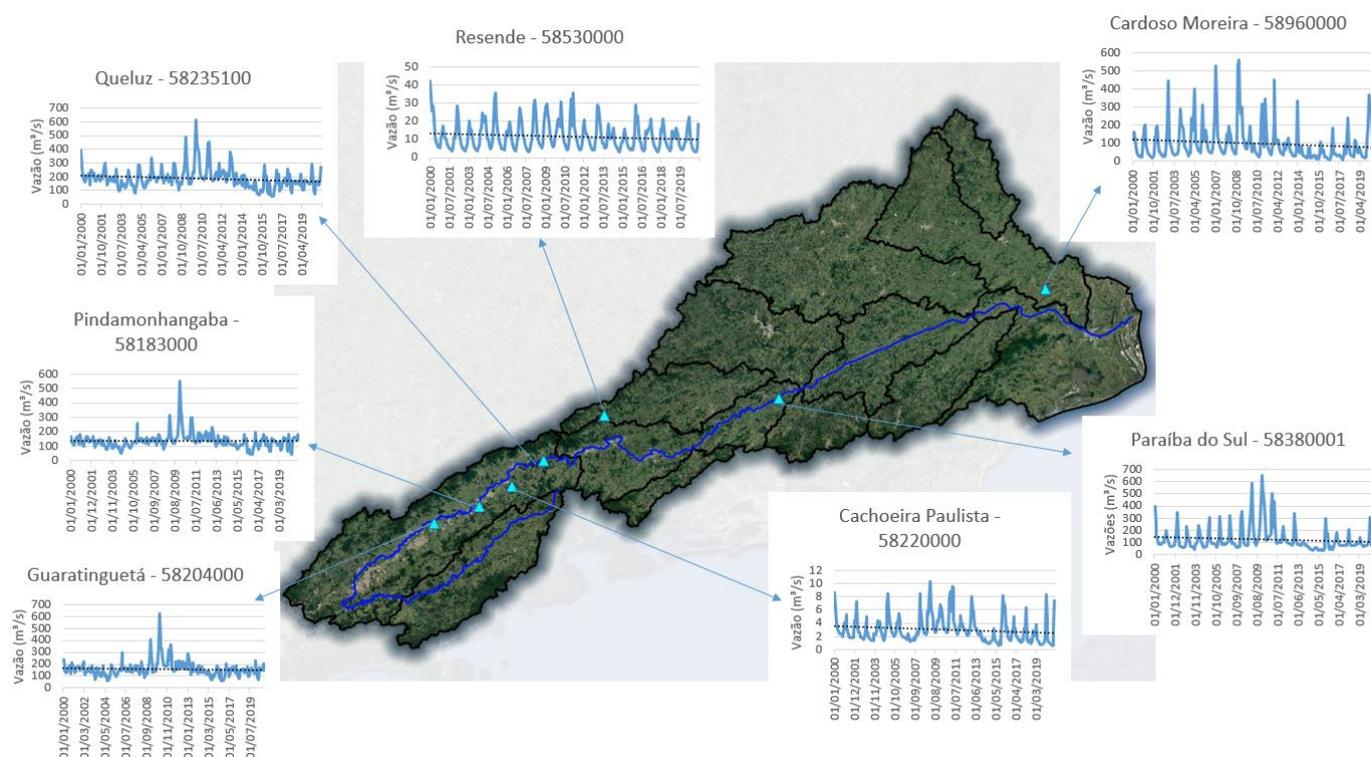


Figura 2 – Série temporal das vazões nas estações fluviométricas da bacia do rio Paraíba do Sul localizadas nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro durante o período 2000 a 2020 e a tendência linear das vazões indicada pela linha pontilhada

A Tabela 1 mostra as tendências negativas que foram detectadas nas séries temporais da Figura 2. Aplicou-se o Teste de Mann-Kendall nas séries temporais das estações fluviométricos estudadas e esse teste apontou a presença de uma tendência decrescente estatisticamente significativa a 5%, com exceção das estações fluviométricas localizadas nos municípios de Pindamonhangaba e Guaratinguetá.



Campos dos Goytacazes/RJ

Tabela 1 – Análise de tendências de vazões utilizando o Teste Man-Kendall com nível de significância a 5% para as estações fluviométricas da bacia do rio Paraíba do Sul durante o período de 2000 a 2020

ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA	PARÂMETRO DE MANN-KENDALL	SIGNIFICÂNCIA ESTATÍSTICA
Queluz	-0,1965	SIGNIFICATIVA
Cardoso Moreira	-0,1782	SIGNIFICATIVA
Resende	-0,0132	SIGNIFICATIVA
Cachoeira Paulista	-0,0042	SIGNIFICATIVA
Pindamonhangaba	-0,0216	NÃO SIGNIFICATIVA
Guaratinguetá	-0,0618	NÃO SIGNIFICATIVA
Paraíba do Sul	-0,1596	SIGNIFICATIVA

CONCLUSÃO

Os dados das estações fluviométricas da bacia do rio Paraíba do Sul foram analisados no período de 2000 a 2020 com o objetivo de verificar a tendência das vazões observadas. Durante esses 20 anos, houve períodos de seca extrema como no ano de 2015, fazendo com que o volume útil dos quatros principais reservatórios da bacia chegasse a menor capacidade em 84 anos.

O estudo realizado, de maneira geral, ao aplicar o Teste Mann-Kendall mostrou uma tendência negativa estatisticamente significativa a 5% nas vazões da maior parte das estações fluviométricas analisada, corroborando a tendência decrescente encontrada no estudo de Marengo e Alves para o período de 1920 a 2000 na mesma região.

Marengo e Alves (2005) analisaram ainda séries históricas de precipitações e não observaram tendências decrescentes a longo prazo, indicando que a diminuição das vazões possivelmente está relacionada as ações antrópicas, tais como: uso da água para abastecimento e geração de energia, desvios de rios para a irrigação, alterações no uso e cobertura do solo e mudanças no canal do rio ocasionados pela sedimentação.

Assim, considerando a importância política, social e econômica da bacia do Paraíba do Sul, deve-se mobilizar ações por parte do Governo, das empresas e da sociedade a fim de que não haja crise hidrológica nos próximos anos, uma vez que o abastecimento de água para consumo humano e industrial e a geração de energia elétrica dependem das vazões dos rios.



Campos dos Goytacazes/RJ

REFERÊNCIAS

a) Artigo em revista

COUTINHO, Marcos Pellegrini et al. “Áreas de inundação no trecho paulista da bacia do Rio Paraíba do Sul e nascentes do Cadastro Ambiental Rural”. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 10, p. 614-623, 2018.

MARENGO, José A.; ALVES, Lincoln Muniz. “Tendências hidrológicas da bacia do rio Paraíba do Sul”. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 20, n. 2, p. 215-226, 2005.

SANTOS, C. A. et al. “Análise estatística da não estacionariedade de séries temporais de vazão máxima anual diária na bacia hidrográfica do rio Pardo”. Holos, v. 7, p. 179-193, 2016.

SANTOS, Ana Silvia Pereira et al. “Capacidade de reuso de efluentes de Estações de Tratamento de Esgoto na Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul”. Semioses, v. 12, n. 3, p. 16-33, 2018.

b) Artigo em anais de congresso ou simpósio

CAPOZZOLI, Caluan Rodrigues et al. “Avaliação de eventos de secas hidrológicas na Bacia do Rio Paraíba Do Sul” in Anais do III Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Paraíba do Sul – Universidade de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2018.

COSTA, Larissa Ferreira et al. “Análise da precipitação da bacia do rio Paraíba do Sul com enfoque nos anos de 2014 a 2017” in Anais do III Simpósio de Recursos Hídricos da Bacia do Paraíba do Sul – Universidade de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2018.

FERREIRA, Cristine Nunes et al. “Análise da concessão de Outorgas de Lançamentos de Efluentes no Rio Paraíba do Sul através do estudo das concentrações da Demanda Bioquímica de Oxigênio e Oxigênio Dissolvido” in Anais do VII ENFEPro - Encontro Fluminense de Engenharia de Produção, editora SFEPPro - Sociedade Fluminense de Engenharia de Produção, Nova Iguaçu, Nov. 2017.

GALVÃO, Wougran Soares; MENESES, Paulo Roberto. “Geração de mapa de potencial à alocação de estações na bacia do rio São Francisco como um produto estratégico de apoio às ações de planejamento de redes fluviométricas, através do uso e do classificador neural supervisionado” in Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto, v. 12, 2005.

MOREIRA, Michel Castro; DOS SANTOS, F. D.; SILVA, D. D. “Inventário Digital Das Estações Fluviométricas e Pluviométricas da Bacia Do Rio Grande” in Anais do Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, v. 7, 2013.

OROSCO, Rebeca Tricarico. “Conflitos na gestão de recursos hídricos no Brasil: o caso da interligação Jaguari-Atibainha na bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul” in Anais do III



Campos dos Goytacazes/RJ

Simposio de Recursos Hídricos da Bacia do Paraíba do Sul – Universidade de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2018.

SANTOS, D. S.; CAVICHIOLI, F. A. “*Bacias Hidrográficas, sua importância como recurso natural*” in Anais do SIMTEC - Simposio de Tecnologia da Fatec Taquaritinga, v. 5, n. 1, p. 417-426, 22 dez. 2019.

c) Sites de instituições

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. “*Hidrografia da bacia Paraíba do Sul*”. Disponível em: <http://gripbsul.ana.gov.br/Hidrografia.htm>. Acesso em 15 dez. 2022.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. “*Hidroweb – Séries Históricas*”. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 12 dez. 2022.

MAPBIOMAS – “*Coleção versão 7.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil*”, acessado em 18 dez. 2022 através do link: <https://mapbiomas.org/>.