


# Monitoramento epidemiológico espaçotemporal de SARS-CoV-2 no esgoto de Curitiba-PR

*Spatio-temporal epidemiological monitoring of SARS-CoV-2 in the sewage of Curitiba-PR*

Carlos Eduardo Rodrigues Barquilha<sup>1</sup> , Demian da Silveira Barcellos<sup>1,2</sup> ,  
Ricardo Belmonte-Lopes<sup>1</sup> , Nestor Leonel Muñoz Hoyos<sup>1</sup> , Emanuel Luis Razzolini<sup>1</sup> ,  
Maria Eduarda Grisolia<sup>1</sup> , Pâmela Eduarda de Oliveira<sup>1</sup> , William Martins<sup>1</sup> , Jakson Alves<sup>3</sup> ,  
Bárbara Zanicotti Leite<sup>3</sup> , Fernanda Janaína Oliveira Gomes da Costa<sup>3</sup> ,  
César Rossas Mota Filho<sup>4</sup> , Gustavo Rafael Collere Possetti<sup>3</sup> , Vânia Aparecida Vicente<sup>1</sup> ,  
Ramiro Gonçalves Etchepare<sup>1\*</sup> 

## RESUMO

A pandemia de COVID-19 foi responsável por grandes impactos na sociedade, os quais não apenas alteraram o cotidiano da população, mas também proporcionaram avanços em diferentes áreas da ciência. O colapso dos sistemas de saúde em diversos países e o acesso limitado a testes clínicos estimularam a busca por ferramentas alternativas para obter informações sobre a pandemia, como a epidemiologia baseada no esgoto (EBE). O objetivo deste trabalho foi utilizar a EBE no monitoramento espaçotemporal da pandemia de COVID-19 em Curitiba-PR. Amostras compostas de esgoto foram coletadas durante 27 meses nas cinco estações de tratamento de esgoto (ETEs) que processam todo o esgoto coletado em Curitiba-PR e parte de sua região metropolitana. Realizaram-se análises de DQO, NH<sub>3</sub>-N e qPCR para determinação da concentração viral de SARS-CoV-2 no esgoto. Os resultados demonstraram que a presente abordagem permitiu um efetivo acompanhamento espaçotemporal da pandemia de COVID-19 a partir do esgoto, indicando de forma regionalizada a ocorrência dos casos. Dentre outros, identificou-se a região de maior vulnerabilidade do município a partir das altas concentrações de RNA viral registradas. Contudo, a partir dos resultados de NH<sub>3</sub>-N, constatou-se também que o esgoto nessa região era menos diluído por águas pluviais, o que pode estar associado a uma rede coletora de esgoto menor e mais íntegra. Além disso, os resultados evidenciaram forte correlação entre as concentrações de RNA viral no esgoto e diversos indicadores clínicos, incluindo os casos de COVID-19, o número de testes realizados e a positividade dos testes. Conclui-se, portanto, que a presente abordagem tem grande potencial em futuras aplicações da EBE no Brasil e no mundo.

**Palavras-chave:** pandemia; coronavírus; vigilância epidemiológica; monitoramento espacial.

## ABSTRACT

The COVID-19 pandemic has had significant impacts on society, not only changing people's daily lives but also driving advancements in various scientific fields. The collapse of healthcare systems in many countries and limited access to clinical testing have spurred the search for alternative tools to gather information about the pandemic, such as wastewater-based epidemiology (WBE). The objective of this study was to utilize WBE for spatiotemporal monitoring of the COVID-19 pandemic in Curitiba, Paraná, Brazil. Composite sewage samples were collected over 27 months from five wastewater treatment plants (WWTPs) that receive all the sewage from Curitiba and parts of its metropolitan region. Chemical oxygen demand (COD), ammoniacal nitrogen (NH<sub>3</sub>-N), and quantitative polymerase chain reaction (qPCR) analyses were performed to determine the viral concentration of SARS-CoV-2 in the sewage. Results demonstrated that this approach allowed for effective spatial and temporal tracking of the COVID-19 pandemic through sewage monitoring, indicating localized disease occurrence. Among other findings, the region with the highest vulnerability in the municipality was identified based on the elevated levels of viral RNA detected. However, NH<sub>3</sub>-N results also revealed that sewage in this region was less diluted by rainwater, which could be attributed to its smaller and more integrated sewer network. In addition, the findings demonstrated a strong correlation between viral RNA concentration in sewage and various clinical indicators, including COVID-19 cases, the number of tests conducted, and the test positivity rate. In conclusion, this approach holds promising potential for future applications of WBE in Brazil and worldwide.

**Keywords:** pandemic; coronavirus; epidemiological monitoring; spatial monitoring.

<sup>1</sup>Universidade Federal do Paraná – Curitiba (PR), Brasil.

<sup>2</sup>Pontifícia Universidade Católica do Paraná – Curitiba (PR), Brasil.

<sup>3</sup>Companhia de Saneamento do Paraná – Curitiba (PR), Brasil.

<sup>4</sup>Universidade Federal de Minas Gerais – Belo Horizonte (MG), Brasil.

\*Endereço para correspondência: Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100 – Universidade Federal do Paraná – Departamento de Hidráulica e Saneamento – Curitiba, PR. CEP: 81530-000. E-mail: ramiroetchepare@ufpr.br

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a população mundial conviveu com a insegurança, as consequências e os desafios causados por um novo tipo de coronavírus, denominado SARS-CoV-2, responsável por uma síndrome respiratória aguda grave (COVID-19). A rápida disseminação dos casos de COVID-19 foi responsável, no início da pandemia, pelo colapso de sistemas de saúde em diversos países, incluindo o Brasil. Assim, diversas ferramentas epidemiológicas foram extensivamente investigadas e aplicadas para complementar informações e dar suporte a processos de tomada de decisão pelo setor de saúde pública, incluindo a epidemiologia baseada no esgoto (EBE).

A EBE tem sido apontada como uma técnica abrangente, econômica e rápida para a obtenção de informações epidemiológicas, do estado de saúde e do estilo de vida de uma determinada população, utilizando como suporte metodológico a detecção de biomarcadores no esgoto (ADHIKARI e HALDEN, 2022). Nesse contexto, uma vez que traços do RNA viral do SARS-CoV-2 estão presentes em excreções humanas e, conseqüentemente, em esgotos sanitários, a EBE foi implementada e consolidada em diversos países para obter informações acerca dos diferentes estágios da pandemia (AGRAWAL *et al.*, 2022; CARRILLO-REYES, BARRAGÁN-TRINIDAD e BUITRÓN, 2021; CLARO *et al.*, 2021; MOTA *et al.*, 2021; WEIDHAAS *et al.*, 2021).

No decorrer das últimas décadas, a EBE já vinha sendo utilizada em estudos epidemiológicos para fornecer informações sobre o uso de tabaco, álcool, drogas ilícitas, doenças infecciosas e produtos farmacêuticos controlados. Contudo, a partir de 2020, a pandemia de COVID-19 impulsionou o interesse e o uso dessa ferramenta com a finalidade de obter alertas precoces a partir de amostras de esgoto e dados provenientes de sistemas de esgotamento sanitário (ERICKSON *et al.*, 2021; BARCELLOS *et al.*, 2023). O monitoramento espaçotemporal da COVID-19 utilizando a EBE é uma abordagem que busca obter informações da distribuição dos casos em uma determinada região em função do tempo (CARITI *et al.*, 2022). A coleta de amostras de esgoto em diferentes pontos de um sistema de esgotamento sanitário permite identificar

áreas de maior contaminação, rastrear a disseminação da doença e, portanto, fornecer informações importantes para orientar a população.

No Brasil, até o início do mês de junho de 2023, confirmaram-se aproximadamente 38 milhões de casos de COVID-19, 703.291 óbitos e 513.329.718 doses de vacinas aplicadas (WHO, disponível em <https://covid19.who.int/>). O estado do Paraná (PR) apresentou, na mesma data, um total de 2.944.089 casos confirmados e 46.396 óbitos (Ministério da Saúde, disponível em <https://covid.saude.gov.br>). Em Curitiba-PR, verificou-se 590 mil casos confirmados e 8.760 óbitos, com uma taxa de letalidade de 1,5%, comparativamente superior à global, que é de 1,0% (Secretaria Municipal da Saúde de Curitiba, disponível em <https://coronavirus.curitiba.pr.gov.br/>).

O monitoramento da COVID-19 via esgotos em Curitiba-PR começou em março de 2021 (BELMONTE-LOPES *et al.*, 2023), no âmbito da Rede Monitoramento COVID Esgotos ([etes-sustentaveis.org/rede-monitoramento-covid-esgotos/](https://etes-sustentaveis.org/rede-monitoramento-covid-esgotos/)), composta por instituições de seis diferentes cidades do país (Curitiba-PR, Belo Horizonte-MG, Rio de Janeiro-RJ, Brasília-DF, Recife-PE e Fortaleza-CE). Curitiba-PR é a cidade mais populosa do sul do Brasil, com aproximadamente 1.950.000 habitantes e tem uma das maiores coberturas de saneamento básico do país, sendo aproximadamente 96% do município atendido com coleta e tratamento de esgoto (SNIS, 2021).

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi apresentar a distribuição espaçotemporal da concentração do vírus SARS-CoV-2 no esgoto de Curitiba-PR ao longo de 27 meses de monitoramento, entre março de 2021 e maio de 2023.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O núcleo Curitiba-PR da Rede Monitoramento Covid Esgotos foi coordenado pelo INCT ETes Sustentáveis e composto por uma equipe multidisciplinar da Universidade Federal do Paraná (UFPR), da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e, entre março e dezembro de 2021, do Instituto Superior de Administração e Economia do Mercosul (ISAE). O plano de monitoramento foi elaborado de modo a abranger todas as sub-bacias de esgotamento representativas do município. O sistema de esgotamento

sanitário de Curitiba-PR é dividido em cinco macrorregiões atendidas por cinco diferentes estações de tratamento de esgoto (ETEs), que também recebem o esgoto sanitário gerado em parte dos municípios que integram sua Região Metropolitana (RMC). Assim, a inclusão dessas macrorregiões permitiu que a disseminação da COVID-19 fosse monitorada do ponto de vista espacial e temporal.

### 2.1. Pontos de amostragem, período e frequência

Os pontos de amostragem foram as entradas das ETEs (esgoto afluente) em Curitiba-PR, contemplando a ETE Atuba Sul (ETE-01), ETE Belém (ETE-02), ETE Padilha Sul (ETE-03), ETE CIC-Xisto (ETE-04) e ETE Santa Quitéria (ETE-05). As amostras de esgoto bruto foram coletadas conforme procedimento padronizado pela Rede Covid Esgotos na Nota Técnica nº 01 (MONITORAMENTO COVID ESGOTOS, 2020). As amostragens nas ETEs foram realizadas semanalmente (total de 27 meses), uma vez por semana, no período da manhã e de forma composta no período das 08h às 12h, totalizando quatro horas de amostragem. Durante e após o período de amostragem, realizada com amostradores automáticos (HACH AS950 e HACH SD900), as amostras foram mantidas refrigeradas a 4°C e transportadas para os laboratórios do Departamento de Hidráulica e Saneamento (DHS) e do Departamento de Patologia Básica da Universidade Federal do Paraná (UFPR), para as análises de parâmetros físico-químicos e extração e quantificação do RNA do SARS-CoV-2, respectivamente.

### 2.2. Análises físico-químicas do esgoto

Análises físico-químicas foram realizadas com o objetivo de caracterizar o esgoto e obter dados para determinar possíveis associações com a concentração de RNA do vírus SARS-CoV-2. Além disso, utilizaram-se dados de vazões médias afluente do período da coleta nas ETEs, as quais são medidas cotidianamente por meio de sensores em calha Parshall.

A demanda química de oxigênio (DQO) do esgoto bruto foi determinada utilizando o método colorimétrico em refluxo fechado (5220-D), conforme descrito em APHA (2017). O teor de nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_3\text{-N}$ )

foi determinado utilizando o método do fenato ( $4500\text{-NH}_3\text{F}$ ), que mede a intensidade da coloração azul adquirida pela solução a partir da formação de indofenol resultante da reação promovida (APHA, 2017). O pH foi determinado utilizando um pHmetro de bancada.

### 2.3. Extração e quantificação do SARS-CoV-2

A extração e a quantificação do RNA viral foram realizadas conforme a metodologia descrita por Mota *et al.* (2021), adaptada de Symonds *et al.* (2014) e Ahmed *et al.* (2015). O método de extração consistiu na filtragem de uma alíquota das amostras por meio de uma membrana eletronegativa com porosidade de  $0,45\ \mu\text{m}$  utilizando um sistema de filtração a vácuo. Posteriormente, o material genético retido na membrana foi extraído utilizando o kit AllPrep PowerViral DNA/RNA (Qiagen Inc.), conforme instruções recomendadas pelo fabricante.

Após a extração do material genético, a quantificação do RNA viral foi realizada por meio do teste recomendado pelo CDC (2019) para o marcador N1 e um marcador de RNase P para controle em RT-qPCR (Quantstudio 5 real-time PCR, Applied Biosystems). A curva de calibração do marcador N1 foi construída utilizando plasmídeos IDT 2019-nCoV\_N, que por serem de fita dupla (*double stranded*), implicou na necessidade de dividir os resultados por dois (MOTA *et al.*, 2021; BELMONTE-LOPES *et al.*, 2023). A concentração de RNA do vírus SARS-CoV-2 no esgoto ( $C_{\text{esgoto}}$ , cópias/mL) foi obtida conforme a Equação 1.

$$C_{\text{esgoto}} = \frac{C_0 \cdot V_2}{2 \cdot V_1} \quad (1)$$

Em que  $C_0$  é a concentração viral na solução de extração;  $V_1$  é o volume de esgoto filtrado até saturação da membrana; e  $V_2$  é o volume da solução de extração.

### 2.4. Compilação dos dados clínicos e análise estatística

Os dados clínicos sobre a pandemia de COVID-19 em Curitiba-PR foram obtidos do Painel COVID-19 Curitiba (<https://coronavirus.curitiba.pr.gov.br/painelcovid/>), divulgado pela Secretaria Municipal da Saúde. Os dados empregados neste estudo foram: novos casos diários, casos

ativos, número de leitos hospitalares ocupados e níveis de isolamento social.

Os dados clínicos e os resultados do monitoramento nos esgotos foram correlacionados utilizando a equação de Pearson, que é uma medida comum da precisão analítica. O valor de Pearson (R) foi calculado conforme a Equação 2.

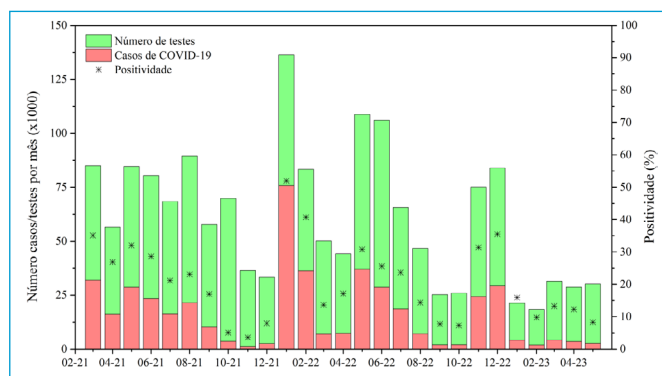
$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

Em que x e y são os valores medidos das variáveis correlacionadas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.2. Visão geral da pandemia de COVID-19 em Curitiba-PR

No início do monitoramento via esgotos (março de 2021), reportaram-se aproximadamente 33 mil novos casos da doença por mês, com uma diminuição gradual até dezembro de 2021. Em janeiro de 2022, os novos casos de COVID-19 aumentaram bruscamente com o surgimento da variante Ômicron (ADAMOSKI *et al.*, 2022), diminuindo progressivamente até abril de 2022. Tal comportamento foi observado também em outros dois momentos do mesmo ano. A **Figura 1** mostra o número de testes realizados, os novos casos reportados e a positividade dos testes, que indica a quantidade de testes positivos em relação ao número total de testes realizados mensalmente entre março de 2021 e



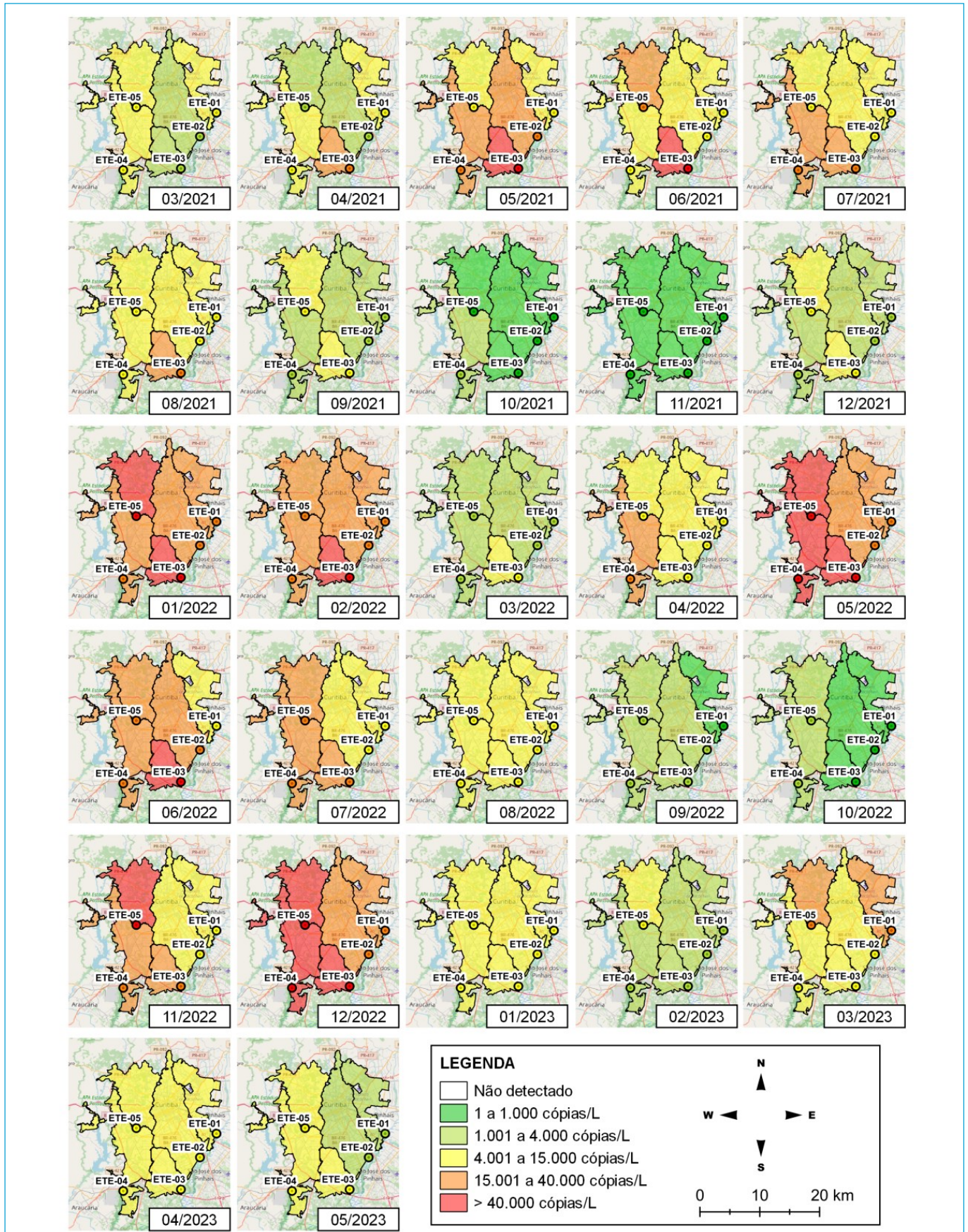
**Figura 1** - Panorama da COVID-19 em Curitiba/PR, de março/2021 a maio/2023 - número total de testes realizados, casos reportados e positividade dos testes, conforme reportado pela Secretaria Municipal da Saúde de Curitiba-PR (<https://coronavirus.curitiba.pr.gov.br/painelcovid/>).

maio de 2023. Observa-se que ao longo do período de análise, houve variações notáveis tanto na quantidade de testes realizados quanto na taxa de positividade deles, fatores que influenciaram diretamente o número de novos casos confirmados. Nesse contexto, destaca-se o mês de novembro de 2021, que registrou o menor número de casos positivos devido à redução da taxa de positividade. Por outro lado, nos meses mais recentes sob observação, observou-se um declínio no volume de testes realizados, porém, paradoxalmente, um aumento no número de casos confirmados, o que pode ser atribuído à elevação da taxa de positividade. Esse comportamento aparentemente contraditório pode ser explicado pelo possível surgimento de sintomas mais leves e um maior número de casos assintomáticos, o que, por sua vez, resultou em uma menor busca por testes de diagnóstico.

#### 3.2. Monitoramento espaçotemporal da concentração viral no esgoto

As análises qualitativas da distribuição espaçotemporal da concentração de RNA viral presente no esgoto foram conduzidas utilizando mapas de calor, que tinham o objetivo de reportar informações de fácil interpretação à comunidade e autoridades de saúde, periodicamente. As escalas dos mapas incluíram as seguintes faixas de valores, adaptados para a realidade local: (i) não detectado, quando o material genético do vírus não foi encontrado nas amostras; (ii) muito baixa, quando as concentrações virais estavam entre 1 e 1.000 cópias por litro; (iii) baixa, entre 1.001 e 4.000 cópias por litro; (iv) moderada, entre 4.001 e 15.000 cópias por litro; (v) alta, entre 15.001 e 40.000 cópias por litro; e (vi) muito alta, quando superiores a 40.000 cópias por litro. Assim, a distribuição espaçotemporal da concentração viral mensal no esgoto de Curitiba-PR, durante todo o período de monitoramento, é mostrada na **Figura 2**.

Os resultados indicaram que maio e junho foram os meses com as maiores concentrações de RNA viral em 2021, enquanto janeiro, fevereiro, maio e dezembro foram os mais críticos em 2022. Por outro lado, outubro e novembro de 2021 foram os meses com as menores concentrações em todo o período de monitoramento. Embora traços do RNA viral tenham sido detectados em todos os meses desde o início do monitoramento, houve semanas em que



**Figura 2** – Distribuição espacotemporal das concentrações mensais médias de RNA do SARS-CoV-2 nos esgotos afluentes às estações de tratamento de esgoto de Curitiba-PR (março/2021 a maio/2023).

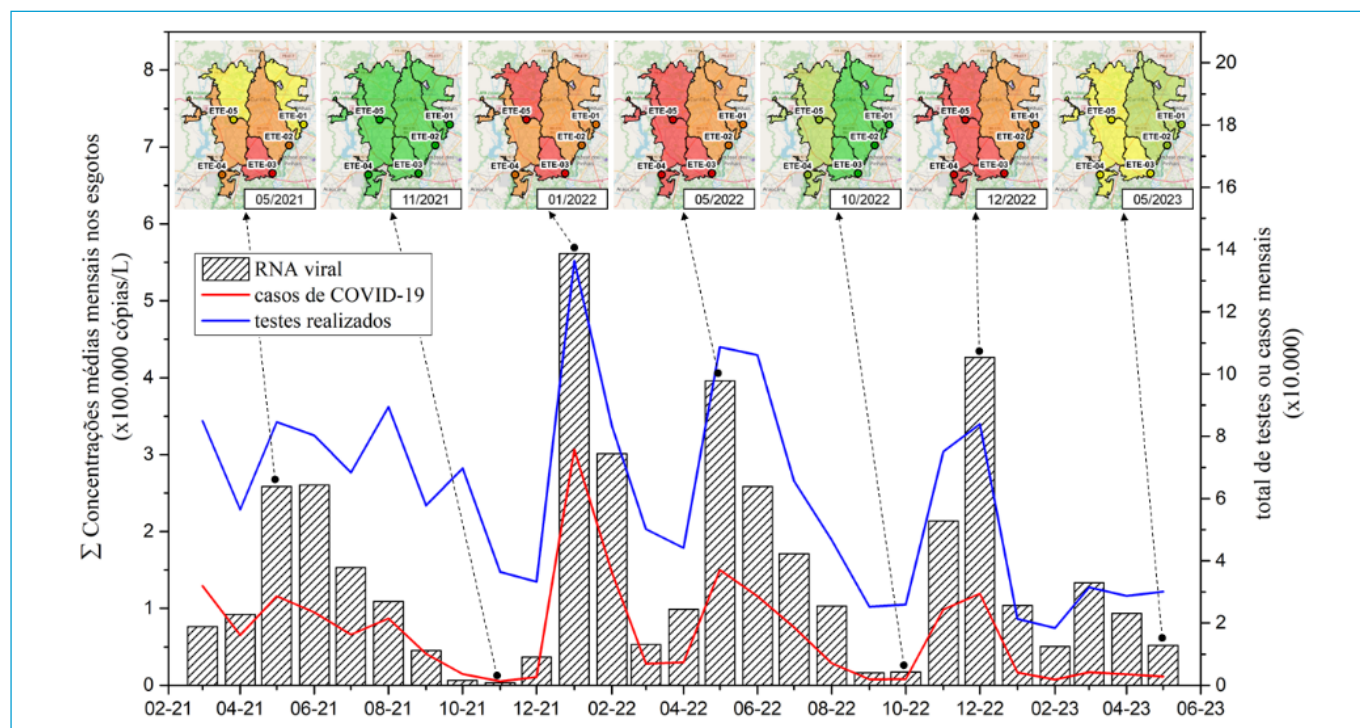
o material genético não foi detectado, especialmente nos meses em que a faixa de concentração muito baixa foi predominante. Tais resultados são coerentes com os dados clínicos obtidos a partir do Painel COVID-19 Curitiba, conforme apresentado na **Figura 3**, que apresenta a correlação entre os dados clínicos e as concentrações virais acumuladas. Observa-se que as concentrações de RNA viral no esgoto estão diretamente associadas à maior procura por testes ( $R = 0,795$ ) e ao número de casos de COVID-19 reportados ( $R = 0,888$ ). Além disso, a positividade dos testes também aumentou quando as concentrações virais no esgoto foram maiores ( $R = 0,862$ ), em que pese tais correlações poderiam ter sido negativamente influenciadas por fatores como os casos assintomáticos, sintomas brandos com baixa procura por testes e o uso de autoteste. Uma forte correlação também foi reportada recentemente pelo nosso grupo de pesquisa (BELMONTE-LOPES *et al.*, 2023), com a indicação de que as informações obtidas pelo monitoramento podem antecipar em até 14 dias os dados clínicos reportados pela Secretaria Municipal de Saúde.

Além disso, apesar de a COVID-19 ser uma doença altamente contagiosa e, conseqüentemente, de rápida

disseminação, os mapas de calor permitem observar que houve certo grau de regionalização dos casos da doença. Assim, o acompanhamento espaçotemporal por meio de mapas de calor permite que ações específicas de combate à COVID-19 sejam tomadas naquelas regiões mais críticas em um determinado momento.

As características das macrorregiões monitoradas, incluindo as áreas de contribuição no município de Curitiba-PR, estimativas da população contribuinte, concentrações de  $\text{NH}_3\text{-N}$  e DQO no esgoto, vazões de esgoto afluente às ETEs e soma das concentrações de RNA viral, foram sumarizadas na **Tabela 1**.

A soma de todas as concentrações de RNA viral por região demonstrou que o esgoto afluente à ETE-03 teve a maior concentração, o que poderia indicar que essa região de contribuição teria maior vulnerabilidade em relação à pandemia. Contudo, pondera-se que é importante levar em consideração as particularidades do sistema de esgotamento sanitário, tais como a área de contribuição e a integridade das redes coletoras de esgoto. De acordo com a população atendida e as vazões afluentes, as duas maiores ETEs de Curitiba são as ETE-01 e ETE-02. Entretanto, as



**Figura 3** – Relação entre a soma das concentrações médias mensais de RNA do SARS-CoV-2 nos esgotos afluentes às estações de tratamento de esgoto e os dados clínicos reportados pela Secretaria Municipal da Saúde de Curitiba-PR (março/2021 a maio/2023).

**Tabela 1** – Abrangência das estações de tratamento de esgoto e caracterização físico-química do esgoto em Curitiba-PR (março/2021 a maio/2023).

Pontos	Área <sup>a</sup> (km <sup>2</sup> )	População (10 <sup>3</sup> )	NH <sub>3</sub> -N <sup>c</sup> (mg/L)	DQO <sup>c</sup> (mg/L)	pH <sup>c</sup>	Vazão <sup>c</sup> (L/s)	Σ conc. viral (10 <sup>6</sup> cópias/L)
ETE-01	50,75	205 (970) <sup>b</sup>	45 ± 15 (11 - 71)	334 ± 198 (47 - 1.381)	7,5 ± 0,4 (6,8 - 10,0)	1.312 ± 319 (572 - 1.953)	2,32
ETE-02	95,95	387 (923) <sup>b</sup>	48 ± 15 (17 - 94)	549 ± 280 (139 - 1.711)	7,5 ± 0,4 (6,4 - 8,9)	1.248 ± 241 (718 - 2.114)	2,28
ETE-03	35,89	286	80 ± 26 (16 - 154)	702 ± 259 (191 - 2.147)	7,5 ± 0,3 (6,5 - 8,2)	340 ± 103 (147 - 593)	5,93
ETE-04	80,44	322 (481) <sup>b</sup>	57 ± 18 (14 - 95)	428 ± 174 (76 - 1.115)	7,6 ± 0,3 (7,0 - 8,5)	590 ± 165 (309 - 1.031)	3,59
ETE-05	62,13	277	47 ± 13 (14 - 78)	378 ± 232 (104 - 2.191)	7,6 ± 0,3 (7,0 - 8,3)	497 ± 58 (397 - 647)	4,04

<sup>a</sup>Considerando-se somente a área de cobertura em Curitiba-PR; <sup>b</sup>população contribuinte total, incluindo a RMC; <sup>c</sup>concentrações médias com desvio padrão, e concentrações mínima e máxima; DQO: demanda química de oxigênio; ETE: estação de tratamento de esgoto.

contribuições da população de Curitiba-PR correspondem apenas a cerca de 20% e 40% do esgoto afluente à essas ETEs, respectivamente. O restante do esgoto é proveniente da RMC. Por outro lado, a ETE-03, que é a menor ETE do município, atende exclusivamente a população residente em Curitiba-PR e apresenta a menor área de contribuição.

Assim, as concentrações mais elevadas de NH<sub>3</sub>-N e DQO (**Tabela 1**) sugerem que o esgoto afluente à ETE-03 teve menos contribuições de águas pluviais e é, portanto, menos diluído em relação às demais ETEs, o que pode ser atribuído ao fato da rede coletora de esgoto ser mais recente e íntegra. Além disso, a região associada com a ETE-03 tem a menor área de contribuição, o que diminui o tempo de residência do esgoto na rede coletora. Por outro lado, as redes coletoras associadas com as ETEs-01 e ETE-02 são muito extensas, principalmente por incluírem municípios da RMC, o que pode resultar na degradação parcial do material genético e, consequentemente, na menor concentração de RNA viral afluente, apesar do grande adensamento populacional dessas regiões. A degradação do material genético em redes coletoras de esgoto é reportada como um importante fator de influência que requer avaliação cuidadosa em trabalhos de EBE (WADE *et al.*, 2022).

Os resultados obtidos neste trabalho corroboram com as análises feitas por Souza (2020), visto que as regiões inerentes às ETE-03 e ETE-04 apresentam índice de vulnerabilidade social em saúde (IVSS) médio-alto. Por outro lado, as demais regiões apresentam IVSS médio-baixo,

exceto nas suas regiões mais periféricas, onde predomina um IVSS médio-alto.

O monitoramento complementar de características físico-químicas do esgoto demonstrou ser importante no monitoramento epidemiológico. O NH<sub>3</sub>-N apresentou forte associação com a vazão afluente do esgoto, com coeficientes de correlação linear significativos nas ETE-01 (R = -0,705), 03 (R = -0,820) e ETE-04 (R = -0,774). Assim, onde há dificuldades no monitoramento da vazão em ETEs e, o NH<sub>3</sub>-N pode ser utilizado como seu estimador quando tal dado não estiver disponível. Por outro lado, os coeficientes de correlação linear entre DQO e vazão foram pouco significativos, indicando padrões associativos fracos. Anomalias nos valores desse parâmetro podem ser resultantes de procedimentos de manutenção e limpeza nas ETEs (por exemplo, recirculação de lodo e espuma), os quais podem influenciar nos dados obtidos com o monitoramento epidemiológico.

Insta salientar que as perspectivas futuras de aplicação da EBE, notadamente a partir das bases espaçotemporais aqui tratadas, são bastante promissoras, em especial na identificação de potenciais surtos de doenças, da ocorrência de bactérias resistentes a antimicrobianos, informações sobre o uso de drogas e exposição a produtos químicos de forma geral (BARCELLOS *et al.*, 2023).

## 4. CONCLUSÕES

A análise espaçotemporal das concentrações de RNA do vírus SARS-CoV-2 no esgoto consistiu em uma importante

ferramenta para identificar a distribuição dos casos de COVID-19 em Curitiba-PR, indicando quais as regiões mais críticas em relação ao número de pessoas infectadas. Os mapas de calor forneceram informações de fácil interpretação, havendo grande potencial de seu uso no planejamento de ações de forma regionalizada, para evitar a disseminação do vírus SARS-CoV-2. Há, contudo, fatores que podem influenciar a análise e a interpretação dos resultados da concentração de RNA viral, como o tamanho da rede coletora de esgoto, sua integridade e a diluição do esgoto por águas pluviais em períodos chuvosos. O monitoramento de parâmetros operacionais e físico-químicos, como a vazão de esgoto e a concentração de nitrogênio amoniacal, foi fundamental para uma melhor compreensão e interpretação dos resultados obtidos no monitoramento do RNA do SARS-CoV-2 no esgoto.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro obtidos junto às seguintes instituições: Agência Nacional de Água e Saneamento Básico – ANA; Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq; Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG; Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES; Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações de Tratamento de Esgoto Sustentável – INCT ETEs Sustentáveis). Agradecemos também à Sanepar (Diretoria de Operações), pelo envolvimento e participação da equipe de Pesquisa e Gestão da Inovação (GPIN) e Gestão do Tratamento de Esgoto (GTESG) e à equipe de profissionais do Aeroporto Afonso Pena que ajudou na pesquisa. Por fim, agradecemos o apoio do Secretaria Municipal de Saúde de Curitiba (SMS).

## REFERÊNCIAS

- ADAMOSKI, D.; BAURA, V.A.; RODRIGUES, A.C.; ROYER, C.A.; AOKI, M.N.; TSCHÁ, M.K.; BONATTO, A.C.; WASSEM, R.; NOGUEIRA, M.B.; RABONI, S.M.; DE ALMEIDA, B.M.M.; TRINDADE, E.D.S.; GRADIA, D.F.; SOUZA, E.M.; DE OLIVEIRA J.C. SARS-CoV-2 delta and omicron variants surge in Curitiba, Southern Brazil, and its impact on overall COVID-19 lethality. *Viruses*, v. 14, n. 4, p. 809, 2022. <https://doi.org/10.3390/v14040809>
- ADHIKARI, S.; HALDEN, R.U. Opportunities and limits of wastewater-based epidemiology for tracking global health and attainment of UN sustainable development goals. *Environment International*, v. 163, p. 107217, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107217>
- AGRAWAL, S.; ORSCHLER, L.; SCHUBERT, S.; ZACHMANN, K.; HEIJNEN, L.; TAVAZZI, S.; GAWLIK, B.M.; DE GRAAF, M.; MEDEMA, G.; LACKNER, S. Prevalence and circulation patterns of SARS-CoV-2 variants in European sewage mirror clinical data of 54 European cities. *Water Research*, v. 214, p. 118162, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118162>
- AHMED, W.; HARWOOD, V.J.; GYAWALI, P.; SIDHU, J.P.; TOZE, S. Comparison of concentration methods for quantitative detection of sewage-associated viral markers in environmental waters. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 81, n. 6, p. 2042-9, 2015. <https://doi.org/10.1128/AEM.03851-14>
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23. ed. Washington DC: American Public Health Association, 2017.
- BARCELLOS, D.S.; BARQUILHA, C.E.R.; OLIVEIRA, P.E.; PROKOPIUK, M.; ETCHEPARE, R.G. How has the COVID-19 pandemic impacted wastewater-based epidemiology? *Science of the Total Environment*, v. 892, p. 164561, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164561>
- BELMONTE-LOPES, R.; BARQUILHA, C.E.R.; KOZAK, C.; BARCELLOS, D.S.; LEITE, B.Z.; DA COSTA, F.J.O.G.; MARTINS, W.L.; OLIVEIRA, P.E.; PEREIRA, E.H.R.A.; MOTA FILHO, C.R.; DE SOUZA, E.M.; POSSETTI, G.R.C.; VICENTE, V.A.; ETCHEPARE, R.G. 20-Month monitoring of SARS-CoV-2 in wastewater of Curitiba, in Southern Brazil. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 30, n. 31, p. 76687-701, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-27926-x>
- CARITI, F.; CORZON, A.T.; FERNANDEZ-CASSI, X.; GANESANANDAMOORTHY, P.; ORT, C.; JULIAN, T.R.; KOHN, T. Wastewater reveals the spatiotemporal spread of SARS-CoV-2 in the Canton of Ticino (Switzerland) during the Onset of the COVID-19 Pandemic. *ACS ES&T Water*, v. 2, n. 11, p. 2194-200, 2022. <https://doi.org/10.1021/acsestwater.2c00082>
- CARRILLO-REYES, J.; BARRAGÁN-TRINIDAD, M.; BUITRÓN, G. Surveillance of SARS-CoV-2 in sewage and wastewater treatment plants in Mexico. *Journal of Water Process Engineering*, v. 40, p. 101815, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101815>
- CENTERS FOR DISEASE CONTROL AND PREVENTION (CDC). Novel coronavirus (2019-nCoV) Real-time rRT-PCR panel primers



and probes. 2019. Disponível em: <https://stacks.cdc.gov/view/cdc/84525>. Acesso em: 05 jan. 2024.

CLARO, I.C.M.; CABRAL, A.D.; AUGUSTO, M.R.; DURAN, A.F.A.; GRACIOSA, M.C.P.; FONSECA, F.L.A.; SPERANCA, M.A.; BUENO, R.F. Long-term monitoring of SARS-COV-2 RNA in wastewater in Brazil: A more responsive and economical approach. *Water Research*, v. 203, p. 117534, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117534>

ERICKSON, T.B.; ENDO, N.; DUVALLET, C.; GHAEI, N.; HESS, K.; ALM, E.J.; MATUS, M.; CHAI, P.R. "Waste Not, Want Not" – Leveraging Sewer Systems and Wastewater-Based Epidemiology for Drug Use Trends and Pharmaceutical Monitoring. *Journal of Medical Toxicology*, v. 17, n. 4, p. 397-410, 2021. <https://doi.org/10.1007/s13181-021-00853-4>

MONITORAMENTO COVID ESGOTOS. Nota Técnica nº 01/2020: Contribuição para a elaboração de planos de monitoramento da ocorrência do novo coronavírus no esgoto. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/acontece-na-ana/monitoramento-covid-esgotos/boletins-monitoramento-covid-esgotos/nota-tecnica-no-012020.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2024.

MOTA, C.R.; BRESSANI-RIBEIRO, T.; ARAÚJO, J.C.; LEAL, C.D.; LEROY-FREITAS, D.; MACHADO, E.C.; ESPINOSA, M.F.; FERNANDES, L.; LEÃO, T.L.; CHAMHUM-SILVA, L.; AZEVEDO, L.; MORANDI, T.; FREITAS, G.T.O.; COSTA, M.S.; CARVALHO, B.O.; REIS, M.T.P.; MELO, M.C.; AYRIMORAES, S.R.; CHERNICHARO, C.A.L. Assessing spatial distribution of COVID-19 prevalence in Brazil using decentralised sewage monitoring. *Water Research*, v. 202, p. 117388, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117388>

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO DO SANEAMENTO (SNIS). SNIS - Painel de Saneamento, 2021. Disponível em: <http://appsnis.mdr.gov.br/indicadores>. Acesso em: 05 jan. 2024.

SOUZA, M.N. O índice de vulnerabilidade das unidades municipais de saúde como estratégia de enfrentamento da COVID-19 na periferia de Curitiba. *Observatório das Metrópoles*, 2020. Disponível em: <https://www.observatoriodasmetrosoles.net.br/o-indice-de-vulnerabilidade-das-unidades-municipais-de-saude-como-estrategia-de-enfrentamento-da-covid-19-na-periferia-de-curitiba/>. Acesso em: 05 jan. 2024.

SYMONDS, E.M.; VERBYLA, M.E.; LUKASIK, J.O.; KAFLE, R.C.; BREITBART, M.; MIHELICIC, J.R. A case study of enteric virus removal and insights into the associated risk of water reuse for two wastewater treatment pond systems in Bolivia. *Water Research*, v. 65, p. 257-70, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.07.032>

WADE, M.J.; LO JACOMO, A.; ARMENISE, E.; BROWN, M.R.; BUNCE, J.T.; CAMERON, G.J.; FANG, Z.; FARKAS, K.; GILPIN, D.F.; GRAHAM, D.W.; GRIMSLEY, J.M.S.; HART, A.; HOFFMANN, T.; JACKSON, K.J.; JONES, D.L.; LILLEY, C.J.; MCGRATH, J.W.; MCKINLEY, J.M.; MCSPARRON, C.; NEJAD, B.F.; MORVAN, M.; QUINTELA-BALUJA, M.; ROBERTS, A.M.I.; SINGER, A.C.; SOUQUE, C.; SPEIGHT, V.L.; SWEETAPPLE, C.; WALKERS, D.; WATTS, G.; WEIGHTMAN, A.; KASPRZYK-HORDERN, B. Understanding and managing uncertainty and variability for wastewater monitoring beyond the pandemic: Lessons learned from the United Kingdom national COVID-19 surveillance programmes. *Journal of Hazardous Materials*, v. 424, Part B, p. 127456, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127456>

WEIDHAAS, J.; AANDERUD, Z.T.; ROPER, D.K.; VANDERSLICE, J.; GADDIS, E.B.; OSTERMILLER, J.; HOFFMAN, K.; JAMAL, R.; HECK, P.; ZHANG, Y.; TORGENSEN, K.; LAAN, J.V.; LACROSS, N. Correlation of SARS-CoV-2 RNA in wastewater with COVID-19 disease burden in sewersheds. *Science of The Total Environment*, v. 775, p. 145790, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145790>