RELAÇÃO ENTRE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS E QUALIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL EM UM RIBEIRÃO NO MUNICÍPIO DE PIRASSUNUNGA - SP.

Leonardo Pinto de Magalhães[1]
Pós-doutorando no Centro de Pesquisa Aplicada em Sustentabilidade Hídrica e Gestão de Recursos Ambientais - FZEA/USP; Doutor em Engenharia de Sistemas Agrícolas - ESALQ/USP; Engenheiro de Biossistemas – FZEA/USP.
Luana Maria Schneider[1]
Graduanda em Engenharia de Biossistemas FZEA/USP.
Aldo Ivan Cespedes Arce[1]
Especialista de Laboratório FZEA/USP; Mestre em Zootecnia - FZEA/USP; Graduação em Curso de Formação de Oficiais Aviadores - AFA/Brasil.
Ana Carolina De Sousa Silva[1]
Profa. Dra. na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - FZEA/USP; Doutorado em Zootecnia - FZEA/USP; Física - IFSC/USP.
Ernane José Xavier Costa[1]
Prof. Dr. na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - FZEA/USP; Doutorado em Engenharia Elétrica - Poli/USP; Física - UFV.

Endereço[1]**:** Av. Duque de Caxias Norte, 225 - Jardim Elite, no Campus Fernando Costa, em Pirassununga - São Paulo, Brasil, CEP: 13635-900, telefone: 19 3565-4200 - email: leonardo.magalhaes@alumni.usp.br.

RESUMO

Parâmetros de qualidade da água são influenciados por variações de diferentes dados meteorológicos. Avaliar como essa influência ocorre, através da avaliação da relação entre os dados, pode servir como indicativo indireto da mensuração da qualidade da água. Essa medição indireta, utilizando dados meteorológicos, é mais rápida e menos custosa do que a necessidade de envio das amostras para serem analisadas em um laboratório, por exemplo. Sendo assim, o presente trabalho teve por objetivo estudar a relação entre dados meteorológicos e parâmetros de qualidade da água de um ribeirão no município de Pirassununga. O ribeirão do Roque, aqui avaliado, possui importância para o município por se tratar de uma das fontes de abastecimento da cidade. Os dados de Carbono Orgânico Dissolvido, Cobre Dissolvido, Cobre Total, Ferro Dissolvido, Leitura da Régua (m), Oxigênio Dissolvido, Temperatura da Água e Vazão (m3/s) tiveram correlação significativa com dados meteorológicos, o que indica que os mesmos podem ser obtidos através da modelagem com redes neurais desses dados (próximo passo da pesquisa). Aqui é apresentada também uma plataforma de divulgação da base de dados criada, a partir de outras duas, para servir de apoio ao monitoramento da qualidade da água nesse ribeirão.

PALAVRAS-CHAVE: Pluviometria, base de dados, captação de água**.**

INTRODUÇÃO

O Ribeirão do Roque, ou também Rio do Roque, é um corpo d'água que percorre diferentes municípios e é uma das fontes de abastecimento de água para o Município de Pirassununga (PIRASSUNUNGA, 2026). De acordo com Berlanda et al. (2021), o monitoramento desse tipo de água superficial é importante, pois obter dados sobre o ambiente da bacia hidrográfica auxilia na tomada de ações que resultem em uma gestão sustentável dos recursos naturais, preservando os mananciais e indicando as técnicas mais adequadas de tratamento da água de forma adaptada à realidade local.

Diversos parâmetros podem ser utilizados para avaliar a qualidade das águas superficiais, destes podem ser citados: turbidez, cor, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, entre outros (MORAES et al., 2020). Para realizar essas avaliações, os órgãos de saneamento geralmente coletam amostras de água da fonte de interesse, essas

amostras são, então, transportadas para laboratórios onde são realizadas análises completas (SIERRA-PORTA, 2024). Esse processo demanda tempo, custos laboratoriais e não é processado em tempo real.

A qualidade da água pode ser influenciada tanto por questões que ocorrem naturalmente, devido às características da bacia hidrográfica, como também pelas atividades humanas nesse local (FERREIRA et al., 2018). Diferentes parâmetros de qualidade da água superficial podem variar com condições ambientais como a radiação solar, precipitação ou temperatura (DELPLA et al., 2009). Pompei et al. (2020) apontam, por exemplo, que uma menor taxa de precipitação resulta em menores escoamentos em corpos de água e, assim, menor diluição. Tal fato, causa valores maiores de concentrações em pontos abaixo, no corpo d'água, de locais com descargas pontuais de águas residuais.

Essas condições ambientais podem influenciar, e assim afetar, os esforços para melhorar os padrões de qualidade da água ou atender às normas que regulam o tratamento da água (WHITEHEAD et al., 2009). Essa influência pode, em alguns casos, não resultar em consequências prejudiciais, mas algumas mudanças no clima podem modificar a qualidade da água coletada, e assim dos reservatórios, alterando a qualidade do abastecimento de água (MUJERE E MOYCE, 2017).

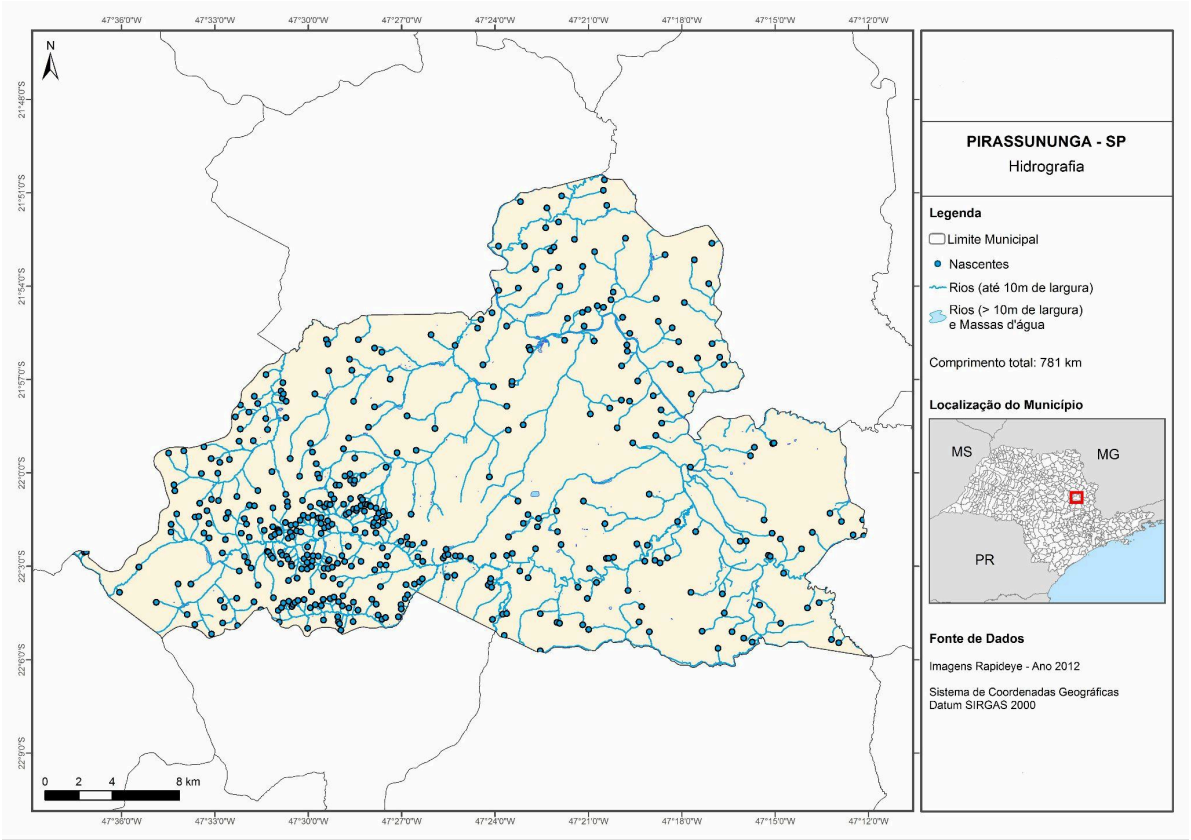
OBJETIVOS

Tendo esse contexto em vista, o presente trabalho procurou estabelecer quais condições ambientais se relacionam com aspectos de qualidade da água do Ribeirão do Roque. Para isso foram utilizadas duas fontes de dados, que posteriormente foram relacionadas (através da correlação de Pearson) para estabelecer a força e a direção da associação dessas variáveis. Assim, o objetivo era avaliar se as variáveis tendem a mudar juntas (crescendo ou decrescendo), mesmo que não mudem a uma taxa constante. Com essa base de dados também foi criado um site para consulta e visualização da variação dos dados ao longo do tempo. Futuramente, será desenvolvida uma rede neural artificial para prever os parâmetros de qualidade da água com base nos dados meteorológicos aqui descritos.

METODOLOGIA UTILIZADA

O trabalho foi desenvolvido com dados relativos ao município de Pirassununga, localizado na região central do Estado de São Paulo, a uma distância de 207 km da capital. Possui uma altitude média acima dos 600 metros e sua classificação climática é estabelecida como sendo de Tropical de Altitude (Cwa). A figura 1 representa a localização do município e da hidrografia do município.

Figura 1 - Mapa da hidrografia do município de Pirassununga - SP.



Fonte: Adaptado da Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável, 2018 - FBDS.

Para criação da base de dados de análise, foram utilizadas duas fontes. Os dados relativos à fluviometria foram obtidos da base do Departamento de Águas e Esgoto do Estado de São Paulo. No Portal da Hidrologia são disponibilizados dados de medições e diferentes parâmetros (http://ph.daee.sp.gov.br/). Os dados foram obtidos em relação ao Ribeirão do Roque, mais especificamente ao ponto de coleta de dados localizado na ponte da vicinal Ricieri Scatolini, na foz do Ribeirão do Roque, junto a régua do DAEE 4D-032 (SÃO PAULO, [s.d.]).

Os dados meteorológicos foram obtidos através do DataClimaBR (SOUZA, 2024), essa base de dados fornece informações sobre evapotranspiração, precipitação, temperatura do ar, radiação solar, umidade relativa e velocidade do vento. A metodologia de cálculo desses parâmetros é a mesma desenvolvida por Xavier et al. (2022). Na plataforma do DataClimaBR é possível selecionar o local (município) de interesse e o período dos dados. De acordo com a disponibilidade de dados nas duas bases, o período selecionado para avaliação foi de fevereiro de 2016 a novembro de 2025.

Utilizando a linguagem R (POSIT TEAM, 2026) foi desenvolvido um script para unir as duas bases. Como as duas possuíam formatos de datas e organização dos dados diferentes, foram rearranjados os dados para que todos tivessem a mesma forma de organização. Além disso, só foram selecionados aqueles que coincidiam as datas de obtenção, para que a correlação estabelecida entre eles fosse relativa ao mesmo período de análise. Nessas condições foram encontradas 37 datas de coincidência.

Em seguida, foi realizada uma correlação de Pearson entre as variáveis meteorológicas e fluviométricas. A Correlação de Pearson (ou Coeficiente r^2) mede o grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas contínuas. Ela indica se, quando uma variável aumenta, a outra tende a aumentar ou diminuir de forma constante (em linha reta). Para selecionar quais variáveis eram mais fortemente relacionadas, foi estabelecido que uma correlação entre 0,5 e 0,7 era moderada a forte, já entre 0,7 e 1,0 era muito forte a perfeita. Portanto, para discussão dos resultados somente as correlações acima de 0,5 foram selecionadas.

Utilizando também a linguagem R, foi desenvolvido um script para disponibilizar a base de dados criada de maneira online. Com as bibliotecas *shiny* e *shinydashboard* é possível criar interfaces de interação com o usuário para visualizar tabelas, dados ou gráficos interativos. Com os dados utilizados neste trabalho foi criada uma interface para visualização dos parâmetros ao longo do tempo (em um gráfico xy), além dos valores médios dos parâmetros no período analisado, além dos valores de máximo e mínimo que os mesmos atingiram.

RESULTADOS OBTIDOS

Alguns parâmetros, como Alumínio dissolvido, Carbono Orgânico Total, Clorofila e Condutividade, não tiveram correlação considerada acima de moderada com os dados meteorológicos (Evapotranspiração, Precipitação, Temperatura Mínima e Máxima, Radiação Solar, Umidade Relativa e Velocidade do vento). As variáveis, que ao contrário, tiveram relação positiva ou negativa com esses dados foram: Carbono Orgânico Dissolvido, Cobre Dissolvido, Cobre Total, Ferro Dissolvido, Leitura da Régua (m), Oxigênio Dissolvido, Temperatura da Água e Vazão (m3/s). Os valores dessas correlações podem ser visualizados na tabela 1.

Tabela 1 - Correlação entre variáveis de qualidade da água e dados meteorológicos relativos ao Ribeirão do Roque (Pirassununga - SP).

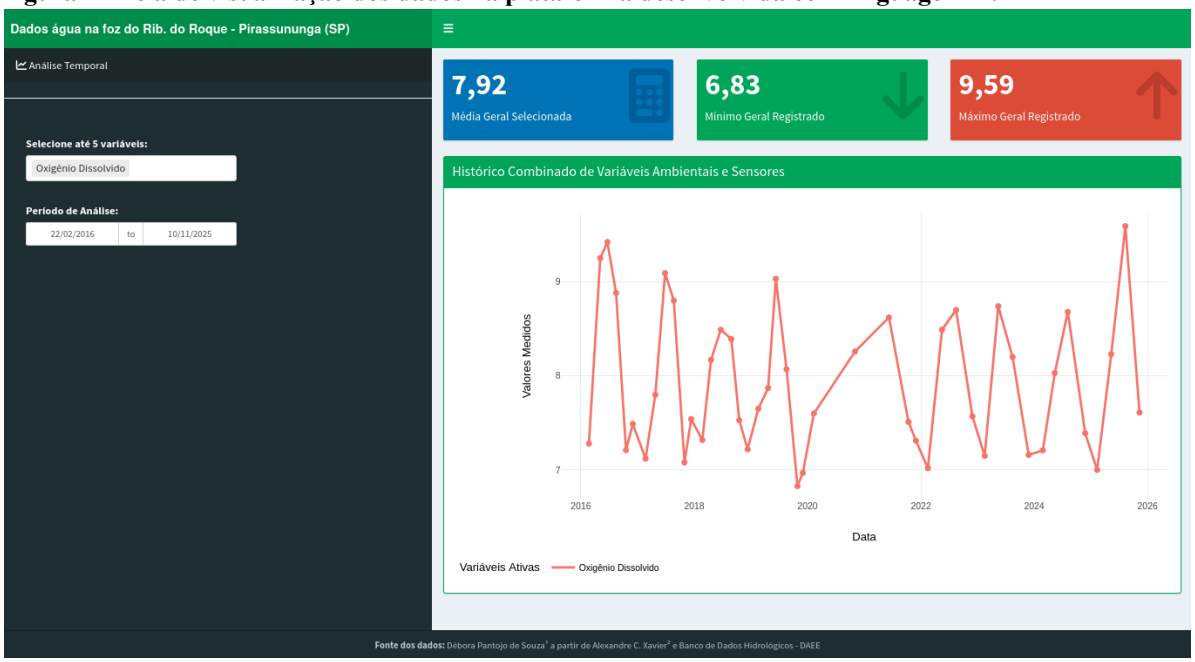
	Evapotranspiração	Precipitação	Temperatura Máxima	Radiação Solar
Carbono Orgânico Dissolvido	0,35	0,63	0,42	0,64
Cobre Dissolvido	-0,12	0,90	-0,18	0,08
Cobre Total	-0,04	0,85	-0,15	0,12
Ferro Dissolvido	0,31	0,12	0,33	0,52
Leitura da Régua (m)	-0,09	0,80	-0,13	0,26
Oxigênio Dissolvido	-0,51	-0,18	-0,51	-0,82
Temperatura da Água	0,57	0,12	0,54	0,79
Vazão (m3/s)	-0,20	0,91	-0,26	0,16

Fonte: elaboração própria.

Através dos dados mostrados na tabela 1, pode ser observado que a Evapotranspiração possui correlação positiva moderada a forte com a Temperatura da Água e negativa com o Oxigênio Dissolvido. Já a precipitação foi o dado meteorológico que teve relação com a maior quantidade de parâmetros da qualidade da água, tendo apresentado correlação moderada a forte com o Carbono Orgânico Dissolvido, assim como muito forte a perfeita com o Cobre Dissolvido, Cobre Total, Leitura da Régua (m) e com a Vazão. Já a temperatura máxima do ar teve comportamento antagônico com dois parâmetros, em relação ao Oxigênio Dissolvido apresentou uma correlação moderada negativa, porém com a Temperatura da Água o comportamento foi o inverso. Já a radiação solar teve correlação positiva com o Carbono Orgânico Dissolvido, com o Ferro Dissolvido e a Temperatura da Água, porém teve uma correlação negativa muito forte com o Oxigênio Dissolvido na água.

Na Figura 2 é demonstrado um exemplo de visualização dos dados na plataforma desenvolvida nesse projeto. O exemplo utilizado aqui é para o oxigênio dissolvido na água, demonstrando sua variação ao longo do período analisado. Também são disponibilizados ao usuário, o valor médio no período (7,92 mg L^{-1}), máximo (9,59 mg L^{-1}) e mínimo (7,92 mg L^{-1}). Todos esses valores se encontram dentro do limite considerado como seguro aceitável para a preservação generalizada da vida aquática e abastecimento público (BRASIL, 2005). A plataforma pode ser acessada em https://goo.su/Fi6Za.

Figura 2 - Tela de visualização dos dados na plataforma desenvolvida com linguagem R.



ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A evapotranspiração sofre influência direta de fatores climáticos como a temperatura e a radiação solar SÁNCHEZ-CARRILLO et al., 2001). Portanto, sua relação com o oxigênio dissolvido e a temperatura da água se dá devido a essa relação indireta. Isso pode ser notado pela relação negativa muito forte entre a Radiação Solar e o Oxigênio Dissolvido. O oxigênio dissolvido na água tende a diminuir com o aumento da temperatura do ar, pois quando as temperaturas do ar e da água sobem, as moléculas de água se movem com mais velocidade, então a capacidade de retenção de oxigênio da água cai e o oxigênio escapa para a atmosfera (LARANCE et al., 2025).

Miñana-Albanell et al. (2024) apontam que a radiação solar direta possui grande influência no aumento da temperatura da água de um rio. Como a radiação solar é composta por diferentes comprimentos de onda, o comprimento do infravermelho próximo é totalmente absorvido na camada superficial da água o que leva a um rápido aquecimento desse setor. Apesar de nos dados aqui avaliados a correlação da temperatura da água não ter dado significativa com nenhum parâmetro de qualidade da água, esse fator se relaciona com o oxigênio dissolvido na água (ENGLONER & NÉMETH, 2025), pH (ELFFERICH et al., 2024) e turbidez (BRAGA et al., 2022).

Metais, como o cobre, podem ser depositados nos corpos d'água através da lixiviação e precipitação (LIU et al., 2023). A presença desse metal em águas pluviais tem origem, como uma de suas fontes, na emissão da frota veicular (FONTENELE et al., 2009). Sendo assim, quando há aumento da precipitação ocorre maior deposição desse metal nos rios o que explica sua correlação forte com esse parâmetro. Já a vazão e altura da régua obtiveram valores fortes de correlação com a precipitação, o que já era esperado, pois com o aumento das chuvas o volume de água que chega aos rios é maior o que explica tal relação. Esses resultados também foram obtidos por Capozzoli et al. (2017), que observaram "forte relação entre as variabilidades na precipitação e na vazão".

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

De acordo com os objetivos estabelecidos neste trabalho, a relação entre os dados meteorológicos e os parâmetros de qualidade da água do Ribeirão do Roque foram estabelecidas, sendo verificado que alguns parâmetros possuem relação que vão de moderada a forte, enquanto para outros não foi possível estabelecer nenhuma relação ou a mesma foi fraca ou muito fraca. Os parâmetros com correlação de Pearson considerada

superior a moderada foram o Carbono Orgânico Dissolvido, Cobre Dissolvido, Cobre Total, Ferro Dissolvido, Leitura da Régua (m), Oxigênio Dissolvido, Temperatura da Água e Vazão (m3/s). Já em relação aos dados meteorológicos, aqueles que tiveram resultado correlacionado aos parâmetros foram Evapotranspiração, Precipitação, Temperatura Mínima e Máxima, Radiação Solar, Umidade Relativa e Velocidade do vento.

Essa relação estabelece que quando os dados citados sofrem alguma alteração, aumento ou diminuição, os parâmetros de qualidade da água também se alteram. Como próximos passos do projeto, depois de se estabelecer quais parâmetros possuem relação, será realizado o treinamento de uma rede neural que possibilite a obtenção do valor do dado desejado (ou a classificação do mesmo em categorias de interesse) para auxiliar a tomada de decisão no manejo do tratamento da água.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BERLANDA, A. et al.. *Avaliação temporal e espacial da qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Desquite, Santa Catarina. Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 26, n. 1, p. 45–51, jan. 2021.

2. BRAGA, F.H.R. et al. S*tudy of the Influence of Physicochemical Parameters on the Water Quality Index (WQI) in the Maranhão Amazon, Brazil. Water*, v. 14, n. 10, p. 1546, may 2022.

3. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 053, p. 58-63, 18 mar. 2005. Disponível em: mma.gov.br. Acesso em: 28 maio 2026.

4. CAPOZZOLI, C. R.; CARDOSO, A. DE O.; FERRAZ, S. E. T.. *Padrões de Variabilidade de Vazão de Rios nas Principais Bacias Brasileiras e Associação com Índices Climáticos. Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 2, p. 243–254, abr. 2017.

5. DELPLA, I., JUNG, A-V., BAURES, E., CLEMENT, M., THOMAS, O. *Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. Environ Int*, v. 35, p. 1225–1233.

6. ELFFERICH, I. et al. *Interpretation of river water quality data is strongly controlled by measurement time and frequency. Science of The Total Environment*, v. 954, p. 176626, dez. 2024.

7. ENGLONER, A.I.; NÉMETH, K. *Exploring the combined effects of water temperature and flow on river water quality: problems with highly variable data sets and possible solutions. Heliyon*, v. 11, n. 17, e44193, dez. 2025.

8. FONTENELE, A. P. G.; PEDROTTI, J. J.; FORNARO, A.. *Avaliação de metais traços e íons majoritários em águas de chuva na cidade de São Paulo. Química Nova*, v. 32, n. 4, p. 839–844, 2009.

9. FERREIRA, C.S., WALSH, R.P., FERREIRA, A.J. *Degradation in urban areas. Curr Opin Environ Sci Health*. V. 5, p. 19–25, 2018. https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.04.001.

10. FUNDAÇÃO BRASILEIRA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (FBDS). SP: Pirassununga: mapas. Rio de Janeiro: FBDS, [s.d.]. Disponível em: http://geo.fbds.org.br/SP/PIRASSUNUNGA/MAPAS/. Acesso em: 27 mai. 2026.

11. LARANCE, S. et al. *Assessing Water Temperature and Dissolved Oxygen and Their Potential Effects on Aquatic Ecosystem Using a SARIMA Model. Environments*, [s. l.], v. 12, n. 1, p. 25, jan. 2025. DOI https://doi.org/10.3390/environments12010025.

12. LIU, Y. et al. *Removal of copper ions from wastewater: a review. Int. J. Environ. Res. Public Health*, [S. l.], v. 20, n. 5, 3885, 2023.

13. MIÑANA-ALBANELL C, RYU D, PÉREZ-MARTÍN MA. *Water Temperature Model to Assess Impact of Riparian Vegetation on Jucar River and Spain. Water*, v. 16, n. 21, p. 3121, 2024. https://doi.org/10.3390/w16213121

14. MORAES, R.X.L. de, YABUKI, L.N.M., QUELUZ, J.G.T., GARCIA, M. L. *Avaliação da qualidade das águas superficiais e do sistema de tratamento do esgoto sanitário do município de Rio Claro/SP. Holos Environment*, [S. l.], v. 21, n. 1, p. 83–104, 24 jan. 2021. Disponível em: http://dx.doi.org/10.14295/holos.v21i1.12421.

15. MUJERE, N., MOYCE, W. Climate change impacts on surface water quality. In: Ganpat W, Isaac W (eds) Environmental sustainability and climate change adaptation strategies. IGI Global, Hershey, p. 322–340, 2020.

16. PIRASSUNUNGA. Serviço de Água e Esgoto de Pirassununga (SAEP). Mananciais que abastecem Pirassununga. Pirassununga: SAEP, [2026]. Disponível em: https://saep.sp.gov.br/pagina/18/mananciais-que-abastecem-pirassununga. Acesso em: 26 maio 2026.

17. POMPEI, C.M.E., ALVES, E.D.L., VIEIRA, E.M. *et al. Impact of meteorological variables on water quality parameters of a reservoir and ecological filtration system. Int. J. Environ. Sci. Technol.* v. 17, p. 1387–1396, oct. 2020.

18. POSIT TEAM. RStudio: Integrated Development Environment for R. Versão 2026.03. Boston, MA: Posit Software, PBC, 2026. Disponível em: http://www.posit.co/. Acesso em: 27 mai. 2026.

19. SÁNCHEZ-CARRILLO, S.; ÁLVAREZ-COBELAS, M; BENÍTEZ, M. *A simple method for estimating water loss by transpiration in wetlands. Hydrological Sciences-Journal-des Hydrologiques*. v.46, n.4, p. 537-552. Aug. 2001.

20. SÃO PAULO (Estado). Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). Banco de Dados Hidrológicos: posto 4D-032 - Foz do Ribeirão do Roque. São Paulo: DAEE, [s.d.]. Disponível em: http://ph.daee.sp.gov.br/Fluviometricos/Posto?idPosto=f8d5a7f5-8728-4738-af69-15e15fef1f4a. Acesso em: 27 mai. 2026.

21. SIERRA-PORTA, D. *Assessing the impact of missing data on water quality index estimation: a machine learning approach. Discov Water,* v. 4, n. 11, mar. 2024. https://doi.org/10.1007/s43832-024-00068-y

22. SOUZA, Débora Pantojo de. DataClimaBR: dados climáticos do Brasil (1961-2025). In: GOOGLE Earth Engine Apps. [S. l.]: Google, 2024. Disponível em: https://ee-deborapdsouza.projects.earthengine.app/view/dataclimabr. Acesso em: 27 mai. 2026.

23. XAVIER, Alexandre C. et al. *New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). International Journal of Climatology*, v. 42, n. 16, p. 8390-8404, dez. 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1002/joc.7731.

24. WHITEHEAD, P.G., WILBY, R.L., BATTARBEE, R.W., KERNAN, M., WADE, A.J. *A review of the potential impacts of climate change on surface water quality. Hydrol Sci J,* v. 54, n. 1, p. 101–123, 2009.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. Processo nº 2026/08131-7.