

QUALIDADE DO AR EM MUNICÍPIOS DO INTERIOR PAULISTA APÓS MEDIDAS RESTRITIVAS DE COMBATE A PANDEMIA DE COVID-19

Iris Tamara de Freitas¹, Marcela de Mello Arthur², Alexandre Dal Pai³, Valéria C. Rodrigues Sarnighausen³, Sergio Augusto Rodrigues³

¹Graduanda em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA)/Unesp, SP, Brasil. Bolsista PIBIC Reitoria/UNESP. E-mail: iris.freitas@unesp.br

²Graduanda em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA)/Unesp, SP, Brasil. E-mail: marcela.melloarthur@gmail.com

³Professor Doutor da Universidade Estadual Paulista (Unesp), Câmpus de Botucatu-SP (FCA).

RESUMO

As intervenções de contato social aplicadas, a fim de conter o vírus SARS-Cov-2, e seus impactos nas condições ambientais em vários países do mundo foram temas de diversos estudos no início da pandemia. Nesse sentido, com o intuito de verificar a influência das medidas restritivas na qualidade do ar, este trabalho estuda 4 pontos de monitoramento dos poluentes atmosféricos no interior paulista, entre os anos de 2015 e 2020. Uma análise estatística foi realizada utilizando um histórico de dados de qualidade do ar fornecidos pela Companhia Ambiental do estado de São Paulo (CETESB), além de dados relativos as medidas restritivas adotadas, observadas em sites oficiais do Estado. Os resultados observados em 2020 expressaram variações semelhantes dos poluentes analisados ao comparar com os cinco anos anteriores (2019-2015) e um aumento da concentração de MP₁₀ no período de 60 dias após o decreto de quarentena no estado de São Paulo em relação ao período anterior.

Palavras-chave: Qualidade do ar. COVID-19. Quarentena.

1 INTRODUÇÃO

Desde o começo do ano de 2020, o mundo tem enfrentado a pandemia do novo coronavírus SARS-COV-2, que causa a doença COVID-19. Em dezembro desse mesmo ano, a população mundial já acumulava 4 213 237 casos confirmados (WHO, 2021), logo, as altas taxas de hospitalização e mortes, causou graves danos socioeconômicos (GANDJOUR, 2020), embora a resposta ambiental à pandemia tem sido positiva em muitos aspectos.

Em razão da inexistência de intervenções farmacêuticas, os governos adotaram medidas restritivas de atividades e circulação de pessoas, a fim de minimizar a transmissão da doença. Consequentemente, surgiram pesquisas visando compreender os efeitos das medidas implementadas no meio ambiente. Alguns estudos apontam, após as medidas de distanciamento social, possíveis reduções nos níveis de poluição da água (YUNUS; MASAGO; HIJOKA, 2020) e melhorias na qualidade do ar (concentração de material particulado, dióxido de nitrogênio, entre outras), principalmente pela redução no trânsito de veículos e/ou diminuição no consumo de energia (KANNIAH et al., 2020; SHARMA et al., 2020; TOBIÁS et al., 2020; ZAMBRANO-MONSERRATE et al.,

2020). No entanto, é necessário considerar as individualidades climáticas de cada região, justificando-se a importância de estudos em localidades específicas.

Assim, esse estudo objetiva-se apresentar uma avaliação dos impactos das medidas restritivas de distanciamento social, causadas com o surgimento da COVID-19, em mensurações da qualidade do ar de municípios do interior paulista com mais de 400 mil habitantes. Propõe-se uma descrição de dados de algumas variáveis que caracterizam a qualidade do ar, comparando as concentrações antes e após o início do primeiro período de quarentena no estado de São Paulo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo avaliou os municípios do interior paulista com mais de 400 mil habitantes e que apresentaram disponibilidade de dados da qualidade do ar no sistema de monitoramento Qualar da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Assim, medições diárias (24 horas) dos contaminantes atmosféricos foram levantados, considerando as concentrações de dióxido e monóxido de nitrogênio (NO e NO₂), ozônio (O₃), material particulado (MP₁₀) e dióxido de enxofre (SO₂) (CETESB, 2021a).

Para avaliar a possível associação da qualidade do ar com o período de restrição social decretado pelo estado de São Paulo em março de 2020, os dados diários foram agrupados em dois períodos, considerando a data do decreto (17/03/2020). O primeiro período corresponde aos 60 dias antes da promulgação de quarentena (17 de janeiro de 2020 – 17 de março de 2020) e o segundo 60 dias após (18 de março de 2020 – 17 de maio de 2020). Os mesmos períodos foram avaliados também nos cinco anos anteriores.

Simultaneamente, informações sobre a taxa de isolamento social e dados de variáveis meteorológicas, como temperatura ambiente, umidade relativa do ar, precipitação e velocidade dos ventos, obtidas junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020), foram avaliadas, pois são características que podem impactar a qualidade do ar de uma localidade. No entanto, não foi possível levantar dados de todos os municípios objetos deste estudo.

Inicialmente as concentrações de poluentes, considerando os dois períodos propostos (antes e após o decreto da quarentena), foram tratados estatisticamente de forma a descrever o conjunto de dados quanto as medidas de posição e dispersão (média, mediana, valor mínimo e máximo, desvio padrão, diferença de quartis). Também a variação percentual (%) das concentrações médias entre os períodos foram obtidas. Gráficos *boxplot* foram utilizados para caracterização dos dados.

Posteriormente, para identificar efeitos significativos entre as concentrações dos dois períodos foi aplicado o teste t-student (POTOCHNIK; COLOMBO; WRIGHT, 2018), quando atendido as suposições, ou o teste não paramétrico de Mann-Whitney (REFUGIO, 2018).

Todas as análises foram realizadas no ambiente RStudio versão 4.0.5 (R CORE TEAM, 2020) considerando para avaliações analíticas um nível de significância de 5%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

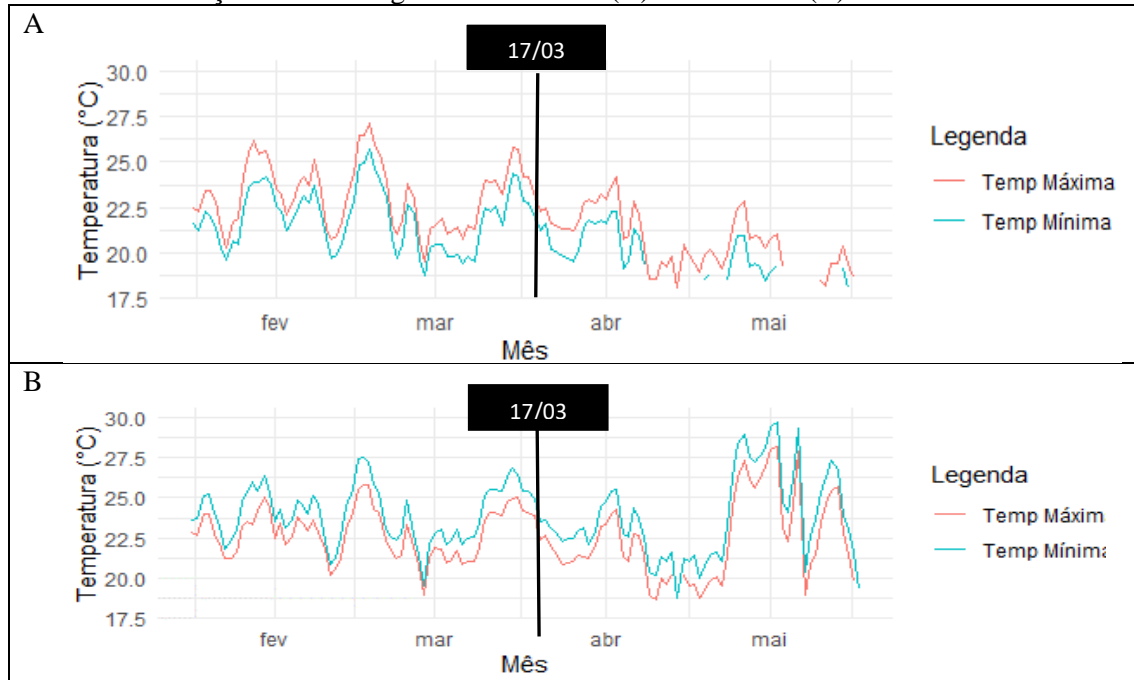
O estado de São Paulo é a terceira maior economia e mercado consumidor da América Latina. É também, o território mais populoso, com 166,2 habitantes por km² (IBGE, 2021; SÃO PAULO, 2020a). Um decreto publicado pelo governo estabeleceu a condição de quarentena para o Estado de forma a evitar propagação do novo coronavírus, no entanto, tais intervenções não interferiram no desempenho industrial e atividades relacionadas a alimentação, saúde e de cunho essencial, apesar da demanda ter diminuído devido a pandemia em todo o mundo (GANDJOUR, 2020; SÃO PAULO, 2020).

Diante da preocupação com locais densamente povoados e de grande fluxo de pessoas, o estado de São Paulo criou o Sistema de Monitoramento Inteligente, para observar a adesão ao isolamento social nos municípios (SÃO PAULO, 2021). Assim, no período de 60 dias após a adoção das medidas restritivas observou-se a média de isolamento social 48% (Piracicaba, Jundiaí e Sorocaba) e 52% (São José dos Campos).

Estudos indicam, ainda, a relevância das condições meteorológicas na dispersão de poluentes em regiões com alta densidade populacional (NAKADA; URBAN, 2020). Neste sentido, destaca-se que entre os meses de janeiro a maio, o estado de São Paulo apresenta duas estações climáticas, portanto, os períodos estipulados neste estudo como antes e depois do decreto de quarentena, pertencem, respectivamente, a uma mesma estação climática (antes marcado pelo verão e depois pelo outono). O verão no estado de São Paulo é caracterizado por temperaturas elevadas e com um maior índice pluviométrico durante toda a estação, já durante o outono, as características climáticas estão relacionadas a transição que ocorre entre o verão e estação mais fria e seca do ano, o inverno. Assim, o período caracterizado como depois (em 2020 o período de quarentena) se observa temperaturas amenas e menores volumes de chuvas, isso significa que podem surgir fatores que dificultam a dispersão de poluentes (INMET, 2020).

Esta característica das estações climáticas (verão e outono) pode ser observada na Figura 1, quanto as temperaturas máxima e mínima de 2020, nas estações meteorológicas de Sorocaba e Piracicaba, destacando a data do decreto de quarentena.

Figura 1. Temperaturas máxima e mínimas diárias de 17 de janeiro a 17 de maio de 2020 nas estações meteorológicas de Sorocaba (A) e Piracicaba (B) do INMET



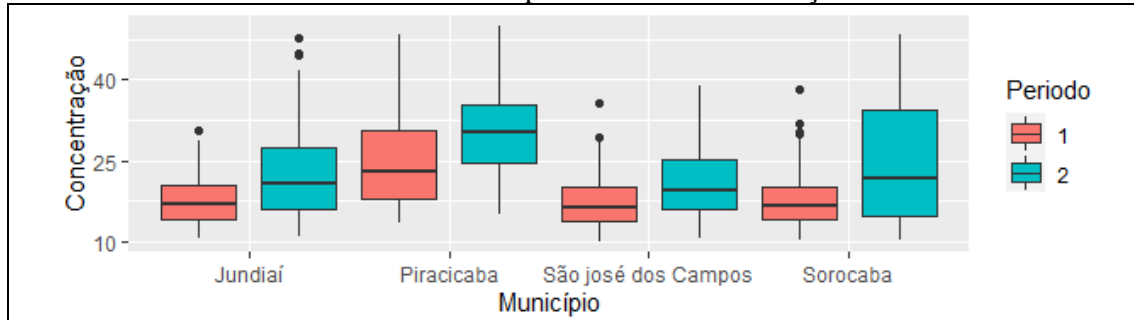
Mandurino (2009) reforça que a dispersão de poluentes está diretamente ligada as condições meteorológicas de cada região, sendo o conjunto das mesmas determinante para a análise de qualidade do ar. Nesse sentido, foram verificadas as possíveis mudanças na concentração de MP_{10} , NO_2 , NO , O_3 e SO_2 nos períodos antes e depois das medidas restritivas a partir de 17 de março.

Nos municípios com mais de 400 mil habitantes avaliados observa-se um aumento significativo ($p < 0,05$), em 2020, nas concentrações de MP_{10} no período após 60 dias do decreto de quarentena em relação ao período antes (Figura 2). Piracicaba e Sorocaba foram as cidades com maiores acúmulos de MP_{10} no segundo período, com médias de 36,64 e 24,05 $\mu g/m^3$ respectivamente, o que representa uma alta de 60,35% e 49,10% em relação ao período antes. O mesmo ocorre com as concentrações medianas.

No entanto, em todos os municípios também se observou diferenças significativas entre os períodos em anos anteriores: Jundiá apresentou diferenças significativas também em 2016 e 2018; Piracicaba em 2015, 2016, 2018 e 2019; São José dos Campos em 2018 e Sorocaba em 2016, 2017 e 2018. Estes resultados indicam que

não é possível atribuir ao período de restrição social como um possível causador de alterações nesta variável, quando analisada a média de 60 dias. Assim, fatores meteorológicos, que caracterizam o outono (segundo período deste estudo), podem estar contribuindo para o aumento de MP_{10} neste período.

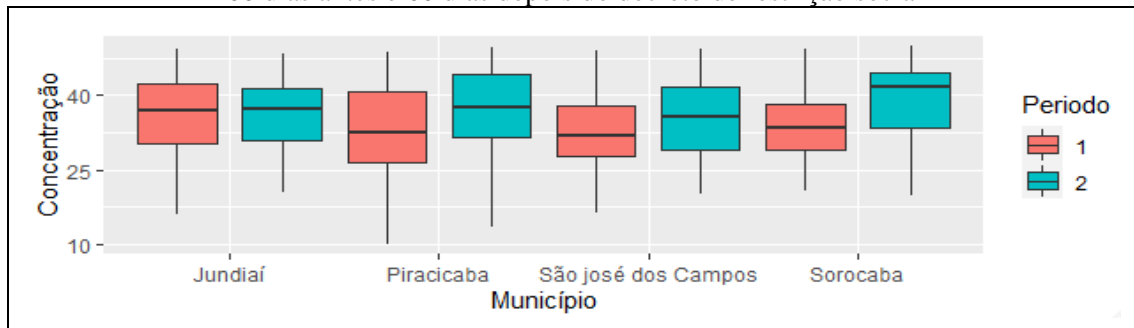
Figura 2. Concentrações de MP_{10} nos municípios com mais de 400 mil habitantes, considerando 60 dias antes e 60 dias depois do decreto de restrição social



Em São José dos Campos essa alta pode estar relacionada com o aumento de poluente SO_2 (disponível somente neste município), o qual também apresentou no segundo período de 2020 (após 17 de março), um aumento significativo em relação ao período anterior (com média antes de $1,65 \mu g/m^3$ e depois de $2,42$, $p < 0,01$). Esse poluente é precursor da formação do MP_{10} e $MP_{2,5}$ na atmosfera e está intimamente ligado a queima de óleo diesel, óleo industrial e gasolina (CETESB, 2021b).

Já o contaminante atmosférico Ozônio (O_3) não apresentou aumento significativo em 2020 nos municípios observados (Figura 3), resultado que se repete na maioria dos outros cinco anos anteriores dos quatro municípios.

Figura 3. Concentrações de O_3 nos municípios com mais de 400 mil habitantes, considerando 60 dias antes e 60 dias depois do decreto de restrição social

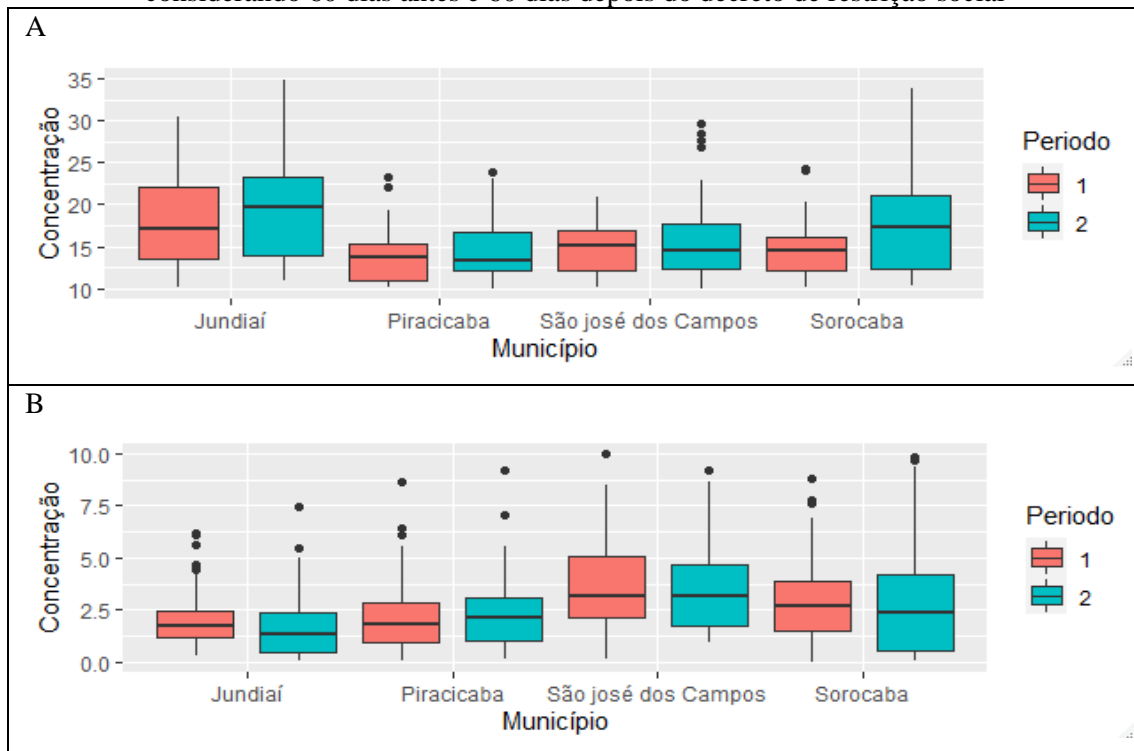


Em síntese, nota-se que Piracicaba e São José dos Campos apresentaram concentrações de O_3 inferiores (não significativas) quando comparadas a Sorocaba no segundo período de 2020. O ozônio atmosférico é gerado a partir de reações químicas

mediadas por radiação solar que ocorre entre hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio, que por sua vez são poluentes emitidos por processo de combustão (CETESB, 2021b). Assim, considerando a densidade populacional semelhante entre as cidades, esse aspecto observado sobre a concentração de O_3 , pode estar associado as condições de chuva com baixa incidência solar em Piracicaba e a taxa média de isolamento, que em São José dos Campos foi a maior dentre os municípios (52,3%).

Nessa mesma perspectiva, Andrade et al., (2017) constata a relação entre o Ozônio (O_3) e os óxidos de nitrogênio: Monóxido de Nitrogênio (NO) e Dióxido de Nitrogênio (NO_2), onde a diminuição desses poluentes poderiam levar a uma estabilidade ou até um estado crescente da concentração de O_3 , justificado por deixarem de consumir elementos precursores e, assim, promover a sua formação. No entanto, no que se observa, nenhuma cidade analisada apresentou mudanças significativas de NO_2 (Figura 4A) e NO (Figura 4B) em 2020, o que possivelmente refletiu nos resultados de O_3 .

Figura 4. Concentrações de NO_2 (A) e NO (B) nos municípios com mais de 400 mil habitantes, considerando 60 dias antes e 60 dias depois do decreto de restrição social



4 CONCLUSÕES

Com a análise exploratória dos dados mensurados de qualidade do ar do estado de São Paulo, conclui-se que foi possível observar uma tendência de aumento apenas na concentração de MP_{10} após a data da implementação de medidas restritivas no combate a

pandemia de COVID-19. Os poluentes NO₂, NO e O₃ não apresentaram variações significativas. Dada a característica meteorológica dos dois períodos, não há indícios da contribuição das medidas restritivas de distanciamento social na qualidade do ar dos municípios do interior paulista avaliados. Ademais, a natureza observacional da pesquisa permite estabelecer associações observadas no período do estudo, mas impede que sejam realizadas afirmações sobre a influência da implantação de medidas restritivas na concentração de poluentes do ar e de qualidade do ar.

5 REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. de F.; KUMAR, P.; DE FREITAS, E. D.; YNOUE, R. Y.; MARTINS, J.; MARTINS, L. D.; NOGUEIRA, T.; PEREZ-MARTINEZ, P.; DE MIRANDA, R. M.; ALBUQUERQUE, T.; GONÇALVES, F. L. T.; OYAMA, B.; ZHANG, Y. Air quality in the megacity of São Paulo: Evolution over the last 30 years and future perspectives. **Atmospheric Environment**, [s. l.], v. 159, p. 66–82, 2017.

CETESB. **Qualar | Qualidade do Ar**. 2021a. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/qualar/>. Acesso em: 13 mar. 2021.

CETESB. **Poluentes | Qualidade do Ar**. 2021b. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/ar/poluentes/>. Acesso em: 4 mar. 2021.

GANDJOUR, A. The clinical and economic value of a successful shutdown during the SARS-CoV-2 pandemic in Germany. **Quarterly Review of Economics and Finance**, [s. l.], n. xxxx, 2020.

IBGE. **IBGE | Portal do IBGE | IBGE**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 4 set. 2021.

INMET. **Instituto nacional de meteorologia**. Boletim climatológico são paulo balanço do outono e prognóstico para o inverno 2020 balanço. [s. l.], 2020. Disponível em: www.inmet.gov.br. Acesso em: 20 jul. 2021.

INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. 2021. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 10 jul. 2021.

KANNIAH, K. D.; KAMARUL ZAMAN, N. A. F.; KASKAOUTIS, D. G.; LATIF, M. T. COVID-19's impact on the atmospheric environment in the Southeast Asia region. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 736, p. 139658, 2020.

MANDURINO, C.; VESTRUCCI, P. Using meteorological data to model pollutant dispersion in the atmosphere. **Environmental Modelling and Software**, [s. l.], v. 24, n. 2, p. 270–278, 2009.

NAKADA, L. Y. K.; URBAN, R. C. COVID-19 pandemic: Impacts on the air quality during the partial lockdown in São Paulo state, Brazil. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 730, p. 139087, 2020.

POTOCHNIK, A.; COLOMBO, M.; WRIGHT, C. Statistics and Probability. **Recipes for Science**, [s. l.], n. Table 2, p. 167–206, 2018.

R CORE TEAM. **R: O Projeto R para Computação Estatística**. 2020. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 17 mar. 2021.

REFUGIO, C. N. Empirical Research on Mann-Whitney U-test Jason Earl Delmo. [s. l.], n. December, 2018.

SÃO PAULO. **Isolamento | Governo do Estado de São Paulo**. [s.d.]. Disponível em: <https://www.saopaulo.sp.gov.br/coronavirus/isolamento/>. Acesso em: 18 ago. 2021.

SÃO PAULO. **São Paulo é o 21º colocado no ranking das maiores economias do mundo | Governo do Estado de São Paulo**. 2020a. Disponível em: <https://www.saopaulo.sp.gov.br/spnoticias/sao-paulo-e-o-21o-colocado-no-ranking-das-maiores-economias-do-mundo/>. Acesso em: 10 ago. 2021.

SÃO PAULO. D.O Estado de São Paulo - Quarentena. [s. l.], p. 2005, 2020. b.

SHARMA, S.; ZHANG, M.; ANSHIKA; GAO, J.; ZHANG, H.; KOTA, S. H. Effect of restricted emissions during COVID-19 on air quality in India. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 728, p. 138878, 2020.

TOBIÁS, A.; CARNERERO, C.; RECHE, C.; MASSAGUÉ, J.; VIA, M.; MINGUILLÓN, M. C.; ALASTUEY, A.; QUEROL, X. Changes in air quality during the lockdown in Barcelona (Spain) one month into the SARS-CoV-2 epidemic. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 726, p. 138540, 2020.

WANG, Q.; SU, M. A preliminary assessment of the impact of COVID-19 on environment – A case study of China. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 728, p. 138915, 2020.

WHO. **WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard**. 2021. Disponível em: <https://covid19.who.int/>.

YUNUS, A. P.; MASAGO, Y.; HIJIOKA, Y. Science of the Total Environment COVID-19 and surface water quality : Improved lake water quality during the lockdown. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 731, p. 139012, 2020.

ZAMBRANO-MONSERRATE, M. A.; RUANO, M. A.; SANCHEZ-ALCALDE, L. Indirect effects of COVID-19 on the environment. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 728, 2020.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, por meio do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC-Reitoria/UNESP).