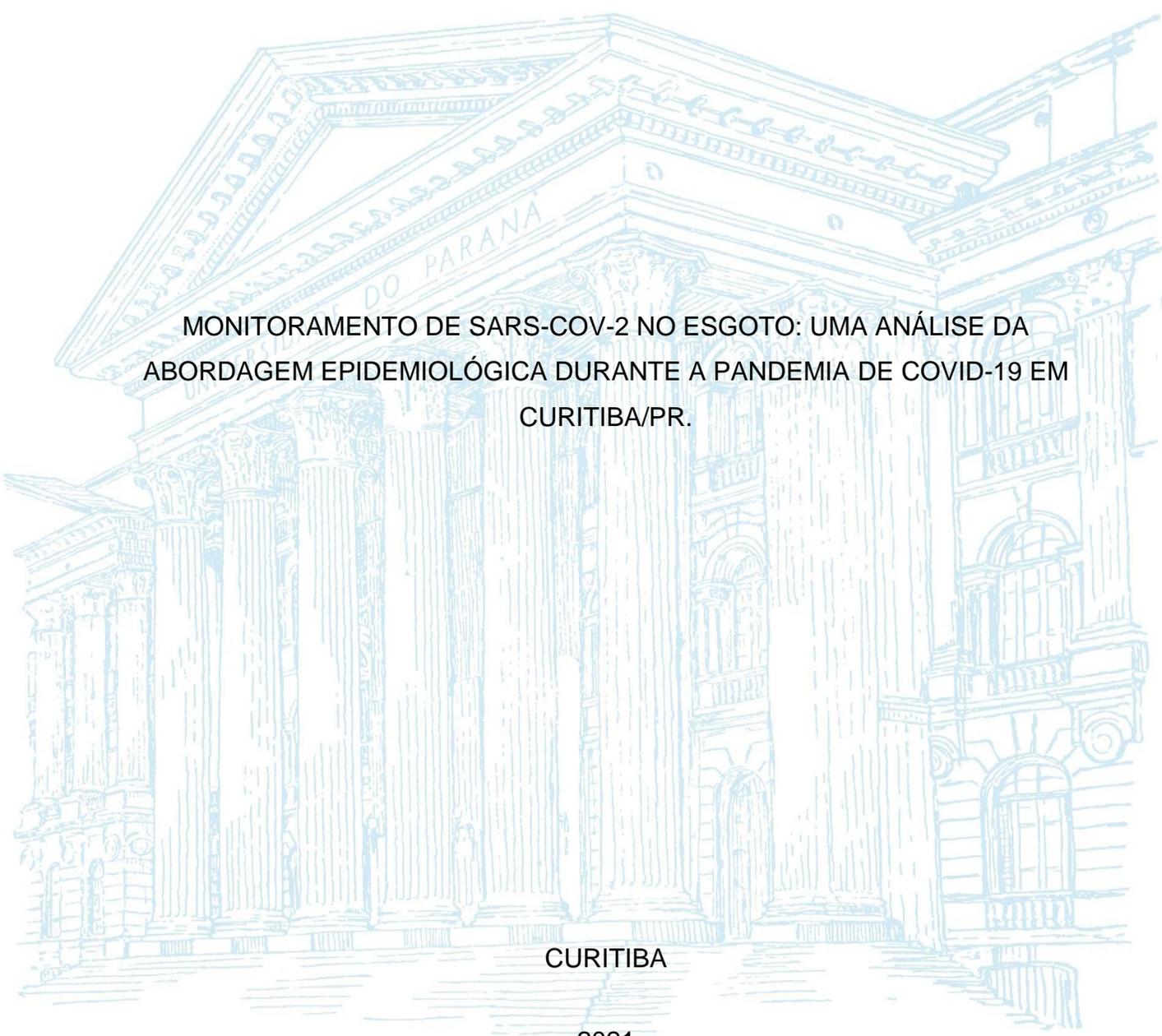


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ISABELA FOLLI FONTENELE DE PAULO



MONITORAMENTO DE SARS-COV-2 NO ESGOTO: UMA ANÁLISE DA  
ABORDAGEM EPIDEMIOLÓGICA DURANTE A PANDEMIA DE COVID-19 EM  
CURITIBA/PR.

CURITIBA

2021

ISABELA FOLLI FONTENELE DE PAULO

MONITORAMENTO DE SARS-COV-2 NO ESGOTO: UMA ANÁLISE DA  
ABORDAGEM EPIDEMIOLÓGICA DURANTE A PANDEMIA DE COVID-19 EM  
CURITIBA/PR.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Ramiro Gonçalves Etchepare

CURITIBA

2021



## TERMO DE APROVAÇÃO DE PROJETO FINAL

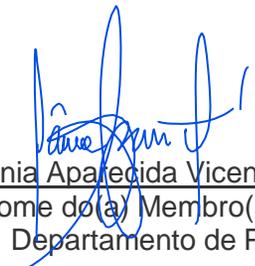
ISABELA FOLLI FONTENELE DE PAULO

### MONITORAMENTO DE SARS-COV-2 NO ESGOTO: UMA ANÁLISE DA ABORDAGEM EPIDEMIOLÓGICA DURANTE A PANDEMIA DE COVID-19 EM CURITIBA/PR

Projeto Final de Curso, aprovado como requisito parcial para a obtenção do Diploma de Bacharel em Engenharia Ambiental no Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, com nota dez (10,0), pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a):   
\_\_\_\_\_  
Nome do(a) Professor(a) Orientador(a)  
Departamento de Hidráulica e Saneamento/UFPR

Membro(a) 1:   
\_\_\_\_\_  
Nome do(a) Membro(a) Examinador 1  
Departamento de Engenharia Ambiental/UFPR

Membro(a) 2:   
\_\_\_\_\_  
Nome do(a) Membro(a) Examinador 2  
Departamento de Patologia Básica/ UFPR

## RESUMO

O final do ano de 2019 foi marcado pelo surgimento de uma nova cepa de coronavírus, SARS-CoV-2, (síndrome respiratória aguda grave coronavirus 2), agente etiológico da COVID-19. Diante da presença de RNA viral em fezes de indivíduos infectados, e a possibilidade de transmissão fecal-oral, salienta-se a importância de investigar a presença e infectividade do vírus no esgoto e em outras matrizes ambientais, e as vantagens de medidas de monitoramento de sistemas de esgotamento sanitário para se obter um panorama das áreas críticas de infecção e da distribuição espacial da doença em determinada região. Auxiliando no diagnóstico coletivo da COVID-19 e nas medidas a serem adotadas para o enfrentamento da pandemia e promoção da saúde pública, principalmente em regiões que não possuem condições sanitárias adequadas, testagem em massa e alta cobertura de vacinação na população, como é o caso do Brasil. A Epidemiologia de Esgotos já é utilizada em alguns países para rastreamento e obtenção de informações precoces sobre surtos de doenças virais. Muitas pesquisas utilizam como forma de identificação da carga viral a técnica Transcrição Reversa –Reação em cadeia da Polimerase (RT-PCR). Este estudo é uma avaliação crítica da literatura, baseado em documentos técnico-científicos disponibilizados digitalmente, de forma gratuita e da análise dos monitoramentos realizados pela Rede Monitoramento Covid Esgotos (RMCE) para cidade de Curitiba -PR, com o objetivo de avaliar a presença do novo coronavírus nas amostras de esgoto e ampliar as informações para o enfrentamento da pandemia de COVID-19. Mapas da distribuição do número de casos acumulados em sete dias foram elaborados a fim de comparar com as concentrações virais registradas no esgoto, pela RMCE.

Palavras-Chave: SARS-CoV-2. Transmissão fecal-oral. Esgoto. Epidemiologia de Esgotos. RT-PCR.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<i>FIGURA 1 – Estrutura Viral.....</i>	<i>5</i>
<i>FIGURA 2 – Estrutura do SARS-CoV-2.....</i>	<i>6</i>
<i>FIGURA 3 – Pontos Monitorados em Curitiba-PR.....</i>	<i>28</i>
<i>FIGURA 4 – Gradiente de cores representativas do número de casos ativos acumulados em 07 dias</i>	<i>30</i>
<i>FIGURA 5 – Desenvolvimento da carga viral por 10 mil habitantes no esgoto afluente às estações de tratamento de esgoto em Curitiba e Nº de novos casos confirmados de COVID-19.....</i>	<i>31</i>
<i>FIGURA 6 – Desenvolvimento da carga viral por 10 mil habitantes no esgoto afluente às estações de tratamento de esgoto em Curitiba e Nº leitos destinados a tratamento COVID-19 .....</i>	<i>36</i>
<i>FIGURA 7 – Desenvolvimento da carga viral por 10 mil habitantes no esgoto afluente às estações de tratamento de esgoto em Curitiba e Porcentagem da população alvo vacinada .....</i>	<i>38</i>
<i>FIGURA 8 – Porcentagem de vacinação da população adulta dos países da União Europeia e mortes por milhão de habitantes.....</i>	<i>41</i>
<i>FIGURA 9 – Mapa de distribuição espacial de carga de RNA de SARS-COV-2 do Projeto Rede Monitoramento COVID Esgotos (2021) e mapas de casos acumulados de sete dias - semanas epidemiológicas 30 e 31 .....</i>	<i>43</i>
<i>FIGURA 10 – Mapa de distribuição espacial de carga de RNA de SARS-COV-2 do Projeto Rede Monitoramento COVID Esgotos (2021) e mapas de casos acumulados de sete dias - semanas epidemiológicas 31 e 32 .....</i>	<i>44</i>

## **LISTA DE TABELAS**

<i>TABELA 1- DADOS DE COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO POR ESTADO DO BRASIL.....</i>	<i>12</i>
<i>TABELA 2- INFORMAÇÕES DO DESENVOLVIMENTO DAS VACINAS DISPONÍVEIS NO BRASIL, 2021.....</i>	<i>15</i>
<i>TABELA 3- NÚMERO DE INFECÇÕES E ÓBITOS COVID-19 ATÉ NOVEMBRO DE 2021.....</i>	<i>21</i>
<i>TABELA 4- DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO EM ETES DE CURITIBA.....</i>	<i>29</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1	OBJETIVO GERAL.....	3
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>4</b>
2.1	VÍRUS.....	4
2.2	NOVO CORONAVÍRUS (SARS-CoV-2).....	6
2.2.1	ORIGEM.....	8
2.2.2	TRANSMISSÃO.....	10
2.2.3	EFEITOS NA SAÚDE HUMANA.....	13
2.2.4	DESENVOLVIMENTO VACINAS COVID-19.....	14
2.3	ESGOTO E CORONAVÍRUS.....	16
2.3.1	DETECÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DO SARS-CoV-2 EM ESGOTO E A POSSÍVEL ROTA DE CONTAMINAÇÃO VIA FECAL-ORAL.....	16
2.4	MONITORAMENTO DO CORONAVÍRUS.....	21
2.5	CARACTERIZAÇÃO DE AMOSTRA DE ESGOTO.....	23
2.6	METODOLOGIA PARA DETERMINAR A CONCENTRAÇÃO DO SARS-CoV-2 EM AMOSTRA DE ÁGUA E ESGOTO.....	24
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>25</b>
3.1	PROJETO REDE MONITORAMENTO COVID ESGOTOS.....	26
3.1.1	PONTOS AMOSTRADOS EM CURITIBA.....	28
3.2	ANÁLISE ESPACIAL.....	29
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>31</b>
4.1	CARGA VIRAL NO ESGOTO.....	31
4.2	EFEITO DE MEDIDAS DE CONTROLE EPIDEMIOLÓGICO NA CARGA VIRAL E NÚMERO DE CASOS CLÍNICOS.....	34
4.2.1	MEDIDAS DE RESTRIÇÃO DE CIRCULAÇÃO.....	34
4.2.2	VACINAÇÃO.....	38
4.3	ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA CARGA DE SARS-CoV-2 E NÚMERO DE CASOS EM CURITIBA—PR.....	42
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>48</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>49</b>

<b>APÊNDICE I – MAPAS DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA CARGA DE SARS-CoV-2 E NÚMERO DE CASOS EM CURITIBA—PR PARA AS SEMANAS EPIDEMIOLÓGICAS 18 A 33 .....</b>	<b>57</b>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------

## 1 INTRODUÇÃO

A pandemia de COVID-19, causada pela síndrome respiratória aguda grave corovanírus 2 (SARS-CoV-2), é uma emergência de saúde pública de preocupação internacional (WHO, 2020). Em 11 de março de 2020, a Organização Mundial de Saúde (OMS) declarou a COVID-19 como uma pandemia, pois o vírus apresenta alta taxa de transmissão e propagação em nível mundial. (OPAS, 2020).

O primeiro caso foi identificado no final de 2019 em Wuhan, na província de Hubei, na China. Até o momento, novembro de 2021, foram confirmados 254.382.438 casos e 5.114.874 óbitos em todo o mundo. No Brasil, na mesma data, foram confirmados 21.965.684 casos, 21.177.367 recuperados e 611.478 óbitos, segundo o boletim da OMS (WHO, 2021). Os principais sintomas da doença são: febre, tosse seca, congestão nasal, fadiga e em casos clínicos graves, pneumonia e complicações que podem levar o indivíduo a óbito (UZUNIAN, 2020).

Segundo Yeo et al (2020), indivíduos acometidos pela COVID-19 contêm o RNA viral do SARS-CoV-2 em suas fezes, indicando a replicação do vírus no trato gastrointestinal mesmo após as amostras do trato respiratório dos indivíduos serem negativas, levantando a hipótese da transmissão fecal-oral. Estudos realizados nas principais estações de tratamento de esgoto de Paris-FR, reforçam a presença do agente etiológico da COVID-19 em amostras de esgoto bruto e tratado através da análise RT-PCR (Reverse transcription polymerase chain reaction) (WURTZER et al., 2020).

Áreas com condições sanitárias precárias podem favorecer o aumento da disseminação e infecção do SARS-CoV-2 nas parcelas mais vulneráveis da população (CHERNICHARO, 2020), pois a carga viral diária despejada nos sistemas de esgoto dos municípios é expressiva, estimada na faixa de  $56,6 \times 10^6$  a  $11,3 \times 10^9$  genomas virais por pessoa infectada, por dia (HART et al., 2020). Esse dado traz questionamentos sobre a evolução dos casos de COVID-19 no Brasil e as condições sanitárias brasileira, pois, apenas 46% do esgoto gerado no país é tratado, e há grande disparidade entre regiões, por exemplo, centro-oeste e norte, com índice de tratamento de esgoto de 53% e 21%, respectivamente (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS, 2019).

Desta forma, pesquisadores e profissionais das áreas de saneamento e saúde enfrentam novos desafios conforme o número de casos de COVID-19 progride. O risco clínico não está completamente definido, e não se sabe com precisão o padrão de transmissibilidade, infectividade e mortalidade do novo coronavírus (DUAN et al., 2020).

As limitações de testagem em massa, pouca disponibilidade de vacinas para a população e muitos casos assintomáticos da COVID-19 dificultam a identificação e quantificação de indivíduos infectados. Portanto, alternativas para auxiliar a contenção da doença tornam-se necessárias. O monitoramento Epidemiológico de Esgoto é uma alternativa promissora para identificar áreas críticas de infecção, uma vez que o SARS-CoV-2 pode ser detectado nas águas residuárias, auxiliando as autoridades tomarem as medidas cabíveis para promover melhores condições de saúde para a população (SOARES, 2020). O monitoramento de sistemas de esgoto já é utilizado com sucesso para identificação de surtos de doenças como a hepatite A, norovírus e poliovírus (CHOI et al., 2018).

Muitos estudos abordando a presença do RNA viral e infectividade do novo coronavírus em diferentes matrizes ambientais como; esgoto bruto e tratado, águas superficiais, subterrâneas e pluviais, rios e represas tem surgido de diferentes partes do mundo (MAHLKNECHT et al., 2021; GUERRERO-LATORRE et al., 2020; FONGARO et al., 2021; PRADO et al., 2021; CAO et al., 2021; GORMELEY et al., 2020; WURTZER et al., 2020; FERREIRA, 2020; PECCIA et al., 2020; CHERNICHARO et al., 2020).

Diante das ações antrópicas e sua relação com o surgimento e transmissão de doenças provenientes de animais (zoonoses) por vírus, bactérias ou parasitas e a necessidade de novas medidas para auxiliar a promoção da saúde pública, no cenário atual, o controle da pandemia de COVID-19, o Engenheiro Ambiental desempenha papel muito importante. A transmissão da doença não ocorre apenas por meio do contato direto com indivíduos infectados, ou fômites, mas também pelo descarte inadequado de resíduos contaminados e a possível transmissão por meio hídrico (GHERNAOUT et al., 2020; SOARES et al., 2020). Portanto, esse profissional é capaz de contribuir propondo soluções que minimizam a propagação do SARS-CoV-2 através da modelagem ambiental, como ferramenta para identificação dessa e de novas cepas do agente etiológico da COVID-19 no esgoto, quanto por meio de projetos técnicos, que poderão

auxiliar no gerenciamento dos resíduos sólidos, residencial e hospitalar; execução do Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD) para o controle e mitigação de áreas desmatadas, que influenciam diretamente na proliferação de pandemias (RIBEIRO, 2020); identificação e monitoramento de áreas carentes em serviços sanitários como ferramenta de vigilância ambiental e epidemiológica, contribuindo com as autoridades sanitárias e poder público. Pois, ao se obter informações sobre os esgotos, se obtém simultaneamente, um diagnóstico das condições de saúde da população naquela região (SOARES et al., 2020), entre outros serviços ambientais.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente trabalho é realizar uma análise crítica sobre o uso de esgoto sanitário no estudo epidemiológico no âmbito da pandemia COVID-19 na cidade de Curitiba/PR.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar valores reportados de carga viral de SARS-CoV-2 no esgoto de Curitiba/PR em comparação com o número de casos clínicos diagnosticados no município;
- Avaliar o efeito de medidas de restrição da circulação de pessoas na carga viral e no número de casos clínicos;
- Avaliar o efeito da vacinação na carga viral no esgoto e no número de casos clínicos diagnosticados com COVID-19;
- Realizar uma análise crítica sobre o uso da epidemiologia com base no esgoto como alerta precoce de ocorrência de novos surtos da doença COVID-19 em regiões monitoradas.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

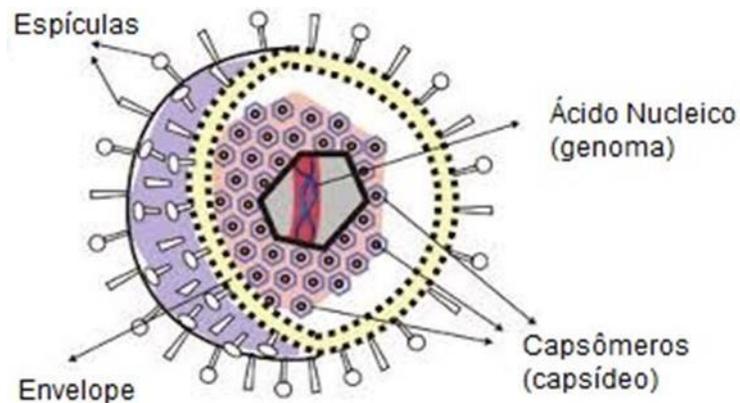
### 2.1 VÍRUS

Há diversas controvérsias na comunidade científica com relação ao vírus ser um ser vivo ou não. Segundo Stephens et al., (2010), os pesquisadores que defendem que o vírus não é um ser vivo levam em consideração que ele não tem vida livre, pois os vírus não possuem aparato enzimático suficiente para sua replicação, portanto ela só é possível dentro de uma célula viva (hospedeiro). E os que consideram como um ser vivo estabelecem duas características: a primeira em relação a sua capacidade de replicação, o que difere os vírus de outros agentes, como as toxinas bacterianas, e a segunda, quanto a presença de estrutura protetora de seu material genético, inexistente nos plasmídeos (moléculas circulares de DNA bacteriano) (STEPHENS et al., 2010).

Os vírus são organismos acelulares, que apresentam apenas o genoma, um capsídeo (estrutura que tem a função de manter a integridade do material genético) e, em alguns vírus, um envelope, revestimento externo ao capsídeo, formado em sua maioria por glicoproteínas e fosfolipídios (derivados de estruturas da célula hospedeira) com a função de ancoragem inicial na célula hospedeira para que ocorra a disseminação do vírus. Estas estruturas estão representadas na Figura 1, e necessitam da maquinaria celular para complementar seu ciclo replicativo. (STEPHENS et al., 2010).

Apesar de apresentarem baixa complexidade estrutural, os vírus não são estruturas frágeis, e possuem capacidade de controlar e direcionar o metabolismo do hospedeiro para seu benefício próprio, o que pode acarretar em grandes anomalias à célula hospedeira (STEPHENS et al., 2010).

FIGURA 1 – Estrutura Viral.



FONTE: Adaptado de STEPHENS (2010).

Os vírus são responsáveis por uma grande diversidade de infecções em seres humanos, o que tem desencadeado inúmeras epidemias e pandemias ao longo dos últimos séculos e que levaram a óbito milhões de pessoas por todo o mundo.

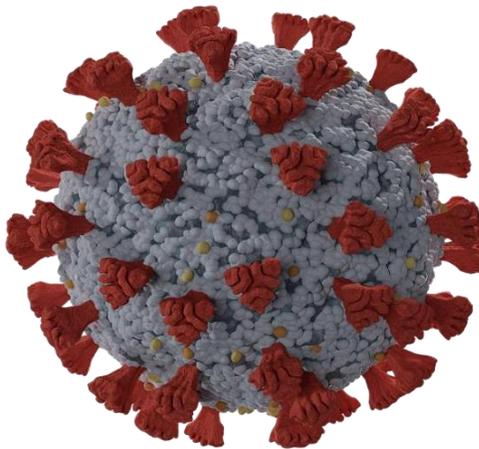
Dentre as pandemias que afetaram os seres humanos, se destacam a de varíola, na década de 80, que registrou aproximadamente 300 milhões de mortes; a da gripe espanhola, que atingiu a população mundial no ano de 1918, no final da primeira guerra mundial e deixou entre 20 e 40 milhões de óbitos; da AIDS (Síndrome da Imunodeficiência Adquirida), em 1980, com cerca de 20 milhões de óbitos em duas décadas; da gripe suína (H1N1), que ocorreu inicialmente no México em 2009 e logo se espalhou pelo mundo, registrando cerca de 20 mil mortes (TODA MATÉRIA, 2021).

No ano de 2019, foi observado inicialmente na cidade de Wuhan, na província de Hubei, na China, uma nova cepa de coronavírus, denominada SARS-CoV-2, síndrome respiratória aguda grave coronavirus 2, responsável pela propagação da doença infecciosa COVID-19, que até março de 2021, causou a morte de 2.600.504 pessoas em todo mundo.

## 2.2 NOVO CORONAVÍRUS (SARS-CoV-2)

O SARS-CoV-2 é um vírus envelope de fita simples de RNA positivo (RNA+), cujo nome se deve as estruturas proeminentes presentes na superfície do vírus, que lhe dá aparência de uma coroa (*corona* em latim), como é possível visualizar na Figura 2. Essas estruturas, chamadas de espículas, se ligam e fundem-se às células humanas, propiciando a entrada do vírus no organismo. A partir disso, o seu genoma se integra ao genoma celular e ao corpo humano e começa a produzir novas partículas virais, culminando na lise celular e na liberação de novos vírus no organismo. Após essa liberação viral, o corpo reage para combater o vírus, através dos glóbulos brancos do sangue, como os linfócitos, que são capazes de atacar e destruir as células infectadas pelo vírus, e então surgem os primeiros sintomas; febre, tosse seca, congestão nasal e fadiga são os mais comuns (UZUNIAN, 2020). Quando o sistema imunológico do organismo não é capaz de combater o vírus de forma eficaz, compreende-se que o indivíduo está acometido pela COVID-19, doença causada pelo SARS-CoV-2. Em alguns casos, o vírus consegue chegar aos pulmões desencadeando sintomas graves, como falta de ar e, conseqüentemente, menor oxigenação dos órgãos, que pode levar o indivíduo a óbito (ALDERETE et al., 2020).

FIGURA 2 – Estrutura do SARS-CoV-2.



FONTE: Portal UMA-SUS (2020).

Os vírus podem oscilar em duas vertentes – letalidade e transmissibilidade. Se forem muito virulentos, matam ou incapacitam o hospedeiro, e isso restringe sua habilidade de infectar novos hospedeiros. Por outro lado, se causarem poucos danos pode não haver replicação suficiente para se tornarem infecciosos. (STEPHENS et al., 2010).

Os coronavírus são uma família viral (pertencentes Ordem *Nidovirales* e Família *Coronaviridae*), divididos em quatro gêneros: alfa, beta, gama e delta, que causam infecções respiratórias em humanos e animais. De acordo com a Sociedade Brasileira de Medicina Tropical (SBMT, 2020) e a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS, 2020) das sete variedades conhecidas, quatro (alfacoronavírus 229E, NL63 e betacoronavírus OC43, HUK1) causam frequentemente sintomas de resfriado comum, ou pneumonia em seres humanos, e três causam infecções respiratórias graves nos seres humanos, acarretando surtos de epidemias e muitas vezes em óbito do hospedeiro, conforme detalhado a seguir:

- SARS-CoV – identificado em 2002 com origem na China, como agente etiológico da SARS - síndrome respiratória aguda grave, disseminou-se para 26 países, com 8.098 contaminados e aproximadamente 800 mortes (MANUAL MSD, 2021).
- MERS-CoV – foi detectado em 2012 inicialmente na Arábia Saudita como agente etiológico da MERS - síndrome respiratória do Oriente Médio, foram registrados aproximadamente 2.500 casos confirmados e cerca de 850 mortes em 27 países (MANUAL MSD, 2021)
- SARS-CoV-2 – novo coronavírus responsável pela pandemia de COVID-19, com início em Wuhan, na China, no final de 2019 e se disseminou por todo o mundo, contabilizando até o momento, janeiro de 2022, aproximadamente 296.496.809 casos confirmados e 5.462.631 óbitos (WHO, 2022).

Ao comparar MERS-CoV, SARS-CoV e SARS-CoV-2, em relação a taxa de letalidade e transmissibilidade, destaca-se que o MERS-CoV e SARS-CoV são vírus mais agressivos, com taxas de letalidade de 35% e 10%, respectivamente, e, por isso, são considerados menos transmissíveis, pois o vírus mata mais rapidamente seu hospedeiro, diminuindo o tempo de exposição a outros indivíduos. O SARS-CoV-2, possui menor taxa de letalidade, cerca de 4% e, conseqüentemente, alta transmissão do vírus (FIOCRUZ 2020; LANA, 2020).

Segundo Smith et al (2020), o SARS-CoV-2 é um vírus muito complexo, pois em relação aos outros dois coronavírus (MERS e SARS), os infectados geralmente apresentavam sintomas antes de se tornarem contagiosos, portanto, era possível isolá-los antes que houvesse a transmissão para outras pessoas. Com relação ao novo coronavírus, estudos apontam que a taxa mais alta de excreção viral (transmissibilidade) ocorre, para casos sintomáticos, um a dois dias antes do infectado apresentar sintomas e também há aqueles que não apresentam sintoma algum.

Um fator de preocupação em relação ao novo coronavírus são suas mutações genéticas, que resultam em cópias semelhantes do vírus original, mas não exatamente iguais, denominadas como variantes. Quando uma variante expressa propriedades físicas distintas, acarretando em comportamento diferente ao vírus original, como por exemplo replicação mais rápida ou transmissão mais eficiente, é chamado de cepa (CISSP, 2021).

### 2.2.1 ORIGEM

Os coronavírus SARS-CoV e MERS-CoV, assim como o novo coronavírus SARS-CoV-2 são de fontes zoonóticas. O SARS-CoV teve sua origem no Gato de Civeta, na China em 2002. O MERS-CoV, no camelo (Arábia Saudita em 2012) e, acredita-se que o morcego seja reservatório da SARS-CoV-2, transmitido ao homem via hospedeiro intermediário, possivelmente o pangolim, animal altamente comercializado e consumido para fins medicinais e alimentícios de forma ilegal no mercado chinês (LAM et al, 2020), ou outro animal selvagem comercializado no mercado úmido de Hubei, no qual, dados preliminares apontam como foco dos primeiros casos de COVID-19 (LI et al, 2020). Essa tese é respaldada pelos resultados positivos em relação a presença do vírus SARS-CoV-2 em amostras ambientais realizadas no mercado de frutos do mar (XINHUA, 2020).

No início da pandemia de COVID-19, houve diversos questionamentos sobre a origem do vírus SARS-CoV-2. Surgiram hipóteses que sugeriam que o vírus havia sido manipulado ou totalmente formulado em laboratório, porém, pesquisadores dos Estados Unidos, Austrália e Escócia publicaram uma carta na revista *Nature Medicine*, em 17 de março de 2020, trazendo evidências que o vírus surgiu a partir de processos de mutação natural da evolução dos seres vivos (BERNARDES, 2020).

A hipótese da origem do vírus de ter sido gerado em laboratório é descartada ao

identificar a correspondência genômica com um coronavírus de morcego, o genoma do SARS-CoV-2 apresenta 96% de similaridade com o do vírus BatCoV RaTG13, obtido do morcego *Rhinolophus affinis*, da província de Yunnan (ZHANG et al, 2020).

Segundo estudo realizado por Ji et al (2020), o SARS-CoV-2 pode ser um vírus recombinante entre um coronavírus de morcego e outro de origem desconhecida. De acordo com Zhang; Wu e Zhang (2020), foram encontradas evidências genômicas de um vírus similar ao SARS-CoV-2, nomeado como Pangolin- CoV, em pangolins malaios mortos.

O Pangolin- CoV é idêntico 91% ao SARS-CoV-2 e 90% ao BatCoV RaTG13, no nível de genoma completo, levantando a hipótese de que as espécies de pangolins podem ser um reservatório natural de coronavírus semelhante ao SARS-CoV-2 (Zhang; Wu e Zhang, 2020). Essa ideia é reforçada ao terem sido detectados coronavírus semelhantes ao SARS-CoV-2 em amostras de pulmão de pangolin (LIU; CHEN, W; CHEN; J.-P, 2019).

Os mercados de animais vivos, também conhecidos como mercados úmidos em grandes centros urbanos da China compreendem grande diversidade de espécies para comercialização, o que os difere é a forma de exposição desses animais para venda, onde são mantidos confinados em gaiolas, empilhados em prateleiras e o abate é feito na hora a pedido do cliente. Presume-se que tanto a SARS como o SARS-CoV-2 tenham surgido em mercados de animais vivos (PAIM; ALONSO, 2020).

Diversos virologistas e patologistas notificaram as autoridades chinesas sobre os perigos que esses mercados representam à saúde pública. A grande diversidade e mistura de patógenos de espécies domésticas e selvagens, combinado ao alto nível de estresse para esses animais mantidos em condições sanitárias precárias, em que hospedeiros de diversas espécies se reúnem, concebem condições ótimas para o aparecimento de novos patógenos que podem infectar seres humanos. Estas infecções ocorrem por meio do contato direto, com uma ferida exposta, por exemplo; pelo ar, por meio da aerossolização de material orgânico; ou até mesmo pela contaminação cruzada de outros alimentos (PAIM; ALONSO, 2020).

A China proibiu o comércio de animais selvagens após a epidemia de SARS em 2002, e a gripe aviária H7N9, em 2013, porém, a proibição não durou muito tempo, e nesse período, expandiu-se a procura por mercados ilegais. A venda de animais em mercados úmidos é mais proeminente na China e no Sudeste Asiático, mas ocorre também em diversas partes do mundo. A exposição de animais vivos não faz parte

apenas da tradição, mas também da necessidade, pois a possibilidade de refrigerar a carne nos locais de venda e transporte é limitada, uma vez que parte da população mundial – 13% em 2018, possui pouco ou nenhum acesso à energia, (WORLD BANK, 2018) realidade enfrentada nas áreas rurais e centros urbanos pobres da China (PAIM; ALONSO, 2020).

Há diversos tipos de vírus transitando em animais silvestres, e a transmissão dessas espécies para os seres humanos não é trivial, sendo que muitas mutações são necessárias para que os vírus possam efetivamente infectar os seres humanos. Contudo, tem-se propiciado condições cada vez mais viáveis para a seleção e propagação dessas mutações em hospedeiros intermediários, permitindo a mistura de diferentes cepas e combinações do material genético, possibilitando cada vez mais a contaminação e a propagação nos seres humanos, pela forma de criação dos animais para abate, com alta densidade de animais em fazendas de criação intensiva, e pela maneira e frequência do consumo de carne animal (WEBBY et al, 2003).

Em relação ao novo coronavírus SARS-CoV-2, existe a complexidade de relacionar sua origem zoonótica e hospedeiro intermediário, assim como seu comportamento no sistema imunológico de cada hospedeiro final, pois cada indivíduo tem respondido de forma diferente a contaminação pelo vírus (SMITH et al., 2020).

### 2.2.2 TRANSMISSÃO

Coronavírus são vírus com diâmetro entre 60nm a 140nm, seu RNA de fita simples e sentido positivo (RNA +) é uma peculiaridade que os assemelha ao sentido do RNA mensageiro dos seres humanos (responsável por conduzir a sequência genética aos ribossomos para dar início a síntese proteica). Portanto, os vírus ao se ligarem aos receptores celulares, induzindo a endocitose (processo pelo qual as células absorvem material através da membrana plasmática), liberam seu material genético no citoplasma dessas células e é lido imediatamente pelos ribossomos levando a síntese de proteínas que intermediarão os processos de transcrição e replicação viral, sem atravessar por processos de conversão de material genético que outros vírus precisam, resultando na lise celular e dissipação de novos vírus (RAMOS; FAUSTINO; SILVA, 2020).

De acordo com a Organização Pan-Americana de Saúde (2020), Organização Mundial de Saúde (2020) e FIOCRUZ (2020), o vírus responsável pela COVID-19 pode se disseminar através do contato direto ou indireto, por meio de superfícies e objetos contaminados ou pela proximidade com pessoas infectadas, através de secreções respiratórias, saliva ou gotículas que são expelidas quando o indivíduo tosse, fala ou espirra. O contato a menos de 1 metro com pessoas infectadas pode infectar o indivíduo sadio ao ter contato com essas gotículas pela boca, nariz ou olhos. Outra possível rota de transmissão do novo coronavírus é por meio dos fômites, objetos inanimados que podem absorver, reter e transportar organismos contagiantes ou infecciosos, portanto, ao tocar superfícies e objetos contaminados, não higienizar as mãos e ter contato com as mucosas pode, possivelmente, infectar o indivíduo, pois o vírus pode sobreviver por horas, até mesmo dias, em alguns materiais.

Procedimentos médicos e pessoas interagindo em ambientes fechados com pouca ventilação são capazes de produzir aerossóis (partículas que apresentam dimensões com diâmetro inferior a 5  $\mu\text{m}$ ), que podem permanecer suspensas no ar por horas e serem carregadas por correntes de ar. Se esses aerossóis contiverem o vírus causador da COVID-19, podem ser inalados por outras pessoas que não estiverem utilizando proteção individual adequada e adoecerem (LELIEVELD et al, 2020; OMS, 2020). Lelieveld et al (2020) avaliou alguns ambientes internos para calcular o risco de infecção por meio de aerossóis, como um escritório, sala de aula e uma confraternização, através de um modelo de planilha que inclui uma série de fatores modificáveis, como: área e altura interna do cômodo, taxa de ventilação ativa (com ar externo), número de pessoas no ambiente interno, etc, e parâmetros fisiológicos, como: concentração de respiração e de fala, frequência respiratória e probabilidade de deposição nos pulmões. Os resultados sugerem que os aerossóis de indivíduos altamente infecciosos (categoria que representa aproximadamente 20% dos pacientes com teste positivo para SARS-CoV-2) podem transmitir COVID-19 com eficácia em ambientes internos.

A hipótese de outra possível rota de transmissão, via fecal-oral é levantada por diversos pesquisadores. De acordo com Yeo et al. (2020), pacientes acometidos pela COVID-19 apresentam o RNA viral do SARS-CoV-2 em suas fezes, levantando a hipótese de que pode haver replicação do vírus no trato gastrointestinal e a transmissão

via fecal-oral pode ocorrer de modo esporádico, ainda que não comprovada até o momento.

A Organização Mundial da Saúde (2020) aponta que ainda não há evidências da sobrevivência do vírus SARS-CoV-2 em água ou esgoto. Contudo, essa possível rota de transmissão levanta questionamentos sobre as condições sanitárias, precárias em diversas regiões do mundo, que podem favorecer a transmissão de patógenos. No Brasil, apenas 46% de todo esgoto gerado é tratado, e regiões brasileiras possuem grande disparidade em relação ao tratamento, por exemplo, na região centro-oeste, 53% do esgoto é tratado, enquanto na região norte, a taxa chega a apenas 21% (SNIS, 2019).

A Tabela 1, a seguir, mostra a porcentagem de coleta e tratamento de esgoto por região do Brasil.

TABELA 1- DADOS DE COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO POR ESTADO DO BRASIL.

<b>UF</b>	<b>Porcentagem com Coleta sem Tratamento</b>	<b>Porcentagem com Coleta e Tratamento</b>
AC	1,98%	33,47%
AL	9,22%	16,56%
AM	3,66%	18,79%
AP	0,61%	6,69%
BA	12,28%	50,86%
CE	3,99%	39,69%
DF	0,00%	83,08%
ES	19,98%	41,03%
GO	2,60%	47,70%
MA	12,98%	3,93%
MG	42,48%	43,52%
MS	0,78%	42,81%
MT	2,13%	22,18%
PA	5,12%	3,73%
PB	16,22%	42,61%
PE	17,61%	26,96%
PI	2,34%	10,11%
PR	1,13%	64,04%
RJ	30,86%	42,75%
RN	6,04%	24,58%
RO	5,15%	3,61%
RR	3,82%	14,71%
RS	28,17%	26,33%
SC	8,61%	24,37%
SE	10,71%	21,60%
SP	22,30%	64,67%
TO	1,31%	28,97%
BRASIL	18,19%	43,52%

FONTE: AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (2017).

De acordo com os dados expostos, é possível observar que os estados de Roraima, Pará, Maranhão e Amapá possuem as menores porcentagens de coleta com tratamento de esgoto, com: 3,61%, 3,73%, 3,93% e 6,69%, respectivamente. Em termos relativos de casos de COVID-19 por população do estado, registra-se, com base nos dados disponibilizados pelo Consórcio de Veículos de Imprensa a partir de dados das Secretarias Estaduais de Saúde (2021) 11,54%; 6,67%; 5,09%; 12,64%, nessa ordem, e para o Brasil 6,15%, indicando uma situação mais severa que o panorama geral do país nos estados de Roraima, Pará e Amapá.

### 2.2.3 EFEITOS NA SAÚDE HUMANA

A COVID-19 afeta cada indivíduo de maneira diferente. Segundo dados da Organização Pan-Americana de Saúde (2020) e Organização Mundial da Saúde (2020), cerca de 80% das pessoas infectadas apresentam sintomas leves a moderados da doença e se recuperam sem precisar de tratamento hospitalar. Existem também os casos assintomáticos, nos quais embora os indivíduos estejam infectados não apresentam nenhum sintoma da doença. Mesmo assim, essas pessoas podem transmitir o vírus da mesma forma que os indivíduos sintomáticos. Destaca-se que aproximadamente 15% das pessoas infectadas desenvolvem sintomas severos (pneumonia grave) e apresentam dificuldade de respirar e necessitam de tratamento nas Unidades de Terapia Intensiva (UTI) e, muitas vezes, apoio de ferramentas para a respiração e cerca de 5% dos casos apresentam doença grave com risco de morte.

A OMS definiu alguns grupos que possuem maior chance de desenvolver a doença COVID-19 de forma grave e são considerados grupo de risco, como por exemplo: idosos (idade igual ou superior a 60 anos) e pessoas de qualquer idade com comorbidade de base, como doença cardiovascular ou diabetes, doença pulmonar crônica, câncer, doença cerebrovascular e imunossupressão.

Ainda, em 24 de março de 2020, a ONU incluiu fumantes - independentemente da idade e de terem outros problemas de saúde, no grupo de risco.

O desenvolvimento da COVID-19 gera uma intensa resposta inflamatória no trato respiratório, principalmente nos pulmões, podendo causar como consequência da doença,

fibrose pulmonar, que até o momento é a principal seqüela nos pacientes que apresentaram quadro clínico grave (GENTILE et al, 2020; OPAS, 2020). Entretanto, conforme a Organização Pan-Americana da Saúde (2020) as seqüelas não se restringem apenas ao sistema respiratório, havendo registros de danos no sistema cardiovascular, nos sistemas nervoso central e periférico e neuropsiquiátricas.

A seqüela cardiovascular mais identificada é a miocardite. Já em relação aos sistemas nervoso central e periférico, foram verificados casos de “declínio cognitivo de longo prazo, como deficiências de memória, atenção, velocidade de processamento e funcionamento, juntamente com perda neuronal difusa e encefalopatia aguda” (OPAS, 2020; OMS 2020; COTHRAN, 2020). Os danos neuropsiquiátricos mais citados são “alteração de humor, psicose, disfunção neuromuscular ou processos desmielinizantes” (doença do sistema nervoso na qual a bainha de mielina dos neurônios é danificada). E também, efeitos psicológicos negativos devido ao distanciamento social (OPAS 2020; OMS 2020; VINDEGAARD et al, 2020).

#### 2.2.4 DESENVOLVIMENTO VACINAS COVID-19

As vacinas atualmente disponíveis para imunização da população usaram diferentes tecnologias para o seu desenvolvimento. As principais estão listadas abaixo de acordo com o Instituto Butantan, 2021:

- Vacinas de vírus inativados – tecnologia clássica, amplamente estudada e consolidada. O vírus inativado é injetado no organismo, ele não possui capacidade de replicação, mas induz a uma resposta imunológica (CoronaVac).
- Vacinas de vetores virais – O adenovírus, que infecta chimpanzés, é manipulado geneticamente para que seja codificado a produção da proteína antigênica (proteína Spike (proteína “S”) do SARS-CoV-2), estimulando a resposta imune do organismo (AstraZeneca e Janssen).
- Vacinas de RNA mensageiro – O RNA mensageiro é capaz de gerar instruções para o organismo codificar a produção de proteína antigênica (proteína Spike). A vacina ao ser inoculada estimula a resposta imune específica (Pfizer).

A Vacina Janssen, do grupo Johnson & Johnson é aplicada em apenas uma dose.

TABELA 2 - INFORMAÇÕES DO DESENVOLVIMENTO DAS VACINAS DISPONÍVEIS NO BRASIL, 2021.

	<b>CoronaVac</b>	<b>Astrazeneca</b>	<b>Pfizer</b>	<b>Janssen</b>
<b>Tecnologia</b>	Vírus inativado	Vetor viral	RNA mensageiro	Vetor vira
<b>Eficácia</b>	A eficácia global pode chegar a 62,3% se o intervalo entre as duas doses for igual ou superior a 21 dias. Nos casos que requerem assistência médica a eficácia pode variar entre 83,7% e 100%	76% após a primeira dose e 81% após a segunda	95% após a segunda dose	66,9% de eficácia para casos leves e moderados, e 76,7% contra casos graves 14 dias após a aplicação
<b>Intervalo entre doses</b>	14 a 28 dias	12 semanas	Até 12 semanas após a primeira dose	Dose única
<b>Armazenamento</b>	De 2 a 8°C	De 2 a 8°C	Pode ser armazenada por até cinco dias em temperaturas de 2 a 8°C; entre -25 e -15°C por até duas semanas e entre -90 e -60°C após este período	De 2 a 8°C
<b>Voluntários em ensaios clínicos no Brasil</b>	12,5 mil pessoas	10 mil pessoas	2 mil pessoas	7,5 mil pessoas

FONTE: ADAPTADO DE INSTITUTO BUTANTAN (2021).

De acordo com OMS, 2021 o indivíduo vacinado fica muito provavelmente protegido contra a doença, porém, nem todas as pessoas podem ser vacinadas devido a patologias como HIV ou que possuam hipersensibilidade aos componentes da vacina. Contudo, se essas pessoas viverem entre outras que estejam vacinadas podem ficar protegida. Com o avanço da vacinação, ampliando o número de pessoas vacinadas de diversas faixas etárias o vírus encontra dificuldade para circular. Dessa forma, a probabilidade das

pessoas que não podem ser imunizadas ficarem expostas ao agente patológico diminui de forma considerável.

## 2.3 ESGOTO E CORONAVÍRUS

### 2.3.1 DETECÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DO SARS-CoV-2 EM ESGOTO E A POSSÍVEL ROTA DE CONTAMINAÇÃO VIA FECAL-ORAL

Segundo dados do Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas divulgado pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2017) e pelo Ministério das Cidades, no Brasil, aproximadamente 43% da população brasileira dispõe de coleta e tratamento de esgoto, e 12% utiliza fossa séptica. Portanto, considera-se que 55% da população possui tratamento adequado; 18% possui coleta de esgoto, mas sem tratamento (enquadrado como atendimento precário); e uma parcela correspondente a 27% da população não dispõe de coleta nem tratamento de esgoto.

Até o momento, o risco de indivíduos serem infectados pelo SARS-CoV-2 por meio do esgoto, seja pela inalação de aerossóis contaminados ou pela via fecal-oral é baixo quando existe coleta e tratamento de esgoto com etapa de desinfecção, porém, esta etapa de tratamento não é exigida e, portanto, não é comumente realizada no Brasil (ABES, 2020; INCT ETEs SUSTENTÁVEIS/UFMG; FIOCRUZ, 2020). A Resolução CONAMA n°430/2011 dispõe sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos de água receptores. Porém, não é estabelecido as mesmas para desinfecção do efluente.

Não se sabe precisamente por quanto tempo o agente etiológico da COVID-19 pode permanecer ativo no meio ambiente e no esgoto, ou seja, fora do hospedeiro (ser humano). De acordo com Wu et al (2020) evidências relevam que o SARS-CoV-2 pode se proliferar no sistema gastrointestinal humano e ser eliminado pelas fezes de indivíduos acometidos pela COVID-19, sendo esses sintomáticos ou assintomáticos. Em seguida, o vírus pode ser carregado por águas residuais e sistemas de saneamento, e sua transmissão pode ocorrer por meio da inalação de aerossóis infectados, principalmente em locais com alta densidade demográfica (GORMELEY et al, 2020).

No Brasil, uma parcela expressiva da população reside nos aglomerados subnormais, definido como forma de ocupação irregular para fins de habitação, caracterizados, em geral, por um padrão urbanístico irregular, carência de serviços públicos essenciais e localização em áreas com restrição à ocupação (IBGE, 2020). De acordo com o último censo, realizado em 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 11,4 milhões de pessoas vivem em favelas e comunidades carentes (IBGE, 2018). Portanto, no contexto pandêmico, medidas de higiene e distanciamento social, fundamentais para o enfrentamento da pandemia, são muitas vezes inexecutáveis para grande parte da população brasileira. Segundo dados do Instituto Trata Brasil (2020), 35 milhões de brasileiros não possuem acesso aos sistemas de abastecimentos de água tratada e outros 100 milhões não possuem coleta de esgoto, o que compromete o controle da propagação do vírus.

Esses dados reforçam a relevância de pesquisas sobre a transmissão do vírus por outras rotas, pois, indivíduos infectados pelo SARS-CoV-2 eliminam o RNA viral por um período de 14 a 21 dias, aproximadamente (PAN et al., 2020). Segundo trabalho publicado na revista científica *Lancet Gastroenterol Hepatol* (vol. 5 abril/2020) em torno de metade dos pacientes monitorados no estudo apresentaram RNA do SARS-CoV-2 nas fezes por um período de aproximadamente 11 dias após as amostras retiradas do trato respiratório terem detecção negativa. (CHERNICHARO; MOTA; ARAÚJO, 2020).

De acordo com Xu et al (2020), em pesquisa realizada na China com um grupo de dez crianças infectadas pelo SARS-CoV-2, oito apresentaram resultados positivos para o vírus em amostras fecais após as amostras retiradas do trato respiratório serem negativas. Os autores reforçam a preocupação com essa possível rota de transmissão e a importância de mais pesquisas que comprovem a capacidade de replicação do vírus em amostras fecais.

Em outro estudo, realizado no Quinto Hospital Afiliado da Universidade Sun Yat-sen (Fifth Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University), em Guangzhou na China, os autores relataram que dos 74 pacientes de COVID-19 investigados, 41 testaram positivo em amostras fecais, por aproximadamente 27 dias, à medida que, para as amostras respiratórias, os resultados persistiram positivos, em média, 16 dias desde o aparecimento do primeiro sintoma (WU et al., 2020).

Além dos estudos em amostras dos indivíduos infectados, deu-se início na testagem e monitoramento de amostras retiradas do esgoto. A presença do material genético do agente etiológico da COVID-19 no esgoto foi detectada pela primeira vez na Holanda, em amostras retiradas do esgoto do Aeroporto Schiphol, em Amsterdam, após quatro dias do anúncio da primeira pessoa acometida pela COVID-19, em 27 de fevereiro de 2020. O monitoramento do esgoto do Aeroporto forneceu informações importantes sobre a presença do SARS-CoV-2 no local e também na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) instalada nas proximidades. Esse fato importante foi precursor para que outros locais dessem início no monitoramento de sistemas de esgotamento sanitário (ABES, 2020).

Evidência do RNA viral do SARS-CoV-2 em amostras de esgoto também foram registradas em Paris, na França. De acordo com Wurtzer et al (2020), foram analisadas amostras de esgoto sanitário bruto e tratado das três maiores estações de tratamento de esgoto parisiense, no período de 5 de março a 23 de abril de 2020. Todas as amostras processadas obtiveram positivo para a presença de genomas SARS-CoV-2, conforme avaliado por RT-PCR (*Reverse transcription polymerase chain reaction*). Foi constatada a presença do vírus em 75% das amostras de esgoto tratado, porém, foi observado que a ETE possibilitou a redução em 100 vezes da carga viral e se confirmou o aumento da quantidade de material genético em águas residuais brutas em decorrência do aumento de casos de COVID-19 observados a nível regional, assim como o decaimento acentuado do genoma com a redução de novos casos. Dessa forma, os autores afirmam a importância do monitoramento de esgotos sanitários como ferramenta para investigar a circulação do novo coronavírus.

No Brasil, pesquisadores da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz) com participação da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) acompanham a disseminação do novo coronavírus em amostra da rede coletora de esgotos na cidade de Niterói-RJ, as coletas e análises se iniciaram em 15 de abril de 2020 e o projeto tem duração prevista de 12 meses. Os resultados obtidos indicaram amostras positivas do SARS-CoV-2 em, aproximadamente, 85% das amostras coletadas em dez semanas (FERREIRA, 2020).

As amostras de esgoto bruto foram coletadas em 25 pontos distribuídos estrategicamente pela cidade de Niterói e 4 pontos em estações de tratamento de esgoto

(ETEs), sendo dois pontos de destinação de efluente hospitalar. A metodologia utilizada é de ultracentrifugação, método indicado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), empregado para análises de concentração de vírus em esgotos associado à técnica de RT-PCR em tempo real (FERREIRA, 2020; UFMG, 2020).

Fongaro et. al., (2021) quantificaram RNA do SARS-Cov-2 em Florianópolis-SC, município relevante turisticamente para o Brasil, e foi constada presença do RNA do vírus em amostras de esgoto bruto coletadas entre outubro de 2019 e março de 2020. Os autores coletaram amostras em 06 campanhas efetuadas em dias distintos e o material coletado foi armazenado a  $-80^{\circ}\text{C}$  para posterior, teste RT-PCR. Os resultados das análises laboratoriais indicaram presença do SARS-Cov-2 a partir do dia 27/11/2019, antes do primeiro caso confirmado em um indivíduo no Brasil, indicando a circulação do vírus antes dos casos iniciarem a ser diagnosticados.

O Projeto Rede Monitoramento Covid Esgotos coordenada pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações de Tratamento de Esgotos Sustentáveis (INCT ETEs Sustentáveis) e pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) tem como objetivo ampliar a disponibilidade de informações, fornecendo subsídios para tomadas de decisões visando o enfrentamento da pandemia de COVID-19 através do monitoramento do RNA viral de SARS-CoV-2 nos esgotos de seis capitais brasileiras: Belo Horizonte, Curitiba, Fortaleza, Recife, Rio de Janeiro e do Distrito Federal.

Os resultados obtidos sobre a ocorrência do novo coronavírus nos esgotos são disponibilizados em formas de boletins informativos e podem auxiliar autoridades locais e de saúde no direcionamento das medidas de isolamento social, fornecer alertas precoces do aumento de concentração viral de forma regionalizada, identificar tendências da presença do SARS-CoV-2 nos pontos monitorados e analisar as áreas de maior incidência do vírus. Dessa forma, o projeto auxilia no entendimento da dinâmica de circulação do vírus, fornecendo informações relevantes para medidas de controle e antecipação de novos surtos virais.

Similar ao Projeto Rede Monitoramento Covid Esgotos, a Rede Vírus – MCTI (Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações), um comitê que reúne pesquisadores especialistas de diversas instituições de pesquisa, representantes de governo, agências

de fomento do ministério, centros de pesquisa e universidades tem como objetivo promover iniciativas para o enfrentamento de viroses emergentes. O projeto realizou o monitoramento de COVID-19 em águas residuais no Brasil na região do ABC Paulista e identificou RNA viral nos 2 pontos de ETEs e 2 poços de visita, monitorados desde janeiro de 2021.

Também semelhante ao proposto pelo Projeto Rede Monitoramento Covid, Peccia et. al. (2020) avaliaram a presença de SARS-Cov-2 em amostras de lodo primário na área metropolitana de New Heaven, Connecticut. O comportamento da curva de infecções confirmadas (testes positivos) se aproxima do gráfico de dispersão que representa a concentração de RNA do vírus no esgoto (cópias genômicas/mL). Nos dias observados, os picos de concentração são em dias muito próximos aos picos de número de casos no local de estudo. Com base nesse estudo, sustenta-se a hipótese de as análises de lodo/esgoto serem indicativas de aumentos nos números de casos.

Os autores, ainda, avaliaram qual seria o intervalo entre aumento na concentração de RNA no lodo e um aumento no número de casos. A partir da observação dos erros quando aplicado um modelo de séries temporais nos dados de testes positivos em função da concentração viral no lodo, foi possível identificar que a concentração no esgoto antecipa o número de casos em relação ao dia do teste em 0 a 2 dias; antecipa o número de admissões em hospitais de 1 a 4 dias; e antecipa o número de casos em relação à data de divulgação do teste de 6 a 8 dias (PECCIA, J. et. al., 2020).

Esses resultados demonstram a importância da testagem em efluentes sanitários, visto que se antecipa em 6 a 8 dias de resultados de testes, de acordo com os resultados da modelagem de série temporal executada por Peccia et. al. (2020).

Ainda não foram encontradas evidências suficientes que comprovem a infecção por meio do esgoto, seja pela ingestão (via fecal-oral), quanto por inalação de aerossóis contaminados ou pelo contato direto com a mucosa dos olhos e feridas na pele (ABES, 2020). No entanto, devido as evidências da presença do SARS-CoV e MERS-CoV nas fezes de infectados, e pela capacidade de ambos em se manterem ativos em condições que propiciam sua transmissão via fecal-oral, para o SARS-CoV-2, essa também pode ser uma possível rota de transmissão (CHERNICHARO et al., 2020). Dessa forma, o

monitoramento do esgoto torna-se uma ferramenta relevante para fornecer alertas sobre a detecção e a circulação do vírus.

## 2.4 MONITORAMENTO DO CORONAVÍRUS

O esforço individual e coletivo da população para manter o distanciamento social é fundamental para que o crescimento exponencial no número de casos de COVID-19 seja amenizado, dessa forma, evita-se que os casos clínicos mais graves se concentrem em um período curto de tempo, possibilitando os hospitais, e em destaque para o Brasil, o Sistema Único de Saúde (SUS) de prestar atendimento para aqueles que demandarem por tratamentos intensivos sem sobrecarregar o sistema de saúde ou deixar de atender pacientes acometidas por outras enfermidades.

O Brasil está entre os três países com maior número de casos confirmados e de óbitos (OMS, 2020), como pode-se analisar na Tabela 1. As limitações dos testes em massa para confirmação da COVID-19, o grande número de indivíduos infectados assintomáticos e a pouca distribuição de vacinas dificultam a quantificação e identificação de áreas com altas taxas de contaminação. Dessa forma, alternativas de monitoramento, como a modelagem ambiental de sistemas de esgotamento sanitário surge como importante ferramenta para elucidar a circulação do vírus em determinadas regiões, auxiliar as medidas de saúde pública e contenção da doença causada pelo novo coronavírus.

TABELA 3- NÚMERO DE INFECÇÕES E ÓBITOS COVID-19 ATÉ NOVEMBRO DE 2021.

<b>País</b>	<b>Número de Infectados</b>	<b>Número de óbitos</b>
Estados Unidos	47.702.004	770.162
Índia	34.544.882	466.980
Brasil	22.030.182	613.066
Reino Unido	9.974.847	144.286
Rússia	9.468.189	269.057
Turquia	8.652.172	75.618
França	7.251.808	116.242
Irã	6.092.822	129.280
Alemanha	5.573.756	100.119
Argentina	5.317.633	116.415
Espanha	5.111.842	87.904

FONTE: OMS (2021).

Segundo HART et al (2020) a carga diária do SARS-CoV-2 nos esgotos sanitários é estimada na faixa de 56,6 milhões a 11,3 bilhões de genomas virais por pessoa infectada por dia. De acordo com os dados disponíveis até o momento, reforça-se que o risco de transmissão por meio de sistemas de esgoto é baixo quando existe coleta e tratamento com desinfecção (HART; HALDEN, 2020).

Contudo, com o aumento de indivíduos infectados e a maior circulação do vírus entre a população, conseqüentemente, haverá aumento da carga viral nos sistemas de esgoto dos municípios. Portanto, detectar as áreas de maior ocorrência e o destino do novo coronavírus no esgoto possibilita a previsão de possíveis surtos da doença, otimizando a resposta do sistema de saúde e contribuindo para o planejamento de ações na promoção da saúde pública. Este monitoramento pode contribuir principalmente em locais com deficiências nos serviços de coleta e tratamento de esgoto, abastecimento de água e testagem em massa para a detecção do SARS-CoV-2, como é o caso do Brasil (SOARES et al, 2020).

A Epidemiologia de Esgoto é uma alternativa promissora que já possui sucesso no rastreamento de surtos de doenças como a hepatite A; norovírus, principal causador de gastroenterite e poliovírus, agente que causa a poliomielite. A técnica de rastreamento também é empregada para o monitoramento de uso de drogas ilícitas, principalmente na Europa (CHOI et al., 2018).

Hart e Halden (2020) avaliaram os desafios e oportunidades do monitoramento de sistemas de esgoto para contabilizar as infecções ativas pelo SARS-CoV-2 de forma local e global. O estudo foi realizado na cidade de Tempe, Arizona, EUA tendo sido utilizada uma modelagem matemática para estimar o número de indivíduos infectados a partir de dados de concentração de RNA previsto em esgoto. De acordo com Zhang et al (2020), a concentração de carga viral estimada por pessoa infectada por dia na América do Norte e Europa é de aproximadamente 0,15 a  $141,5 \times 10^6$  genomas virais por litro de água residual gerada.

Na modelagem realizada por Hart e Halden (2020) foram incluídos os seguintes parâmetros: faixa de concentração de RNA esperada nas fezes de infectados; valores de geração de efluentes per capita; dados da cinética de decaimento para o novo coronavírus, baseado em biomarcadores; efeito da temperatura média do esgoto na

cinética de decaimento e limite de detecção em amostras de esgoto. Os resultados indicaram que, de acordo com as condições locais, um indivíduo infectado, apresentando sintomas ou não, teoricamente poderá ser detectado entre 100 a 2.000.000 de pessoas não infectadas, utilizando a Epidemiologia de Esgoto, e se monitoradas as cerca de 105.600 estações de tratamento de esgoto operadas globalmente, 2,1 bilhões de pessoas, aproximadamente, podem ser monitoradas. Os autores apontam que os custos do monitoramento podem variar entre regiões devido aos diferentes custos de trabalho, requisitos de segurança, infraestrutura, etc. No entanto, mostra-se mais econômico e prático quando comparado a testes clínicos por indivíduo. Hart e Halden (2020) recomendam que o monitoramento seja realizado em conjunto com os testes clínicos em duas etapas principais: Epidemiologia do Esgoto utilizada para identificar áreas críticas de contaminação e enumerar a quantidade de infectados e testes clínicos para identificar o indivíduo infectado nos locais indicados pela ferramenta.

O emprego do monitoramento do esgoto a partir da modelagem ambiental pode trazer benefícios para localidades que possuem limitações econômicas, logísticas e operacionais para o enfrentamento da pandemia. Essa ferramenta pode auxiliar na detecção do vírus em estágio inicial na população, proporcionando tempo hábil para que medidas pertinentes sejam tomadas, como a avaliação da necessidade de aumento ou redução das práticas de distanciamento social, ou definições mais rígidas, como o lockdown, bem como o monitoramento de novas cepas do SARS-CoV-2 e outras doenças infecciosas (SOARES, 2020).

## 2.5 CARACTERIZAÇÃO DE AMOSTRA DE ESGOTO

Até o momento, foram propostos diferentes protocolos para determinar a concentração das partículas virais do SARS-CoV-2 em esgoto (KITAJIMA et al., 2020).

A Nota Técnica: “Métodos para concentração e quantificação do novo coronavírus em amostras de esgoto por análises moleculares” (2020), utilizada no âmbito do Projeto-piloto: “Detecção e quantificação do novo coronavírus em amostras de esgoto nas cidades de Belo Horizonte e Contagem”, visa estabelecer uma metodologia, mais simples e que possa ser utilizada por vários laboratórios de países em desenvolvimento para

concentração e quantificação do SARS-CoV-2 por técnicas moleculares, uma vez que utiliza os equipamentos convencionais para filtração de amostras de água e esgoto.

## 2.6 METODOLOGIA PARA DETERMINAR A CONCENTRAÇÃO DO SARS-CoV-2 EM AMOSTRA DE ÁGUA E ESGOTO.

O protocolo para determinar a concentração e extração do RNA viral escolhido é o de filtração em membrana eletronegativa e extração do RNA viral diretamente da membrana. Membranas eletronegativas são usualmente utilizadas para determinar a concentração de vírus entéricos (grupos virais presentes no trato gastrointestinal humano e que, após transmissão fecal-oral, podem causar infecções em indivíduos susceptíveis) (PRADO; MIAGOSTOVICH, 2014) em amostras de esgoto (SYMONDS et al., 2014; TEIXEIRA et al., 2017). O SARS-CoV-2 é um vírus envelopado, portanto, apresenta grande afinidade de adsorção à membrana eletronegativa (HARAMOTO et al., 2009)

De acordo com Ahmed et al. (2020) o método de adsorção em membrana eletronegativa e extração do RNA viral diretamente da membrana é considerado simples, com custos baixos e mais ágil no processamento abundante de amostras, ao ser comparado com outros métodos.

O processamento de amostras consiste, inicialmente, na determinação da concentração das partículas virais. No método empregado, não é realizado a eluição dos vírus retidos na membrana, se extrai o material genético diretamente da membrana, utilizando kit comercial para extração de ácidos nucleicos virais (INCT ETEs SUSTENTÁVEIS, 2020).

A extração do RNA é realizada seguindo o protocolo estabelecido pelo fabricante do kit comercial. Em seguida, a detecção do SARS-CoV-2 em amostras de esgoto é realizada pela técnica da RT-qPCR (Reação em Cadeia da Polimerase em tempo real com transcrição reversa) (HELLER et al., 2020; MEDEMA et al., 2020). A técnica de RT-qPCR consiste na transcrição reversa do RNA isolado das amostras de esgoto para cDNA (DNA complementar), em seguida o material genético é amplificado usando fluorescência. A técnica de RT-qPCR é considerada pela Organização Mundial da Saúde como padrão ouro para detecção do SARS-CoV-2 (INCT ETEs SUSTENTÁVEIS, 2020).

### 3 METODOLOGIA

Esse trabalho consistiu, primeiramente, em realizar uma revisão sistemática da literatura sendo realizado um estudo com o objetivo reunir materiais relevantes e semelhantes de vários autores para análise. É considerado como uma pesquisa secundária, pois utiliza estudos primários para fazer a análise (SAMPAIO E MANCINI, 2007).

Foram estabelecidas duas etapas metodológicas. Na primeira, focou-se no levantamento documental relacionado ao tema abordado. A segunda etapa compreendeu a leitura, interpretação, segregação, organização e compilação das informações obtidas na etapa anterior.

Com o propósito de abranger o máximo de materiais disponíveis, não se delimitou o intervalo de tempo de publicação ou idioma, sendo incluído todos os materiais disponíveis eletronicamente e de forma gratuita. Porém, pela abordagem atual do tema, a maioria dos conteúdos utilizados foram publicados em 2020. Dessa forma, foram analisados artigos, livros, notas técnicas, entrevistas e revisões de literatura.

A busca de informações foi realizada no *Google Acadêmico*, *Science Direct*, *Scopus*, *Portal de Periódicos CAPES*, utilizando as palavras-chave em português: “SARS-CoV-2 e efluentes”, “COVID-19 e saneamento”, “COVID-19 e esgoto”, “SARS-CoV-2 e águas residuárias”, “COVID-19 transmissão fecal-oral”, “SARS-CoV-2 rota de transmissão fecal-oral”, e em inglês: “*sewage coronavirus*”, “*sewage COVID-19*”, “*wastewater coronavirus*”, “*environmental modelling COVID-19*”, “*fecal-oral transmission coronavirus*”, “*fecal-oral route COVID-19*”.

Inicialmente, os textos foram analisados pelo título, em seguida pelo resumo e conclusão. Adotou-se o critério de exclusão daqueles que não apresentaram relação entre o agente etiológico da COVID-19, (SARS-CoV-2) e esgotamento sanitário, contaminação fecal-oral ou modelagem ambiental. Para os textos que não demonstraram informações suficientes que possibilitassem a exclusão pelos critérios mencionados, foi conduzida a leitura vertical.

Os estudos selecionados passaram por leituras minuciosas, de forma analítica e interpretativa, foram classificados e segregados de acordo com o tema abordado.

Posteriormente, foram ordenados em tabela no Microsoft Excel, categorizados conforme o tipo de publicação, ano, e proximidade com o tema.

Os materiais foram encontrados principalmente nas línguas portuguesa e inglesa, sendo possível analisar a estrutura viral, as técnicas de detecção do vírus, o impacto da pandemia de COVID-19, a possível rota de transmissão do SARS-CoV-2 via fecal-oral e a importância da Epidemiologia de Esgoto para enfrentamento da pandemia de COVID-19 e outros surtos virais.

Para uma abordagem quantitativa, foram utilizadas como referências publicações disponibilizadas online em forma de boletins informativos pela Rede Monitoramento Covid Esgotos para a cidade de Curitiba-PR, a fim de analisar a carga e concentração do RNA viral presente em amostras de esgoto monitoradas no projeto, quantificados através da determinação por RT-PCR (*Reverse transcription polymerase chain reaction*) e comparados com dados pertinentes da literatura.

### 3.1 PROJETO REDE MONITORAMENTO COVID ESGOTOS

O Projeto Rede Monitoramento Covid Esgotos sob liderança do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgoto (INCT ETEs Sustentáveis), visa reproduzir, aumentar e compartilhar a experiência do Projeto Piloto Monitoramento Covid Esgoto realizado nas cidades de Belo Horizonte e Contagem em outras regiões do Brasil, com o objetivo expandir e elucidar informações para o enfrentamento da pandemia de COVID-19 através do monitoramento da concentração de SARS-CoV-2 em amostras de esgoto coletadas em diversos pontos dos municípios integrantes, contemplando as diferentes realidades regionais que podem influenciar na disseminação do novo coronavírus, como a densidade populacional, distribuição espacial e a abrangência de sistemas de esgotamento sanitário (RMCE, 2021a).

De acordo com as diretrizes da Rede Covid (RMCE, 2021a), a definição dos pontos de amostragem levou em consideração os seguintes critérios:

- Distribuição espacial homogênea dos pontos de amostragem, abrangendo as sub-bacias de esgotamento representativas dos estratos sociais de interesse.

- Índice de vulnerabilidade social ou de saúde, abrangendo principalmente regiões mais vulneráveis, mas também regiões potencialmente menos suscetíveis à doença.
- Presença e acessibilidade à rede coletora de esgoto para coleta das amostras.
- Presença de estações elevatórias de esgoto (EEE) e de estações de tratamento de esgoto (ETEs), a fim de facilitar os procedimentos de coleta.

Para Curitiba, um dos seis municípios integrantes do projeto o monitoramento contempla 10 pontos do sistema de esgotamento sanitário distribuídos pela cidade e região metropolitana. Sendo 5 Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), a Estação de Tratamento de Esgoto do Aeroporto Internacional Afonso Pena e 4 Poços de Visitação (PV) pela cidade. (RMCE, 2021b)

Os pontos monitorados utilizados neste trabalho para a cidade de Curitiba são: ETE Atuba Sul (PR-ETE-01), ETE Belém (PR-ETE-02), ETE Padilha Sul (PR-ETE-03), ETE CIC Xisto (PR-ETE-04) e ETE Santa Quitéria (PR-ETE-05).

Os indicadores de saúde analisados no projeto foram os seguintes:

- Número de novos casos confirmados de Covid-19;
- Número de leitos (enfermaria e UTI) destinados a Covid-19 que se encontram disponíveis para recebimento de novos pacientes e número de leitos ocupados;
- Porcentagem da população alvo da vacinação (pessoas com 18 anos ou mais) imunizada contra a Covid-19 com a 1ª dose e 2ª dose ou vacina de dose única.

As categorias de isolamento foram determinadas a partir dos decretos municipais de Curitiba, que fornecem diretrizes para enfrentamento da COVID-19 na capital. As medidas restritivas variam de acordo com os indicadores da saúde e são classificadas conforme o risco de alerta, correspondendo a três bandeiras da seguinte forma (RMCE, 2021b):

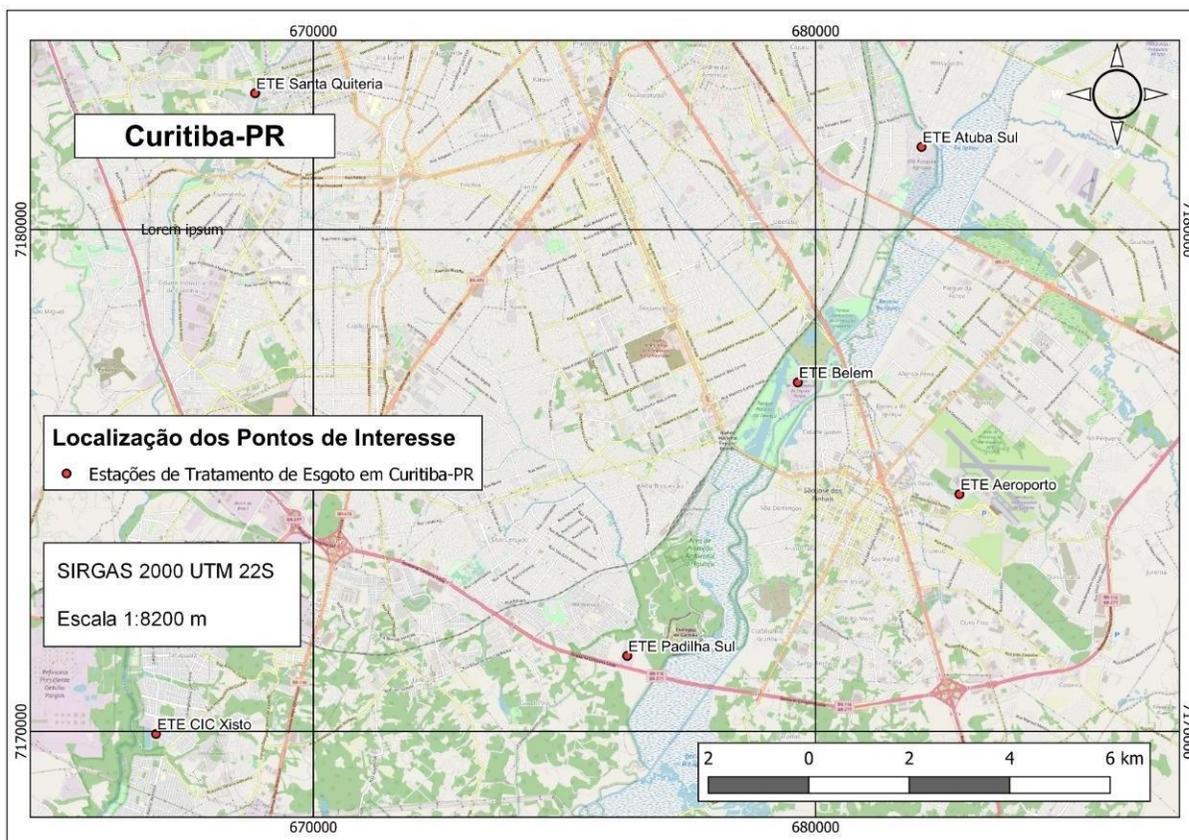
- Isolamento Estrito: Risco alto de alerta - bandeira vermelha;
- Isolamento Parcialmente Relaxado: Risco médio de alerta – bandeira laranja;

- Isolamento Relaxado: Risco baixo de alerta – bandeira amarela.

### 3.1.1 PONTOS AMOSTRADOS EM CURITIBA

Os pontos de amostragem em ETEs de Curitiba-PR monitorados pela RMCE (2021) estão definidos na Figura 3, a seguir.

FIGURA 3 – Pontos Monitorados em Curitiba-PR.



FONTE: Autora (2021).

TABELA 4- DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE MONITORAMENTO EM ETES DE CURITIBA.

Identificação do Ponto	Descrição	População Contribuinte (Nº de habitantes)	Justificativa para escolha do ponto de monitoramento
PR-ETE-01	Estação de Tratamento de Esgotos Atuba Sul	970.000	Ponto correspondente a uma ampla área de esgotamento
PR-ETE-02	Estação de Tratamento de Esgotos Belém	920.000	Ponto correspondente a uma ampla área de esgotamento
PR-ETE-03	Estação de Tratamento de Esgotos Padilha Sul	290.000	Ponto correspondente a uma ampla área de esgotamento
PR-ETE-04	Estação de Tratamento de Esgotos CIC Xisto	480.000	Ponto correspondente a uma ampla área de esgotamento
PR-ETE-05	Estação de Tratamento de Esgotos Santa Quitéria	280.000	Ponto correspondente a uma ampla área de esgotamento

FONTE: ADAPTADO DE REDE MONITORAMENTO COVID ESGOTOS (2021).

As cinco ETES monitoradas tratam, em conjunto, o esgoto de 100% da população de Curitiba e de uma fração da região metropolitana. (REDE MONITORAMENTO COVID ESGOTOS, BOLETIM Nº 5, 2021).

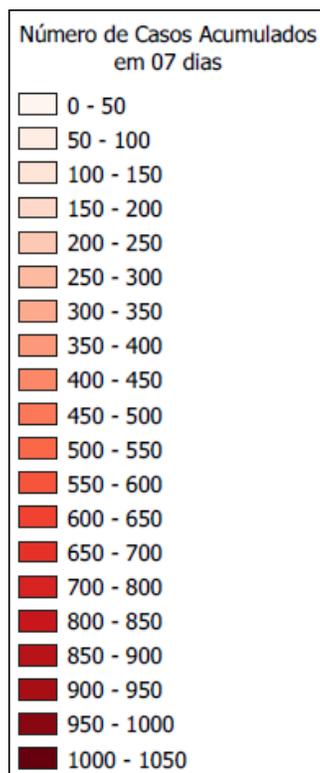
### 3.2 ANÁLISE ESPACIAL

A partir dos dados dos números de casos diários por bairro, disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Curitiba (2021), foram gerados mapas da distribuição do número de casos acumulados pelo *software* livre de Sistema de Informação Geográfica, QGIS®, versão 3.16, entre semanas epidemiológicas 18 (02/05/2021 a 08/05/2021) a 33 (15/08/2021 a 21/08/2021), período de análise dos dados da RMCE (2021).

Os mapas gerados foram comparados com os mapas disponíveis nos boletins de acompanhamento do Projeto Rede Monitoramento Covid Esgotos, a fim de estabelecer uma relação entre as dinâmicas de concentração no esgoto e o número de casos acumulados em cada bairro de Curitiba, além de identificar as regiões com maiores incidências de casos do novo coronavírus.

O gradiente de cores para representação do número de casos (acumulados em 7 dias) nos mapas foi estabelecido conforme Figura 4.

FIGURA 4 – Gradiente de cores representativas do número de casos ativos acumulados em 07 dias.



FONTE: Autora (2021).

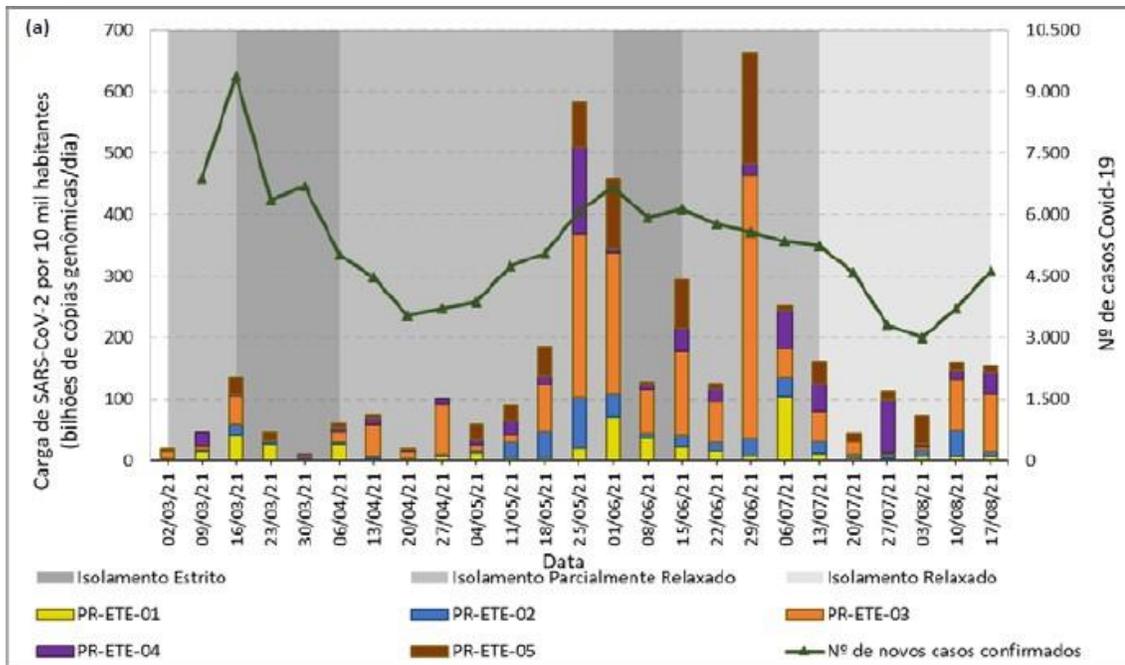
Os resultados obtidos pela análise da distribuição espacial da carga viral de SARS-CoV-2 no esgoto e o número de casos acumulados poderão contemplar, de forma regionalizada, os indivíduos sintomáticos e assintomáticos da COVID-19, e ser capaz de evidenciar de forma precoce a presença do vírus em determinada área, assim como identificar regiões críticas de infecção.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 CARGA VIRAL NO ESGOTO

De acordo com a revisão realizada a partir dos dados divulgados pela RMCE (2021b), foi analisado com base na Figura 5 (adaptada de RMCE, 2021b) o desenvolvimento da carga viral de SARS-CoV-2 por 10 mil habitantes no esgoto afluente às Estações de Tratamento de Esgoto em Curitiba desde o início do monitoramento em 02/03/2021, correspondente a semana epidemiológica 8 até 17/08/2021, semana epidemiológica 33.

FIGURA 5 – Desenvolvimento da carga viral por 10 mil habitantes no esgoto afluente às estações de tratamento de esgoto em Curitiba e Nº de novos casos confirmados de COVID-19.



FONTE: Rede Monitoramento COVID Esgotos (2021). Boletim de Acompanhamento nº 5.

A partir do Boletim de Acompanhamento nº 5 da RMCE (2021), Curitiba registrou as maiores cargas medidas (contribuição das cinco ETAs) nas semanas epidemiológicas 21 (23 a 29/05/2021), 22 (30/05 a 05/06/2021) e 26 (27/06 a 03/07/2021), nos dias 25/05/2021, 01/06/2021 e 29/06/2021, respectivamente.

Na semana epidemiológica 21 foi registrado uma elevação significativa da carga de SARS-CoV-2 no esgoto e, de acordo com a Prefeitura Municipal de Curitiba (PMC, 2021), nesse dia a cidade registrou 908 novos casos de COVID-19 e 26 óbitos de

moradores da cidade infectados pelo novo coronavírus. Com os novos casos confirmados, Curitiba registrou em 25/05/21, 209.587 casos positivo para a COVID-19 desde o início da pandemia.

O valor máximo de carga de SARS-CoV-2 foi observado em 29/06/2021 (acumulado de sete dias), sendo que ultrapassou 600 bilhões de cópias do novo coronavírus por dia a cada 10 mil habitantes e registrou mais de 4.500 novos casos de COVID-19 (acumulado de sete dias), no mesmo período.

A PR-ETE-05 (ETE Santa Quitéria), localizada na região Oeste de Curitiba, possui uma população contribuinte estimada 280.000 habitantes e obteve as maiores elevações de carga viral em aproximadamente 85% dos monitoramentos realizados nesse período, ultrapassando a carga de 500, 400 e 600 bilhões de cópias genômicas/dia de SARS-CoV-2 por 10 mil habitantes nas semanas epidemiológicas 21 (23 a 29/05/2021), 22 (30/05 a 05/06/2021) e 26 (27/06 a 03/07/2021), respectivamente.

Recife - PE, capital integrante do projeto Rede Covid Esgotos, monitorado a partir da semana epidemiológicas 18 (02 a 08/05/2021) possui 3 pontos de monitoramento em ETEs e 4 pontos em canais pluviais. O lançamento de esgoto doméstico da população não saneada nos canais pluviais de Recife é elevado pois a porcentagem de cobertura de coleta e tratamento de esgoto em Recife, de acordo com o Instituto Trata Brasil (2019), corresponde a aproximadamente 43%.

Entre maio e junho de 2021, semana epidemiológica 18 (02 a 08/05/2021) a 22 (30/05 a 05/06/2021) a carga viral no esgoto afluente às estações de tratamento de Recife apresentou elevação, assim como em Curitiba, com concentração máxima em 05/06/2021 (acumulado dos últimos sete dias), ultrapassando 7 bilhões de cópias genômicas/dia. No mesmo período, foram observados os maiores números de novos casos suspeitos, ultrapassando 450 nos últimos sete dias.

As curvas de concentração de SARS-CoV-2 nos pontos de canais pluviais de Recife descrevem comportamentos semelhantes aquelas registradas nas ETEs. As maiores concentrações foram evidenciadas entre maio e junho de 2021 e, ultrapassaram 1,6 e 1,2 mil cópias genômicas/L, respectivamente.

De forma semelhante, a Rede Vírus - MCTI realizou o monitoramento de COVID-19 em águas residuais no Brasil na região do ABC Paulista e identificou RNA viral nos 2

pontos de ETEs e 2 poços de visita, monitorados desde janeiro de 2021. A carga viral máxima encontrada até o momento está na faixa de aproximadamente  $10^{15}$  cópias de RNA/dia.

Ainda no Brasil, Fongaro et. al., (2021) quantificaram RNA do SARS-Cov-2 em Florianópolis - SC, a concentração média de SARS-CoV-2 foi aproximadamente de 5,8  $\log_{10}$  cópias genômicas/L. Mota et. al., (2021) registraram em Belo Horizonte - MG concentração média de RNA viral na ordem de grandeza de  $10^5$  cópias genômicas/L.

Prado et. al., (2021) identificaram na cidade de Niteroi – RJ a presença de SARS-CoV-2 em aproximadamente 84% das amostras de esgoto bruto analisadas, sendo que as concentrações de SARS-CoV-2 variaram numa faixa de aproximadamente 3,1 a 7,1  $\log_{10}$  cópias genômicas/100 mL. De acordo com os autores, os resultados obtidos nesse estudo estão mais alinhados com as concentrações médias de SARS-CoV-2 obtidas na Espanha (concentração média de 5,1 a  $5,5 \pm 0,2 \log_{10}$  cópias genômicas/L) (RANDAZZO et al., 2020), e França com valor de aproximadamente  $10^4$  cópias genômicas/L (WURTZER et al., 2020).

A presença do novo coronavírus no esgoto também foi identificada em outros países como: EUA, concentração média de 250 cópias genômicas/mL, (WU et al., 2020); Austrália, faixa de 1,9 a 12 cópias genômicas/100 mL de água residual não tratada (AHMED et al., 2020); Alemanha, de 3,0 a 20 cópias genômicas/ mL (WESTHAUS et al., 2021); Japão em que o RNA viral foi detectado em amostras de águas residuais com tratamento secundário (antes da cloração) com uma concentração de aproximadamente  $2,4 \times 10^3$  cópias genômicas/L (HARAMOTO et al., 2020); México, concentrações virais de até 3535 cópias/mL, para as amostras de águas residuais não tratadas (MAHLKNECHTU et al., 2021).

Guerrero-Latorre et al., (2020) avaliaram a água de um dos rios que passa por Quito, no Equador, e que recebe esgoto sem tratamento. Foi observada a presença de RNA do SARS-CoV-2 na ordem de  $10^5$  a  $10^6$  cópias genômicas/L, e os autores sugerem que houve subnotificação de casos da doença na cidade no período analisado. Mahlknechtu et al., (2021), identificou que em 13% das amostras de rio analisadas na área metropolitana de Monterrey, México, foram positivas para RNA de SARS-CoV-2

entre outubro de 2020 e janeiro de 2021, com concentrações variando de 2,5 a 7,0 cópias genômicas/mL.

Outros estudos abordaram a detecção vírus em rios, porém não o encontraram (HARAMOTO et al., 2020) ou o detectaram sem quantificação (RIMOLDI et al., 2020), isso pode ter ocorrido pelo fato de ambos estudos serem de áreas que tratam o esgoto (GUERRERO-LATORRE et al., 2020) e nos casos de positividade das amostras Rimoldi et al., (2020) atribui a prováveis descargas de esgoto não tratado ou a possíveis transbordamentos.

A variação de RNA viral encontrada no esgoto nos pontos monitorados em ETEs e rios em diversos estudos, incluindo o Projeto Rede Monitoramento Covid Esgotos para a cidade de Curitiba e Recife, analisados neste trabalho, podem ter influência da variação de carga viral nas fezes dos indivíduos infectados (HART et al., 2020, FOLADORI et al., 2020, KITAJIMA et al., 2020); da descarga direta de esgoto não tratado nos corpos d'água (GUERRERO-LATORRE et al., 2020; RIMOLDI et al., 2020), como é caso de Recife - PE que, lança esgoto doméstico da população não saneada nos canais pluviais em algumas regiões (PROJETO REDE MONITORAMENTO COVID ESGOTOS, 2021); temperatura (CHIN et al., 2020 ; WANG et al., 2005a); diluição por precipitação (GUERRERO-LATORRE et al., 2020); inativadores como luz solar, oxidantes e predação por microrganismos (LANGONE et al., 2021 ); tipo de tratamento realizado nas ETEs (RANDAZZO et al., 2020 ; RIMOLDI et al., 2020), descargas ilegais ou mau funcionamento do sistema de esgoto local e contribuições externas da bacia (MAHLKNECHT et al., 2021).

## 4.2 EFEITO DE MEDIDAS DE CONTROLE EPIDEMIOLÓGICO NA CARGA VIRAL E NÚMERO DE CASOS CLÍNICOS

### 4.2.1 MEDIDAS DE RESTRIÇÃO DE CIRCULAÇÃO

Durante o período analisado através dos dados disponibilizados pela RMCE (2021), de março a agosto de 2021, Curitiba adotou medidas de isolamento estrito, parcialmente relaxado e relaxado, de acordo com os decretos municipais de Curitiba, que dispõem sobre as medidas restritivas a atividades e serviços para enfrentamento da pandemia.

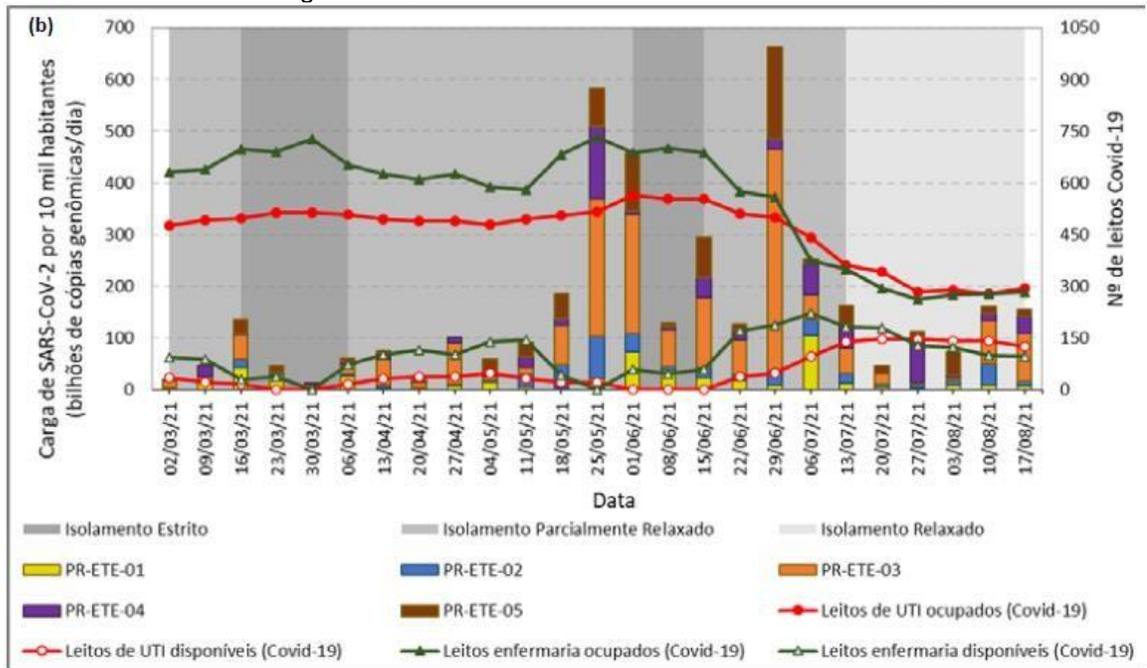
Conforme Decreto N.º 421/2020, Curitiba passa por medidas de isolamento estrito (*lockdown*) em março e se repete em junho de 2021, Decreto N.º 940/2021. Nesses períodos registra-se a tendência de redução do número de novos casos confirmados e também diminuição da carga de SARS-CoV-2 no esgoto.

Nos períodos de flexibilização das medidas de restrição de atividades e serviços, isolamento parcialmente relaxado, entre a semanas epidemiológicas 14 (31/03/2021 a 06/04/2021) a 22 (30/05 a 05/06/2021) e 24 (13 a 19/06/2021) a 28 (11 a 17/07/2021) e relaxado 28 (11 a 17/07/2021) a 33 (15 a 21/08/2021), nota-se uma tendência de elevação da carga viral e aumento de novos casos confirmados, Figura 5.

Nesses períodos de isolamento parcialmente relaxado (bandeira laranja) e relaxado (bandeira amarela) observa-se uma tendência de aumento da carga viral no esgoto das cinco ETEs monitoradas pela RMCE (2021). A PR-ETE-05 (ETE Santa Quitéria), localizada na região Oeste de Curitiba, possui uma população contribuinte estimada 280.000 habitantes e obteve as maiores elevações de carga viral em aproximadamente 85% dos monitoramentos realizados nesses períodos de isolamento flexibilizado, ultrapassando a carga de 500, 400 e 600 bilhões de cópias genômicas/dia de SARS-CoV-2 por 10 mil habitantes nas semanas epidemiológicas 21 (23 a 29/05/2021), 22 (30/05 a 05/06/2021) e 26 (27/06 a 03/07/2021), respectivamente.

A Figura 6 (adaptada de RMCE, 2021b) mostra o desenvolvimento do número de leitos de UTI e enfermaria destinados a tratamento da COVID-19 em Curitiba e o desenvolvimento da carga viral no esgoto (por 10 mil habitantes).

FIGURA 6– Desenvolvimento da carga viral por 10 mil habitantes no esgoto afluente às estações de tratamento de esgoto em Curitiba e Nº leitos destinados a tratamento COVID-19.



FONTE: Rede Monitoramento COVID Esgotos (2021). Boletim de Acompanhamento nº 5.

A primeira elevação do número de leitos ocupados de enfermaria se dá aproximadamente 14 dias após a cidade estar em regime de risco médio alerta – isolamento parcialmente relaxado (02/03/2021 a 16/03/2021). A curva que descreve a ocupação dos leitos de UTI tende a um crescimento no mesmo período, é observado aumento da carga viral no esgoto.

Após os períodos de isolamento estrito as curvas do número de leitos ocupados na enfermaria como UTI tendem a uma leve diminuição e número de leitos disponíveis começa a se elevar. Entre as semanas epidemiológicas 20 (16 a 22/05/2021) a 21 (23 a 29/05/2021) a carga de SARS-CoV-2 no esgoto se eleva, e é acompanhado pelo crescimento da curva de leitos ocupados na UTI e enfermaria e diminuição expressiva dos leitos disponíveis. De acordo com o PMC (2021), no dia 25/05/21, a taxa de ocupação dos 525 leitos de UTI SUS exclusivos para COVID-19 estava em 96% e restavam apenas 23 leitos livres. Já a taxa de ocupação dos leitos de enfermaria estava em 101% e não havia leitos disponíveis de enfermaria.

Em resposta à pandemia COVID-19, governos em todo o mundo implementaram políticas de distanciamento social com diferentes níveis de restrições.

O efeito do *lockdown* em quatro capitais brasileiras foi avaliado por Silva et al., (2020). Foi encontrada uma redução estatisticamente significativa nos novos casos confirmados após o confinamento. Evidências de que as medidas de isolamento podem influenciar nas tendências de novas mortes diárias devido ao COVID-19 foram verificadas. Em São Luís - MA, foi observado uma redução de 37,85% sobre a diferença média de óbitos diários se o *lockdown* não tivesse sido implementado. Para Fortaleza - CE, a redução foi de 33,4%. A medida restritiva de circulação também diminuiu a mortalidade em Recife - PE em 21,76% e para Belém – PA em 16,77%. Estes dados reportados indicam que políticas de distanciamento social podem ser ferramentas úteis para achatar a curva epidêmica.

Um estudo envolvendo 149 países constatou que a implementação de medidas de distanciamento social como: fechamentos de escolas, locais de trabalho e transporte público; restrições a reuniões em massa, eventos e restrições à circulação (*lockdown*) reduziu em 13% a incidência de COVID-19. Em relação ao *lockdown* os autores afirmam que a implementação rápida da medida promove uma redução significativa em comparação com a implementação tardia após outras medidas de isolamento social serem aplicadas (ISLAN et al., 2020).

A influência das medidas de isolamento também foi registrada em Paris, França, e fornece fortes evidências de uma redução relevante da transmissão do vírus em resposta a medidas de distanciamento social. Especula-se que o bloqueio não foi respeitado por toda população, pois a circulação do vírus se manteve em nível baixo, porém relevante (WURTZER, 2020).

Tobias (2020) avalia as medidas de *lockdown* nas tendências de casos incidentes, óbitos e internações em unidades de terapia intensiva (UTI) na Itália e Espanha em decorrência da propagação do SARS-CoV-2. O autor relata que após a implementação do primeiro período de *lockdown* a incidência de casos reduziu em ambos os países, embora as tendências de casos, óbitos e internações em UTI permaneçam subindo. Após o segundo *lockdown* (mais rigoroso), as tendências mudaram, com redução dos casos diários incidentes, óbitos e, internações nas UTIs.

Por outro lado, contrariamente aos estudos apresentados anteriormente, De Laroche Lambert et. al., (2020) relata que o *lockdown* pode não ter influência na

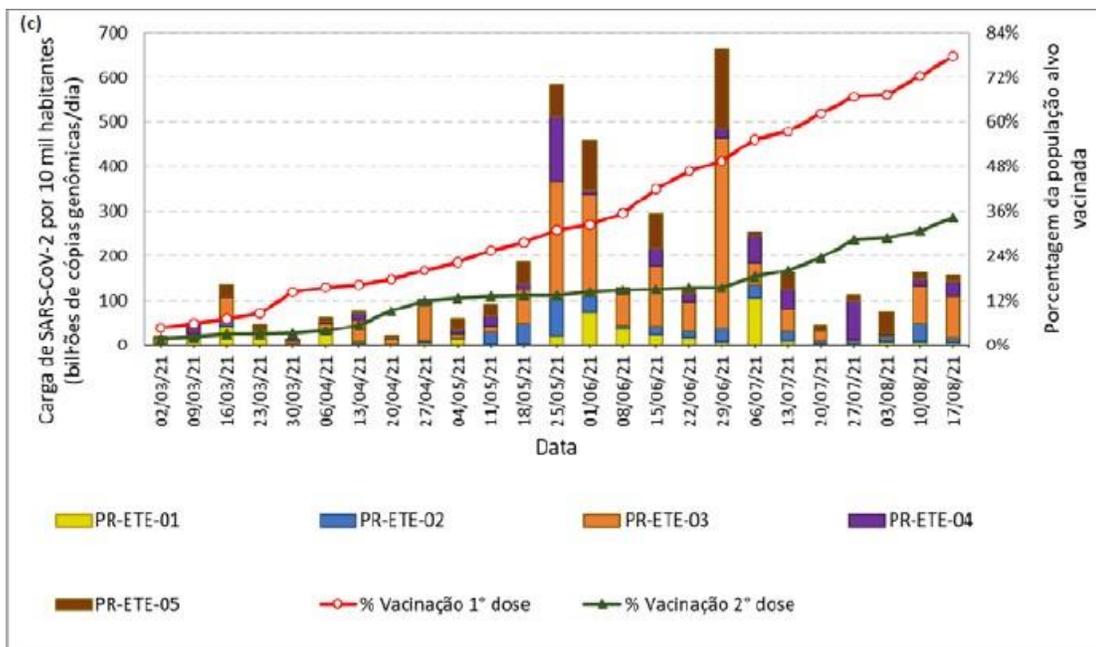
desaceleração da taxa de contaminação. Ximenes et al., (2021) avaliou o as medidas restritivas de isolamento social (lockdown) no Nordeste do Brasil, composto por nove estados. Na maioria das capitais não foi observada tendência decrescente simultânea do número de casos e óbitos nos 14 dias prévios à flexibilização.

Embora exista uma predominância de estudos demonstrando que as medidas restritivas de isolamento social causam o efeito de redução na circulação do vírus, tais divergências observadas demonstram a complexidade de avaliar e definir as medidas de controle da pandemia COVID-19.

#### 4.2.2 VACINAÇÃO

O avanço da vacinação no estado do Paraná ocorreu de forma gradual, priorizando inicialmente idosos, indivíduos com comorbidades e trabalhadores essenciais, seguindo as normas do Programa Nacional de Imunizações (PNI) (Secretaria de Estado da Saúde do Paraná, 2021). A Figura 7, mostra a porcentagem da população alvo vacinada e o desenvolvimento da carga viral no esgoto.

FIGURA 7 – Desenvolvimento da carga viral por 10 mil habitantes no esgoto afluente às estações de tratamento de esgoto em Curitiba e Porcentagem da população alvo vacinada.



FONTE: Rede Monitoramento COVID Esgotos (2021). Boletim de Acompanhamento nº 5.

É possível identificar com o aumento da aplicação da 1ª dose da vacina ou dose única, que a carga de SARS-CoV-2 por 10 mil habitantes tende a uma redução, apresentando picos em abril e junho de 2021, que podem ser relacionados as medidas de isolamento mais flexibilizadas nesses períodos e a chegada da Variante Delta no estado do Paraná, com o primeiro caso confirmado no início de junho de 2021.

De acordo com Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz, 2021) a mutação do vírus SARS-CoV-2 detectada pela primeira vez em outubro de 2020 na Índia, já foi identificada em mais de 130 países, incluindo o Brasil, de acordo com a divulgação da Organização Mundial da Saúde (OMS) em julho de 2021. Essa variante torna-se mais preocupante por ser mais transmissível que as cepas anteriores (Alpha, Beta e Gamma). A Variante Delta possui rápida disseminação em períodos de flexibilização de isolamento social, sua transmissibilidade pode chegar ao dobro comparada com a Variante Alpha, em que uma pessoa contaminada poderia transmitir o vírus para três novos indivíduos, aproximadamente.

Possivelmente, as diferentes variantes do novo coronavírus podem refletir na variação da carga viral registrada no esgoto nos pontos monitorados. As mutações tornam-se variantes de interesse devido ao aumento da transmissibilidade ou dano causado pela mudança na epidemiologia de COVID-19; aumento da virulência ou alteração na apresentação clínica da doença; diminuição da eficácia do distanciamento social e das medidas de saúde pública, vacinas e terapias disponíveis (OPAS, 2021).

Com o avanço da aplicação da 2ª dose da vacina e a ampliação das faixas etárias para o recebimento da primeira dose, principalmente a partir de junho de 2021 em que a população com menos de 50 anos iniciou o ciclo de imunização, nota-se uma tendência na diminuição da carga viral no esgoto, assim como no número de casos ativos e maior disponibilidade de leitos nas enfermarias e UTIs.

Diante do contexto pandêmico atual, a vacinação é considerada a abordagem mais promissora para controlar a pandemia de SARS-CoV-2, com ela objetiva-se reduzir o número de indivíduos com sintomas graves, internações e complicações que podem levar a óbito pela COVID-19 (FIO CRUZ, 2021).

No Brasil, de acordo com o consórcio de veículos de imprensa a partir dos dados das secretarias estaduais de Saúde, até agosto de 2021 aproximadamente 59% da

população recebeu ao menos uma dose da vacina, e 27% da população estavam totalmente imunizadas (receberam duas doses ou dose única). Atualmente, novembro de 2021, aproximadamente 62% da população brasileira está com o esquema vacinal completo, 74% vacinados com a primeira dose e 7% da população vacinada com a terceira dose ou dose de reforço (FIOCRUZ, 2021).

Em 17 de agosto de 2021, última semana do período de análise determinado, contemplada no Boletim nº 5 do Projeto Rede Covid Esgotos, foi registrado no Brasil aproximadamente 20.528.099 casos confirmados da doença e 573.511 óbitos pelo novo coronavírus. Atualmente, em novembro de 2021, os números passam para 22.043.112 novos casos e 613.339 mortes (WHO, 2021).

O número de novos casos por data de notificação dos dias 17/08 e 22/11 são de 37.613 e 2.594, respectivamente. O número de óbitos registrado no dia 17 de agosto de 2021 é de 1.106 e média móvel de sete dias de 832 óbitos. Em 22 de novembro, com o avanço da vacinação e a manutenção das medidas farmacológicas, foi registrado 123 óbitos e média móvel de sete dias de aproximadamente 205 óbitos (PAINEL CORONAVÍRUS, GOVERNO FEDERAL, 2021). Reforçando a tendência de diminuição do número de novos casos e de óbitos com a evolução da vacinação no país.

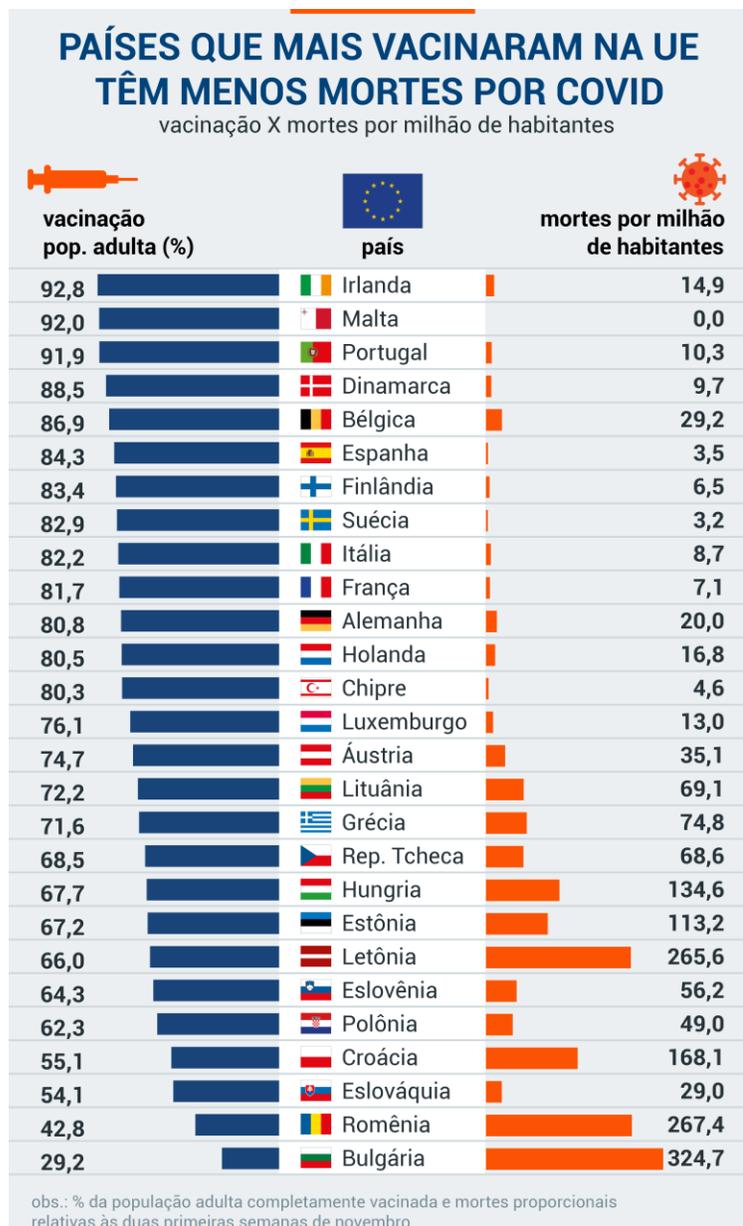
De acordo com o Boletim Observatório Covid-19 emitido pela Fiocruz (2021), no período de 24 de outubro a 6 de novembro de 2021, correspondente a semana epidemiológica 43 e 44, a Europa observou aumento de 55% no número de novos casos, se aproximando novamente de níveis recordes. A variante Delta mais transmissível prevalece na transmissão.

Atualmente, novembro de 2021 o continente é considerado o epicentro da pandemia. As taxas de hospitalização dobraram a partir do final de outubro de 2021. A OMS (2021) justifica esse cenário pela cobertura vacinal insuficiente combinada com a flexibilização das medidas de distanciamento social. As campanhas de vacinação na Europa demonstram seu efeito positivo na redução do número de óbitos, porém, as taxas de vacinação permanecem desiguais entre os países (FIOCRUZ, 2021).

As vacinas não garantem que o indivíduo vacinado não possa ser contaminado pelo vírus, porém, com ela o número de indivíduos com sintomas graves e complicações que podem levar a óbito são diminuídos (FIO CRUZ, 2021).

De acordo com o Centro Europeu de Prevenção e Controle de Doenças (ECDC) (2021), países com êxito na vacinação registraram baixas taxas de mortes pela COVID-19, a relação pode ser observada na Figura 8, a seguir.

FIGURA 8– Porcentagem de vacinação da população adulta dos países da União Europeia e mortes por milhão de habitantes.



FONTE: Adaptado de Centro Europeu de Prevenção e Controle de Doenças (ECDC), (2021).

Na Irlanda, 93% dos adultos estão com o ciclo vacinal completo, com a aplicação das duas doses ou a dose única da vacina e registra 15 mortes por milhão de habitantes em novembro de 2021. Em comparação, a Bulgária tem apenas 29% da população adulta vacinada e registra aproximadamente 325 mortes por milhão de habitantes (ECDC, 2021).

Na Alemanha, o avanço da vacinação resultou em uma tendência de queda do número de novos casos de COVID-19, influenciando na flexibilização das medidas de restritivas de distanciamento social e retomada das atividades cotidianas (FIOCRUZ, 2021). Meses depois, em novembro de novembro de 2021 o país apresenta um agravamento do número de casos e mortes.

No início de novembro de 2021, a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2021) notificou que na última semana de outubro de 2021 a Europa e Ásia Central foram responsáveis por 59% de todos os casos e 48% dos óbitos registrados no mundo inteiro. De acordo com o Boletim Covid 2021 (FIOCRUZ, 2021), enquanto a cobertura vacinal não alcançar pelo menos 80% da população total vacinada, medidas como: use de máscara; distanciamento social; ampla testagem; rastreamento de contato; controle da qualidade do ar de espaços internos, são fundamentais.

#### 4.3 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA CARGA DE SARS-CoV-2 E NÚMERO DE CASOS EM CURITIBA/PR.

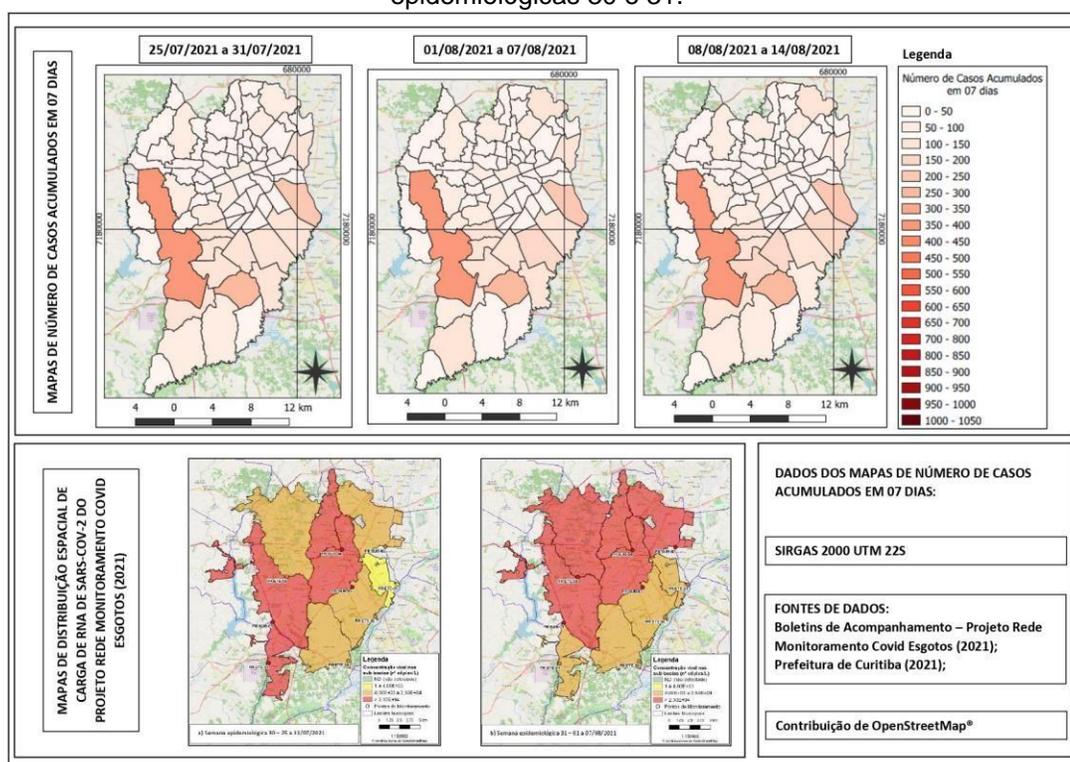
O Brasil tornou-se em 2021 um dos epicentros da pandemia de COVID-19 no mundo. A epidemiologia de esgoto mostra-se uma importante ferramenta no controle de surtos e identificação da prevalência de COVID-19 em que determinada região.

Seu potencial para monitorar a disseminação viral em grandes comunidades, mapear curvas de contágio e *hotspots*, identificar a contribuição de indivíduos assintomáticos, fornecer sistema de alerta precoce diante de novos surtos, principalmente em locais onde os testes clínicos são baixos ou em regiões com condições inadequadas de saneamento, reforçam a importância das informações fornecidas pela epidemiologia de esgoto para o auxílio nas diretrizes de políticas públicas, visando o enfrentamento da pandemia de COVID-19 (SODRÉ et al., 2020).

As Figuras 9 e 10 trazem a comparação entre os mapas de concentração de SARS-CoV-2 no esgoto, pelo Projeto Rede Monitoramento Covid Esgotos (2021), Boletim de Acompanhamento nº 5 (semanas epidemiológicas 30 a 32) e a distribuição do número de casos acumulados em sete dias, no mesmo período, gerados pelo *software* livre QGIS®, com base nos dados da Prefeitura Municipal de Curitiba (2021).

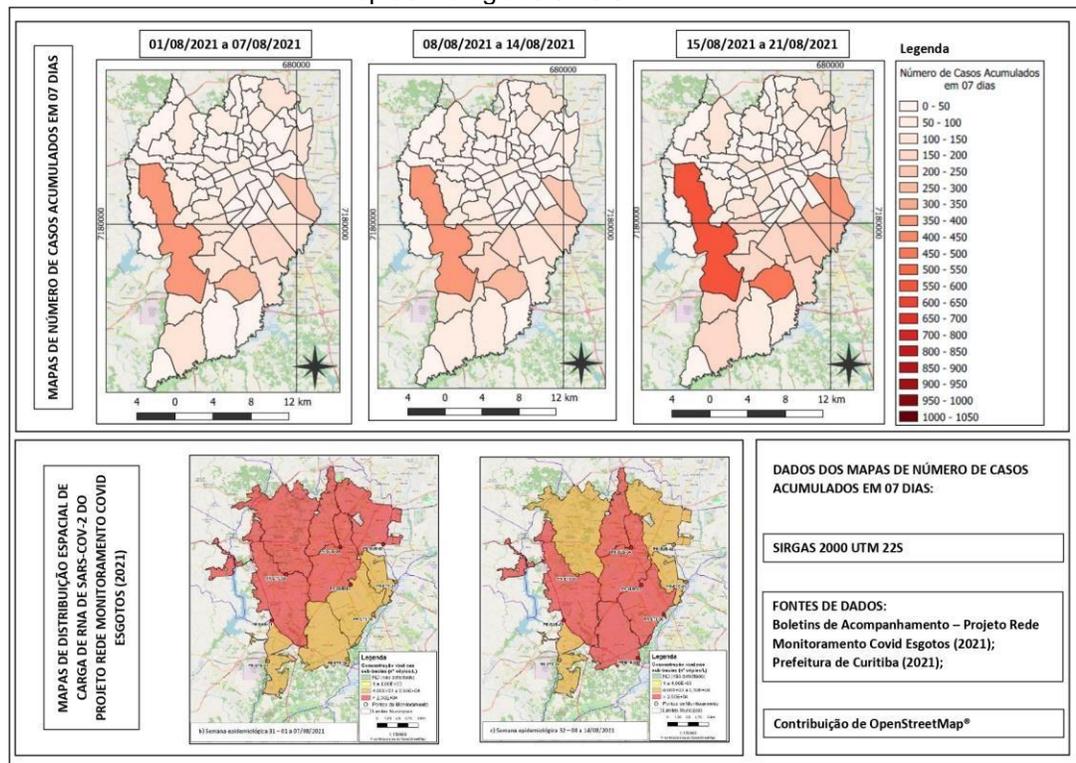
Os mapas referentes as demais semanas epidemiológicas analisadas estão disponíveis no Apêndice I.

FIGURA 9 – Mapa de distribuição espacial de carga de RNA de SARS-COV-2 do Projeto Rede Monitoramento COVID Esgotos (2021) e mapas de casos acumulados de sete dias - semanas epidemiológicas 30 e 31.



FONTE: Adaptado de Rede Monitoramento COVID Esgotos. Boletim de Acompanhamento nº 5 (2021).

FIGURA 10 – Mapa de distribuição espacial de carga de RNA de SARS-COV-2 do Projeto Rede Monitoramento COVID Esgotos (2021) e mapas de casos acumulados de sete dias - semanas epidemiológicas 31 e 32.



FONTE: Adpatado de Rede Monitoramento COVID Esgotos. Boletim de Acompanhamento nº 5 (2021).

Através da análise dos mapas dispostos nas Figuras 9 e 10, é possível identificar que o aumento da concentração viral identificada nos pontos de ETEs monitorados pelo projeto, sugerem uma repercussão no aumento do número de casos dias depois.

Corroborando, Peccia et. al., (2020) relata que a concentração no esgoto antecipa o número de casos em relação ao dia do teste em 0 a 2 dias; antecipa o número de admissões em hospitais de 1 a 4 dias; e antecipa o número de casos em relação à data de divulgação do teste de 6 a 8 dias.

Ao se realizar o monitoramento do esgoto de maneira regionalizada, é possível determinar de forma indireta o número de pessoas infectadas nas regiões de interesse, incluindo nessa análise indivíduos sintomáticos e assintomáticos da doença. A população infectada pelo agente etiológico da COVID-19, estimada através do monitoramento do esgoto em Belo Horizonte – MG, apresentou tendência de crescimento exponencial, correspondendo até 20 vezes mais do que o número de casos confirmados acumulados (CHERNICHARO, 2021).

Para o Brasil, as informações provenientes da análise de esgoto tornam-se relevantes visto que a testagem em massa é limitada no país, além dos diferentes índices de vulnerabilidade social e acesso restrito aos serviços de coleta e tratamento do esgoto sanitário em diferentes regiões.

O bairro Cidade Industrial de Curitiba (CIC), que está englobado na Regional Cidade Industrial é o bairro mais populoso de Curitiba (IPPUC, 2021). É possível observar altas concentrações de RNA de SARS-CoV-2 no esgoto entre as semanas epidemiológicas 30 (25 a 31/07/2021) a 32 (08 a 14/08/2021) porém, a elevação significativa do número de casos só é registrada, aproximadamente 14 dias após a detecção no esgoto. O CIC possui aproximadamente 96% dos domicílios ligados à rede geral de esgoto ou pluvial (IPPUC, 2021).

O bairro Caximba, localizado no extremo sul de Curitiba, também registrou concentrações elevadas no mesmo período, entretanto, não foi evidenciado elevação no número de casos na região nos próximos dias analisados. O bairro possui apenas 4,44% de domicílios ligados à rede geral de esgoto ou pluvial (IPPUC, 2021), o que pode sugerir subnotificação da concentração viral.

Com apenas 46% de tratamento de todo esgoto gerado no Brasil (SNIS, 2018) e a disparidade em relação a porcentagem de tratamento nas diferentes regiões do país, torna-se relevante abordar os possíveis impactos do déficit de esgotamento sanitário diante da pandemia do novo coronavírus, tanto em relação a número de casos, como possibilidade de novas rotas de transmissão: via fecal-oral, por exemplo.

Estudos consideram que a baixa cobertura de saneamento básico em junção com alta densidade demográfica e baixo poder econômico, podem promover condições à favoráveis à propagação do vírus (ADELODUN et al., 2020). Zaneti et al., (2020) e Heller et al., (2020) sugerem que regiões com pouca estrutura sanitária podem ser mais afetadas pela pandemia e também serem capazes de promover possíveis rotas de transmissão, incluindo via fecal-oral.

Não existem evidências científicas que relacionem a transmissão do SARS-CoV-2 através da água, esgoto ou outros meios hídricos (CARRATURO, 2020), porém a epidemiologia torna-se uma ferramenta capaz de fornecer informações sobre a detecção e circulação do vírus.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante do cenário pandêmico global, com limitações de testagem em massa para constatação da COVID-19, baixa distribuição de imunizantes para a população de muitos países, dificuldade de manter o distanciamento social, principalmente em áreas denominadas como aglomerados subnormais, pouca disponibilidade de leitos nos hospitais e o surgimento de novas cepas do vírus SARS-CoV-2, muitos estudos que abordam outras possíveis rotas de transmissão são elaborados. Como a transmissão por aerossóis, que são transmitidos pela respiração e vocalização de indivíduos infectados; fômites e a transmissão via fecal-oral, em que é constatado a presença de RNA viral em fezes de pacientes acometidos pela COVID-19. Da mesma forma, é relevante estabelecer alternativas para a identificação e controle da transmissão do vírus. O presente estudo demonstrou que a Epidemiologia de Esgoto se destaca como importante ferramenta, pois fornece informações sobre a concentração viral em determinada região, torna possível identificar áreas críticas de infecção, acompanhar a trajetória do vírus e a depender das análises empregadas, identificar as cepas atuantes em cada região. Essas informações podem fornecer subsídios técnicos ao poder público e auxiliar na elaboração e implementação de medidas cabíveis para a contenção da doença.

Outro aspecto da pandemia se dá na modificação das relações pessoais, profissionais, econômicas e também as questões ambientais. Neste contexto, a profissão do Engenheiro Ambiental se coloca em evidência pelo seu potencial de atuar como instrumento de conciliação entre os processos de expansão e desenvolvimento e a sustentabilidade, ou seja, utilizar os recursos naturais a fim de suprir as necessidades da geração atual sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações (ONU, 1972).

A Engenharia Ambiental contribui para preencher as lacunas deixadas por outros ramos da engenharia, nas quais os processos e procedimentos não enfatizam questões ambientais relevantes, como a capacidade de recuperação do meio ambiente em relação a exploração de seus recursos naturais, a gestão dos resíduos gerados, a utilização consciente dos recursos hídricos, a mitigação para atividades que emitem poluentes atmosféricos, etc.

No cenário da pandemia de COVID-19, o engenheiro ambiental pode desempenhar papel fundamental para a redução da transmissão da doença, pois novas rotas de contaminação estão sendo analisadas, como por exemplo a transmissão via fecal-oral, devido a atividade infecciosa do vírus na água e no esgoto. Pode auxiliar no monitoramento desse patógeno nos sistemas de esgotamento sanitário, utilizando a modelagem como ferramenta capaz de prever de forma precoce o cenário atual e emitir alertas de surtos da doença na população, colaborando para identificação de áreas com aumento expressivo de novos casos de infecção e auxiliar em medidas estratégicas de restrições e isolamento social.

## 6 CONCLUSÕES

Com base nos dados do Projeto Rede Monitoramento Covid Esgotos, com foco na cidade de Curitiba -PR, e diversos outros estudos que abordam a dinâmica de circulação do novo coronavírus no esgoto foi possível analisar as tendências da presença do SARS-CoV-2 nas áreas monitoradas, a concentração viral de forma regionalizada, o impacto da disseminação do agente etiológico da COVID-19 nos indicadores de saúde, a eficácia de medidas de distanciamento social, e a relevância da Epidemiologia de Esgotos no enfrentamento de pandemias. As informações foram compiladas visando contribuir de forma relevante para o auxílio no entendimento sobre o vírus e seu impacto na sociedade.

A Epidemiologia de Esgotos pode contribuir para detectar o vírus em estágio inicial na população, as áreas de maior incidência, curvas de contágio e a contribuição dos indivíduos assintomáticos. Dessa forma, a ocorrência do SARS-CoV-2 no esgoto pode auxiliar autoridades e instituições de saúde através de alertas precoces do aumento da concentração viral, proporcionando tempo hábil para que medidas de controle pertinentes sejam tomadas.

Para a cidade de Curitiba, foi analisado a concentração viral em pontos de ETE e o número de casos registrados no período avaliado no presente estudo, de março a agosto de 2021. Foi possível identificar o aumento da concentração de SARS-CoV-2 no esgoto, assim como a elevação do número de casos em determinadas regiões. A partir da análise da distribuição espacial de concentração e número de casos, identificou-se que o aumento nas concentrações virais no esgoto foram detectadas aproximadamente quatorze dias antes da elevação do que o número de casos por testagem, destacado pelos dados obtidos para bairro Cidade Industrial de Curitiba (CIC).

Conforme estudos contemplados nesse trabalho, a baixa cobertura de saneamento básico somado com alta densidade demográfica e baixo poder econômico, podem contribuir para novas rotas de transmissão do vírus, como a via fecal-oral. Ressalta-se, porém, que os estudos realizados sobre o tema não comprovaram a hipótese, até o momento.

## REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). ATLAS ESGOTOS: Despoluição das Bacias Hidrográficas, 2017. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em 1 Mar. 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL (ABES). NOTA TÉCNICA 001/2020 – **CTTE/ABES**: O Novo Coronavírus E Os Sistemas De Esgotamento Sanitário No Brasil, 2020.
- ALDERETE, J, R; ASSIS *et al* (org.). Afinal, Como o Coronavírus Age no Organismo? 2020. **Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais**. 09 Fev. 2020.
- BERNARDES, J. Estudo genético mostra por que vírus da covid-19 não foi “feito em laboratório”. **JORNAL DA USP**, 2020. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/estudo-genetico-mostra-por-que-virus-da-covid-19-nao-foi-feito-em-laboratorio/>. Acesso em 03 Fev 2021.
- CHERNICHARO, C; MOTA, C; ARAÚJO, J. Instituto Nacional De Ciência E Tecnologia Em Estações Sustentáveis De Tratamento De Esgoto (**INCT**). COVID-19 e o Saneamento no Brasil, 2020. Disponível em: <http://etes-sustentaveis.org/wp-content/uploads/2020/03/COVID-19-e-o-Saneamento-no-Brasil.pdf>. Acesso em 25 Fev. 2021.
- CHERNICHARO, C; ARAÚJO, J; LEAL, C; et al., Monitoramento do esgoto como ferramenta de vigilância epidemiológica para controle da COVID-19: estudo de caso na cidade de Belo Horizonte, **Eng. Sanit. Ambient.** Aug 2021, <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200243>
- CHIN, A; CHU J, PERERA, M; HUIET, K; YEN, H; CHAN, M; PEIRIS, M; POON, M, et al., Stability of SARS-COV-2 in Different Environmental Conditions, **MEDRXIV**, 2020, DOI: [HTTPS://DOI.ORG/10.1101/2020.03.15.20036673](https://doi.org/10.1101/2020.03.15.20036673)
- CHOI, P. M. et al. Wastewater-based epidemiology biomarkers: Past, present and future. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 105, p. 453-469, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165993618301444?via%3Dihub> <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.06.004>. Acesso em: 06 Fev. 2021.
- COMISSÃO INTERNA DE SAÚDE DO SERVIDOR PÚBLICO DO CETEM, 2021. Disponível em: <https://www.cetem.gov.br/antigo/images/Informe-CISSP-N-11-Mutacao-variante-e-cepa-entenda-o-significado-de-cada-um-dos-termos.pdf>
- CONSÓRCIO DE VEÍCULOS DE IMPRENSA. **G1**. Mortes e casos de coronavírus nos estados.2021. Disponível em: <https://especiais.g1.globo.com/bemestar/coronavirus/estados-brasil-mortes-casos-media-movel>. Acesso em 27 de fevereiro de 2021

COTHRAN, T. P., KELLMAN, S., SINGH, S., BECK, J. S., Powell, K. J., Bolton, C. J., & Tam, J. W. (2020). A brewing storm: The neuropsychological sequelae of hyperinflammation due to COVID-19. **Brain, Behavior, and Immunity**, v. 88, p.957-958, Aug.2020. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0889159120312095?via%3Dihub>  
<https://doi.org/10.1016/j.bbi.2020.06.008>. Acesso em 5 Jan. 2021.

Coronavírus e mais: as 9 maiores pandemias da história da humanidade. **Toda Matéria**, 2021. Acesso em 05 Dez. 2020. Disponível em:  
<https://www.todamateria.com.br/maiores-pandemias-da-historia/>. Acesso em 07 Fev. 2021.

DELODUN, B.; AJIBADE, F. O.; IBRAHIM, R. G.; BAKARE, H. O.; CHOI, K.-S. Snowballing transmission of COVID-19 (SARS-CoV-2) through wastewater: Any sustainable preventive measures to curtail the scourge in low-income countries? **Science of the Total Environment**, v. 742, 2020. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.140680

DE LAROCHELAMBERT Q; MARC A; ANTERO J; LE BOURG E; TOUSSAINT JF. Covid-19 Mortality: A Matter of Vulnerability Among Nations Facing Limited Margins of Adaptation. **Front Public Health**. 2020 Nov. doi: 10.3389/fpubh.2020.604339.

DUAN, L; ZHU, G. Psychological interventions for people affected by the COVID-19 epidemic. In **The Lancet Psychiatry**. v. 7, p. 300–302, Feb. 2020. Disponível em:  
[https://www.thelancet.com/journals/lanpsy/article/PIIS2215-0366\(20\)30073-0/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanpsy/article/PIIS2215-0366(20)30073-0/fulltext).  
 doi: [https://doi.org/10.1016/S2215-0366\(20\)30073-0](https://doi.org/10.1016/S2215-0366(20)30073-0). Acesso em 16 Fev. 2021.

FERREIRA, V. Fiocruz divulga estudo sobre a presença do novo coronavírus em esgotos sanitários. **Fiocruz Notícias**. 28 Abr. 2020. Disponível em:  
<http://portal.fiocruz.br/noticia/fiocruz-divulga-estudo-sobrepresenca-do-novo-coronavirus-em-esgotos-sanitarios>. Acesso em: 17 Fev. 2021.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ - Fiocruz. Coronavírus. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2020. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/coronavirus>. Acesso em: 18 Fev. 2021.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ - FIOCRUZ. CORONAVÍRUS. Boletim COVID 2021-Semanas 43-44. Disponível em:  
[https://portal.fiocruz.br/sites/portal.fiocruz.br/files/documentos/boletim\\_covid\\_2021-semanas\\_43-44.pdf](https://portal.fiocruz.br/sites/portal.fiocruz.br/files/documentos/boletim_covid_2021-semanas_43-44.pdf)

GENTILE, F, AIMO, A, FORFORI, F, CATAPANO, G, CLEMENTE, A, CADEMARTIRI, F, EMDIN, M, GIANNONI, A, COVID-19 and risk of pulmonary fibrosis: the importance of planning ahead, **European Journal of Preventive Cardiology**, v.27, p.1442–1446, 1 Sept. 2020. Disponível em:

<https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2047487320932695>. 2021.  
<https://doi.org/10.1177/2047487320932695>. Acesso em 03 Jan.

GORMLEY, et al. COVID-19: mitigando a transmissão via sistema de encanamento de águas residuais. **The Lancet Global Health**. May 2020. Disponível em: [https://www.thelancet.com/journals/langlo/article/PIIS2214-109X\(20\)30112-1/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/langlo/article/PIIS2214-109X(20)30112-1/fulltext).  
[https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30112-1](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30112-1). Acesso em: 17 Fev. 2021.

GOVERNO DO ESTADO PARANÁ: Plano Estadual de Vacinação contra a COVID-19, 2021. Disponível em:  
[https://www.saude.pr.gov.br/sites/default/arquivos\\_restritos/files/documento/2021-01/plano\\_estadual\\_de\\_vacinacao\\_contra\\_a\\_covid\\_19\\_sesa\\_pr\\_012021.pdf](https://www.saude.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2021-01/plano_estadual_de_vacinacao_contra_a_covid_19_sesa_pr_012021.pdf)

GUERRERO-LATORRE, L.; BALLESTEROS, I.; VILLACRÉS, I. M.; et al. SARS- CoV-2 in river water: Implications in low sanitation countries. **Science of the Total Environment**, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140832>

HART, O.E.; HALDEN, R.U. Computational analysis of SARS-CoV-2/COVID-19 surveillance by wastewater-based epidemiology locally and globally: Feasibility, economy, opportunities and challenges. **Science of The Total Environment**, v. 730 p. 138875, Aug. 2020. Disponível em:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720323925?via%3Dihub>.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138875>. Acesso em: 13 Fev. 2020.

HARAMOTO, E; MALLA, B; THAKALI, O; KITAJIMA M, First environmental surveillance for the presence of SARS-CoV-2 RNA in wastewater and river water in Japan **Sci. Total Environ.**, 737 (2020), Article 140405, 10.1016/j.scitotenv.2020.140405

HELLER, L. MOTA, C.R.; GRECO, D.B. COVID-19 faecal-oral transmission: Are we asking the right questions?, **Science of The Total Environment**, V. 729, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138919>. Acesso em 07 Mar. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM ESTAÇÕES SUSTENTÁVEIS DE TRATAMENTO DE ESGOTO (INCT). COVID-19 e o Saneamento no Brasil COVID-19: Transmissão fecal-oral?, 2020. Disponível em: <http://etes-sustentaveis.org/wp-content/uploads/2020/04/COVID-19-Transmiss%C3%A3o-fecal-oral.pdf>. Acesso em 23 Fev. 2021.

ISLAM N, CHOWELL G, SHABNAM S, KAWACHI I, LACEY B, MASSARO JM, et al. Physical distancing interventions and incidence of coronavirus disease 2019: natural experiment in 149 countries. 2020; <https://pesquisa.bvsalud.org/global-literature-on-novel-coronavirus-2019-ncov/resource/en/covidwho-645530>

Jl, W. et al. Homologous recombination within the spike glycoprotein of the newly identified coronavirus may boost cross-species transmission from snake to human. **J Med Virol**. v.92, n.4, p.433-440. 2020. doi: 10.1002/jmv.25682. Acesso em 19 Jan. 2021.

KITAJIMA, M.; AHMED, W.; BIBBY, K.; et al. SARS-CoV-2 in wastewater: State of the knowledge and research needs. **Science of the Total Environment**, 2020. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.139076

LANA, R et al. Emergência do novo coronavírus (SARS-CoV-2) e o papel de uma vigilância nacional em saúde oportuna e efetiva. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.36, n.3, 13 Mar. 2020. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-311X2020000300301&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-311X2020000300301&lng=en&nrm=iso). <https://doi.org/10.1590/0102-311x00019620>. Acesso em 10 Fev. 2021.

LANGONE, M; PETTA, L; CELLAMARE, CM; FERRARIS, M; et al., SARS-CoV-2 em serviços de água: presença e impactos, **Environ. Pollut.**, 268, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115806>

LAM, T.T.Y. et al. Identification of 2019-nCoV related coronaviruses in Malayan pangolins in southern China. **bioRxiv** preprint first posted online. 2020. Acesso em 02 Fev 2021. Disponível em: <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2020.02.13.945485v1.full.pdf>.

LELIEVELD, J; HELLEIS, F; BORRMANN 1, S; CHENG, Y; DREWNICK, F, et al. Model Calculations of Aerosol Transmission and Infection Risk of COVID-19 in Indoor Environments. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, 2020, 17(21), 8114. <https://doi.org/10.3390/ijerph17218114>. Acesso em 4 Mar. 2021.

LI, Q. et al. Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus-Infected pneumonia. **N Engl J Med**, v.382, n.13, p.1199-1207, 2020. doi: 10.1056 / NEJMoa2001316. Acesso em 14 Fev. 2021.

LIU, P; CHEN, W; CHEN, J.-P. Viral metagenomics revealed sendai virus and coronavirus infection of Malayan Pangolins (*Manis javanica*). **Viruses**, v.11, n.11, p.979, 2019. <https://doi.org/10.3390/v111110979>. Acesso em 10 Jan. 2021.

MANUAL MSD, Versão para Profissionais de Saúde, 2021. Disponível em: [https://www.msmanuals.com/pt/profissional/doen%C3%A7as-infecciosas/v%C3%ADrus-respirat%C3%B3rios/coronav%C3%ADrus-e-s%C3%ADndromes-respirat%C3%B3rias-agudas-covid-19-mers-e-sars#v8948899\\_pt](https://www.msmanuals.com/pt/profissional/doen%C3%A7as-infecciosas/v%C3%ADrus-respirat%C3%B3rios/coronav%C3%ADrus-e-s%C3%ADndromes-respirat%C3%B3rias-agudas-covid-19-mers-e-sars#v8948899_pt)

MEDEMA, G.; HEIJINEN, L.; ELSINGA, G.; ITALIAANDER, R.; BROUWER, A. Presence of SARS-Coronavirus-2 in sewage. **MedRxiv**, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1101/2020.03.29.20045880>. Acesso em 2 Mar. 2021.

MORAES, R. F. O Engenheiro Ambiental e o seu papel como ferramenta de transição para uma sociedade sustentável, 2016. **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES-SP)**.

OLIVEIRA, L. C; FRANCO, A. F; LOPES, B. C; SANTOS, B.S, et al. Viability of SARS-

CoV-2 in river water and wastewater at different temperatures and solids content,  
Water Research, v. 195, 2021, 117002, ISSN 0043-1354

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117002>. Acesso em 12 Mar. 2021.

Organização Pan-Americana da Saúde / Organização Mundial da Saúde. Alerta Epidemiológico Complicações e sequelas da COVID-19. 12 de Agosto de 2020, Washington, D.C.: PAHO/WHO; 2020. Disponível em: [https://www.paho.org/bra/index.php?option=com\\_docman&view=download&slug=alerta-epidemiologico-complicacoes-e-sequelas-da-covid-19&Itemid=965](https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_docman&view=download&slug=alerta-epidemiologico-complicacoes-e-sequelas-da-covid-19&Itemid=965). Acesso em 01 Fev. 2021.

Organização Mundial da Saúde. Painel doença coronavírus da OMS (COVID-19). 10 de Março de 2021. Disponível em: <https://covid19.who.int/table>. Acesso em 10 Mar. 2021.

Organização Pan-Americana da Saúde / Organização Mundial da Saúde. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/covid19>. Acesso em 3 de fevereiro de 2021.

PAIM, C.S.; ALONSO, W J. **Pandemia, saúde global e escolhas pessoais**. 1º Ed. Alfenas –MG: Cria editora, 2020. p 15-17.

PRADO, T; MIAGOSTOVICH, M P. Virologia ambiental e saneamento no Brasil: uma revisão narrativa. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 7, p. 1367-1378, Jul. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-311X00109213>. Acesso em 03 Mar. 2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA -Painel Coronavírus, 2021. Disponível em: <https://covid.saude.gov.br/>. Acesso em 10 Set. 2021.

RAMOS, L; FAUSTINO, M; SILVA, J. **Centro De Informação de Medicamentos (CIM)**. O surto do novo coronavírus (2019-nCoV) e a COVID19, 2020. Disponível em: <https://www.ufpb.br/cim/contents/menu/publicacoes/cimforma/o-surto-do-novo-coronavirus-2019-ncov-e-a-covid19>. Acesso em 05 Fev 2021.

RANDAZZO, W. TRUCHADO, P, CUEVAS-FERRANDO, E et al. SARS-CoV-2 RNA in wastewater anticipated COVID-19 occurrence in a low prevalence área. **Water Res.**, 181, 2020, p. 115942, doi: 10.1016/j.watres.2020.115942

RIMOLDI, S; STEFANI, F; GIGANTIELLO, A; POLESELLO, S; COMANDATORE, F; MILETO, D; et al., Presence and Vitality of SARS-CoV-2 Virus in Wastewaters and Rivers **medRxiv**, 2020, doi 10.1101/2020.05.01.20086009

RMCE 2021 a – Rede Monitoramento Covid Esgotos. Boletim de Apresentação. **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico**, 2021. Disponível em: [https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/acontece-na-ana/monitoramento-covid-esgotos/boletins-monitoramento-covid-esgotos/boletim-de-apresentacao\\_rede-monitoramento-covid-esgotos.pdf/view](https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/acontece-na-ana/monitoramento-covid-esgotos/boletins-monitoramento-covid-esgotos/boletim-de-apresentacao_rede-monitoramento-covid-esgotos.pdf/view)

RMCE 2021 b – Rede Monitoramento Covid Esgotos. Boletim de Acompanhamento nº5. **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico**, 2021. Disponível em: [https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/acontece-na-ana/monitoramento-covid-esgotos/boletins-monitoramento-covid-esgotos/boletim-de-acompanhamento-no5\\_rede-monitoramento-covid-esgotos.pdf/view](https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/acontece-na-ana/monitoramento-covid-esgotos/boletins-monitoramento-covid-esgotos/boletim-de-acompanhamento-no5_rede-monitoramento-covid-esgotos.pdf/view)

ROSA G, IACONELLI M, MANCINI P, BONANNO FERRARO G, VENERI C, BONADONNA L, LUCENTINI L, SUFFREDINI E. First detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewaters in Italy. **Sci Total Environ**. 20 Sep 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139652.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M.C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Rev. bras. fisioter**. vol.11 no.1 São Carlos Jan./Feb. 2007. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-35552007000100013>. Acesso em: 12 Fev. 2021.

SOARES, A; NUNES, B; COSTA, F; SILVA, L; SOUZA, L. Modelagem Ambiental Para Covid-19 (Sars-Cov-2) Em Sistemas De Esgotamento Sanitário Como Instrumento Auxiliar Nas Ações De Saúde Pública. **Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, [S.L.], p. 391-397, 24 Jun. 2020. EDUFU - Editora da Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/hygeia>. Acesso em 05 Fev. 2021. <http://dx.doi.org/10.14393/hygeia0054636>.

SMITH, W; CHIEW, C.J. Can we contain the COVID-19 outbreak with the same measures as for SARS?. **THE LANCET Infectious Diseases**, Mar. 2020. Disponível em: [https://www.thelancet.com/journals/laninf/article/PIIS1473-3099\(20\)30129-8/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/laninf/article/PIIS1473-3099(20)30129-8/fulltext) [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30129-8](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30129-8). Acesso em 25 Jan. 2021.

SNIS. **Diagnóstico dos serviços de água e esgoto**. SNIS, 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-dos-servicos-de-agua-e-esgotos-2019>. Acesso em 10 Fev. 2021.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE MEDICINA TROPICAL (SBMT). Outros Coronavírus humanos: perto, mas ainda tão longe. 2020. Disponível em: <https://www.sbmt.org.br/portal/other-human-coronaviruses-close-but-still-so-far/>. Acesso em: 18 Fev. 2021.

SODRÉA, F; BRANDÃO C; VIZZOTTOB C; MALDANERC, A, Epidemiologia Do Esgoto Como Estratégia Para Monitoramento Comunitário, Mapeamento De Focos Emergentes E Elaboração De Sistemas De Alerta Rápido Para Covid-19, 2020, **Quim. Nova**, Vol. XY, No. 00, 1-5, 200, <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170545>

STEPHENS, P, 2010. Conceitos e Métodos para a formação de profissionais em laboratório de saúde. **Virologia**, Escola Politécnica/Fiocruz p. 123-132.

TOBIÁS A. Evaluation of the lockdowns for the SARS-CoV-2 epidemic in Italy and Spain after one month follow up. **Sci Total Environ** 2020; <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138539>

Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Coronavírus é identificado em esgotos. 06 Mai. 2020. Belo Horizonte; 2020. Disponível em: <http://www.ufmg.br/prae/noticias/coronavirus-eidentificado-em-amostras-de-esgoto>. Acesso em: 17 Fev. 2021.

UZUNIAN, A. Coronavírus SARS-CoV-2 e Covid-19. Bras. **O Patol. Med. Lab.**, Rio de Janeiro, v. 56, e3472020, 2020. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1676-24442020000100051&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1676-24442020000100051&lng=en&nrm=iso). Acesso em 19 Jan. 2021. <http://dx.doi.org/10.5935/1676-2444.20200053>.

VINDEGAARD N, BENROS ME. COVID-19 pandemic and mental health consequences: Systematic review of the current evidence. **Brain Behav Immun.** Elsevier Inc 2020; v 89, p 531-542. Oct. 2020 Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2020.05.048>.

WANG, X; LI, J; GUO, T; ZHEN, B; KONG, Q; YI, B; LI, Z, et al. Concentration and detection of SARS coronavirus in sewage from Xiao Tang Shan Hospital and the 309th Hospital of the Chinese People’s Liberation Army Water **Sci. Technol**, 2005, 10.2166/wst.2005.0266

WEBBY, R. J. & WEBSTER, R. G. Are we ready for pandemic influenza? **Science** 302, 1519–1522 (2003). doi: 10.1126/science.1090350. Acesso em 16 Fev. 2021.

WESTHAUS, S., WEBER, F. A; SCHIWY, S; LINNEMANN, V; BRINKMANN, M; WIDERA, M; et al. (2021). Detection of SARS-CoV-2 in raw and treated wastewater in germany – suitability for COVID-19 surveillance and potential transmission risks. **Sci. Total Environ**, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141750

WORLD BANK. **The Energy Report**, 23 de maio de 2018. Disponível em: <https://www.worldbank.org/pt/news/feature/2018/05/18/sustainable-development-goal-7-energy-access-all>. Acesso em 5 Fev. 2021.

WU Y; GUO C; TANG L; HONG Z; ZHOU J; DONG X; YIN H, et al. Prolonged presence of SARS-CoV-2 viral RNA in faecal samples. **Lancet Gastroenterol Hepatol**. P 434-435, Mar. 2020. Disponível em: [https://www.thelancet.com/journals/langas/article/PIIS2468-1253\(20\)30083-2/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/langas/article/PIIS2468-1253(20)30083-2/fulltext). doi:[https://doi.org/10.1016/S2468-1253\(20\)30083-2](https://doi.org/10.1016/S2468-1253(20)30083-2). Acesso em: 15 Fev. 2021.

WU, F; XIAO A; ZHANG, J; GU, X; LEE, W; KAUFFMAN, K; HANAGE, W; M. MATUS, N. GHAEI, N. ENDO, C. Duvallet, K. Moniz, T. Erickson, P. Chai, J. Thompson, E. Alm SARS-CoV-2 titers in wastewater are higher than expected from clinically confirmed cases **medRxiv**, 2020, doi: 10.1101/2020.04.05.20051540

WURTZER, S; MARECHAL, V; MOUCHEL, JM; MADAY, Y; TEYSSOU, R; RICHARD, E; ALMAYRAC, JL; MOULIN, L Evaluation of lockdown impact on SARS-CoV-2 dynamics through viral genome quantification in Paris wastewaters, **medRxiv** 2020, doi: <https://doi.org/10.1101/2020.04.12.20062679>

XINHUA. China's CDC detects a large number of new coronaviruses in the South China seafood market in Wuhan. 2020. Disponível em: [http://www.xinhuanet.com/english/2020-01/27/c\\_138735677.htm](http://www.xinhuanet.com/english/2020-01/27/c_138735677.htm). Acesso em 04 Fev. 2021.

XIMENES, R; ALBUQUERQUE, M; MARTELLI, C, et al., Covid-19 no nordeste do Brasil: entre o lockdown e o relaxamento das medidas de distanciamento social, 2021, **Ciênc. saúde coletiva** 26 Abr 2021 <https://doi.org/10.1590/1413-81232021264.39422020>

XU Y, LI X, ZHU B, LIANG H, FANG C, GONG Y et al. Characteristics of pediatric SARS-CoV-2 infection and potential evidence for persistent fecal viral shedding. **Nat Med**. Mar. 2020. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41591-020-0817-4>. Acesso em: 17 Fev. 2021.

YEO, C.; KAUSHAL, S.; YEO, D. Enteric involvement of coronaviruses: is faecal oral transmission of SARS-CoV-2 possible? **Lancet Gastroenterol Hepatol**, vol. 5, 335:337, 2020. [https://doi.org/10.1016/S2468-1253\(20\)30048-0](https://doi.org/10.1016/S2468-1253(20)30048-0). Acesso em 07 Fev 2021.

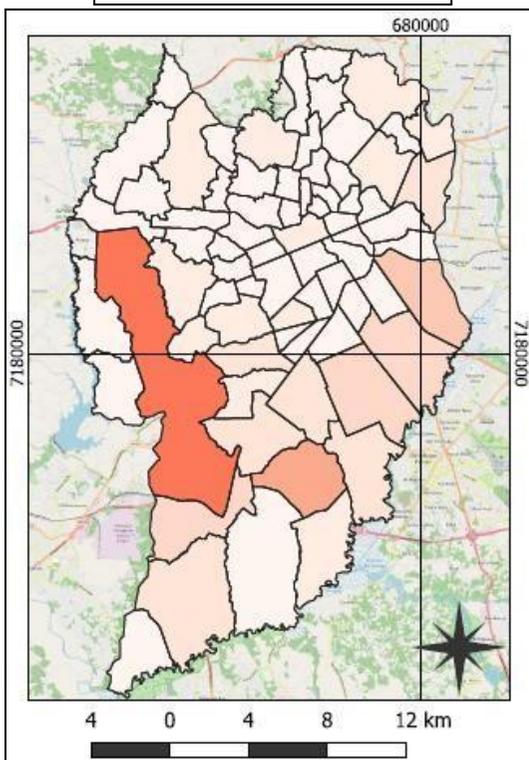
ZHANG N, GONG Y., MENG F., BI Y., YANG P., WANG F. Virus Shedding Patterns in Nasopharyngeal and Fecal Specimens of COVID-19 Patients. **Science China Life Sciences**. 05 Aug. 2020. Acesso em: 19 Fev. 2021. Disponível em: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.03.28.20043059v1>. doi: <https://doi.org/10.1101/2020.03.28.20043059>. Acesso em: 27 Fev. 2021.

ZHANG, T; WU, Q; ZHANG, Z. Probable Pangolin Origin of SARS-CoV-2 Associated with the COVID-19 Outbreak. **Current Biology**, v.30, n.7, p.1346–1351, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2020.03.022>. Acesso em 20 Jan. 2021.

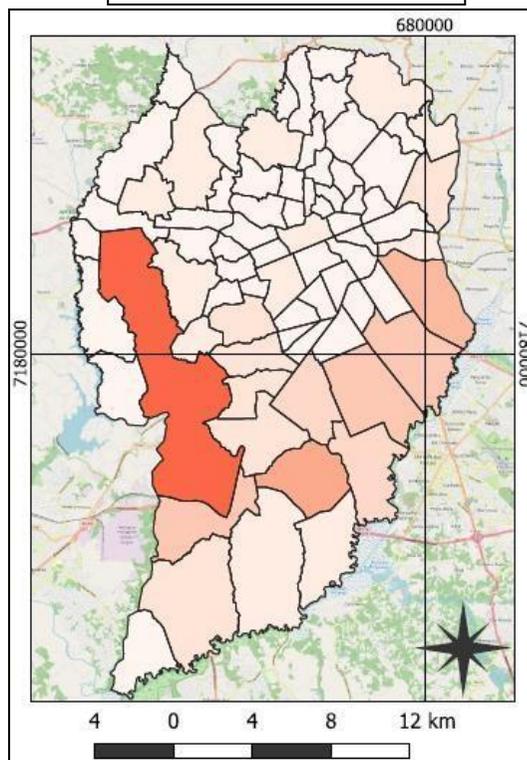
**APÊNDICE I – MAPAS DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA CARGA DE SARS-CoV-2 E NÚMERO DE CASOS EM CURITIBA/PR PARA AS SEMANAS EPIDEMIOLÓGICAS 18 A 33.**

MAPAS DE NÚMERO DE CASOS ACUMULADOS EM 07 DIAS

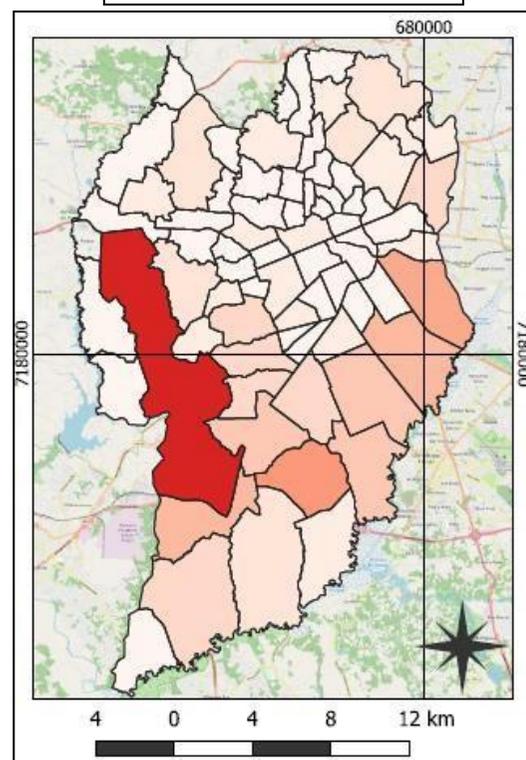
02/05/2021 a 08/05/2021



09/05/2021 a 15/05/2021

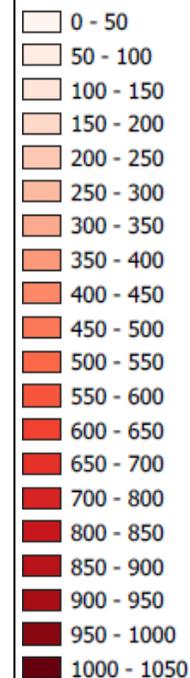


16/05/2021 a 22/05/2021

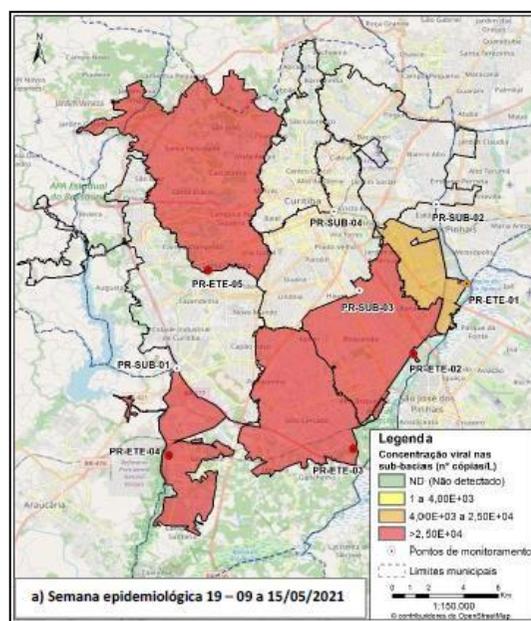
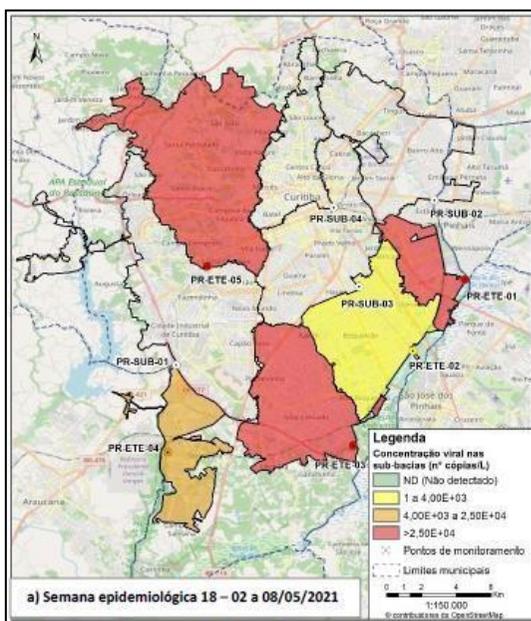


Legenda

Número de Casos Acumulados em 07 dias



MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE CARGA DE RNA DE SARS-COV-2 DO PROJETO REDE MONITORAMENTO COVID ESGOTOS (2021)



DADOS DOS MAPAS DE NÚMERO DE CASOS ACUMULADOS EM 07 DIAS:

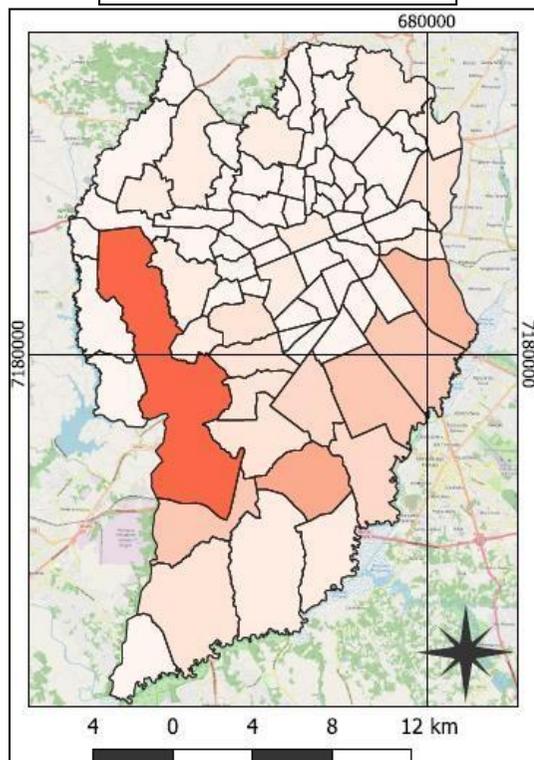
SIRGAS 2000 UTM 22S

FONTES DE DADOS:  
Boletins de Acompanhamento – Projeto Rede Monitoramento Covid Esgotos (2021);  
Prefeitura de Curitiba (2021);

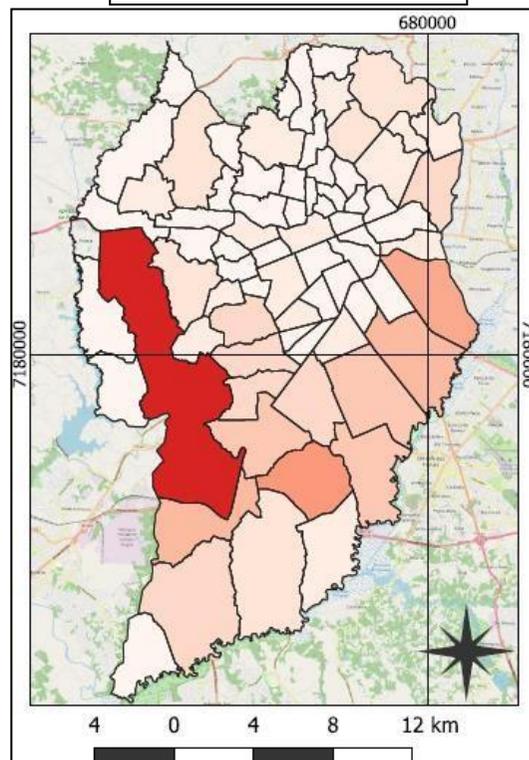
Contribuição de OpenStreetMap®

MAPAS DE NÚMERO DE CASOS ACUMULADOS EM 07 DIAS

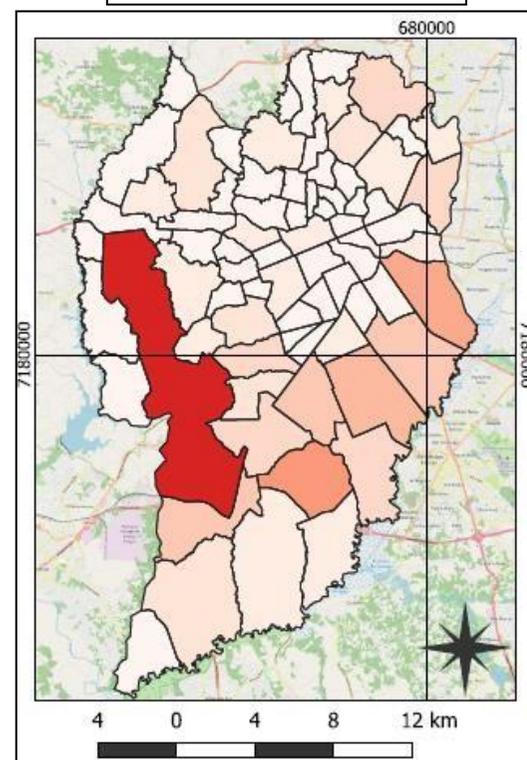
09/05/2021 a 15/05/2021



16/05/2021 a 22/05/2021

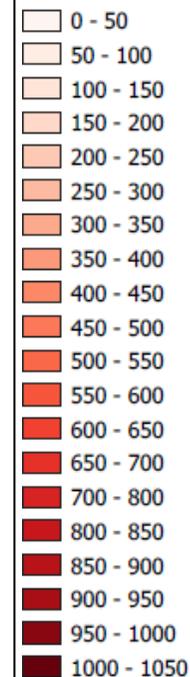


23/05/2021 a 29/05/2021

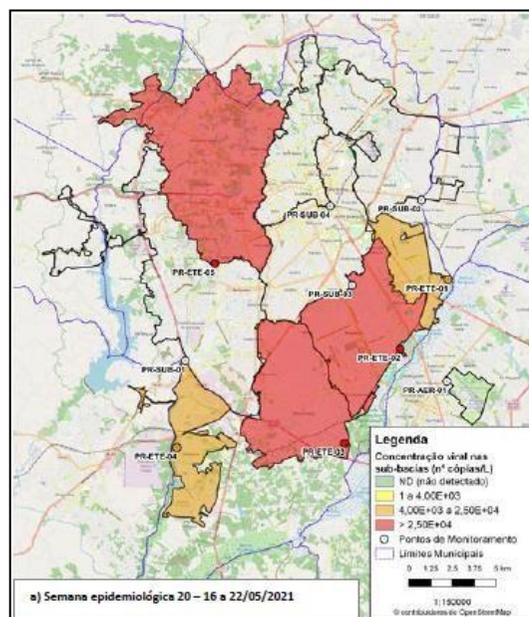
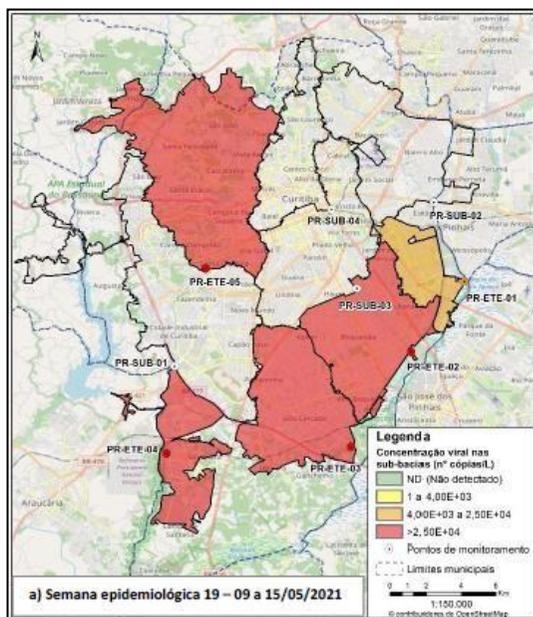


Legenda

Número de Casos Acumulados em 07 dias



MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE CARGA DE RNA DE SARS-COV-2 DO PROJETO REDE MONITORAMENTO COVID ESGOTOS (2021)



DADOS DOS MAPAS DE NÚMERO DE CASOS ACUMULADOS EM 07 DIAS:

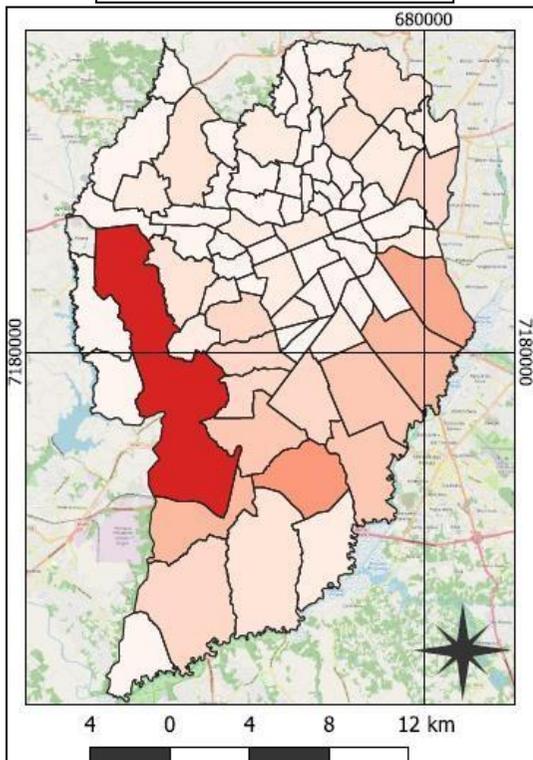
SIRGAS 2000 UTM 22S

FONTES DE DADOS:  
 Boletins de Acompanhamento – Projeto Rede Monitoramento Covid Esgotos (2021);  
 Prefeitura de Curitiba (2021);

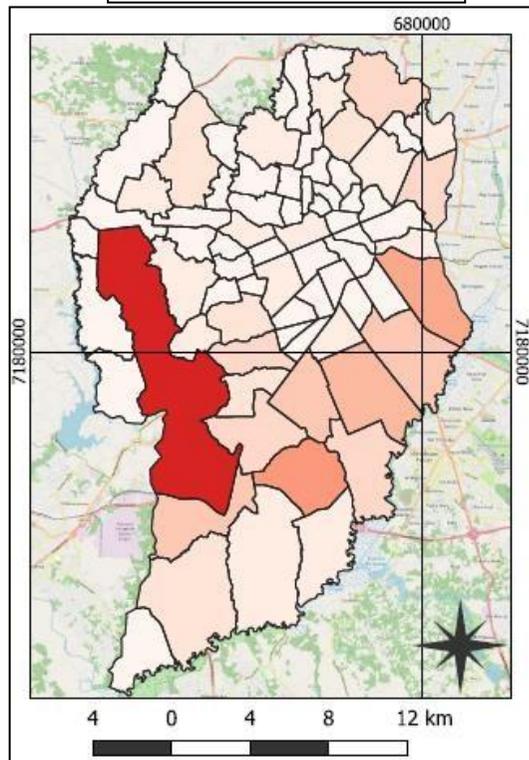
Contribuição de OpenStreetMap®

**MAPAS DE NÚMERO DE CASOS ACUMULADOS EM 07 DIAS**

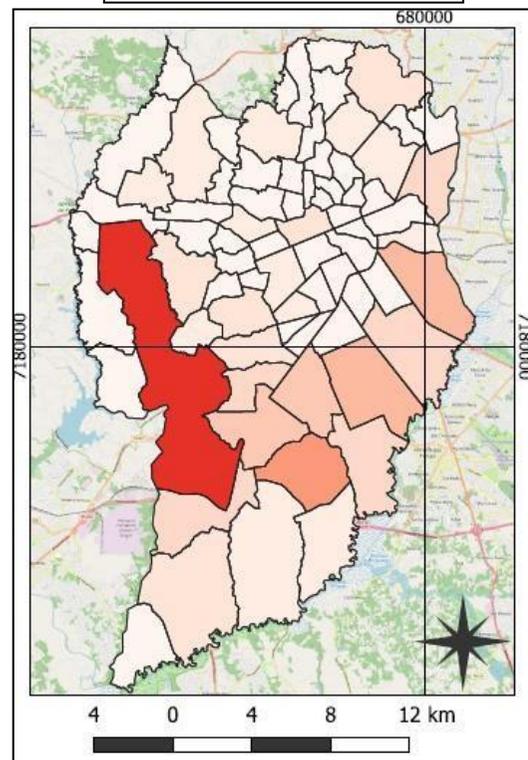
**16/05/2021 a 22/05/2021**



**23/05/2021 a 29/05/2021**

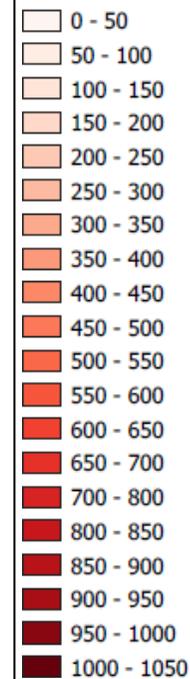


**30/05/2021 a 05/06/2021**

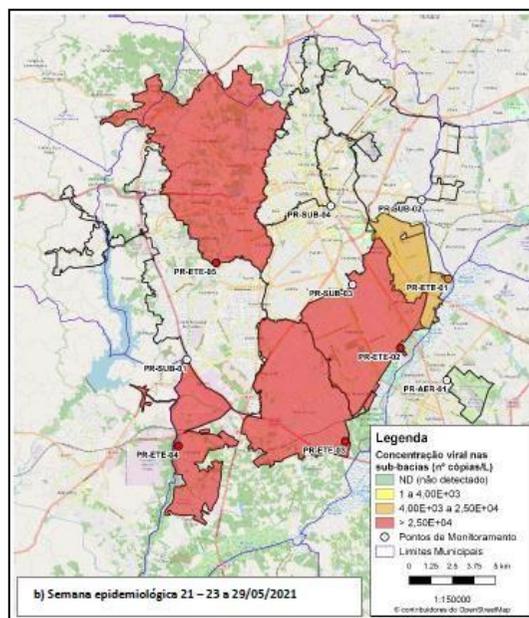
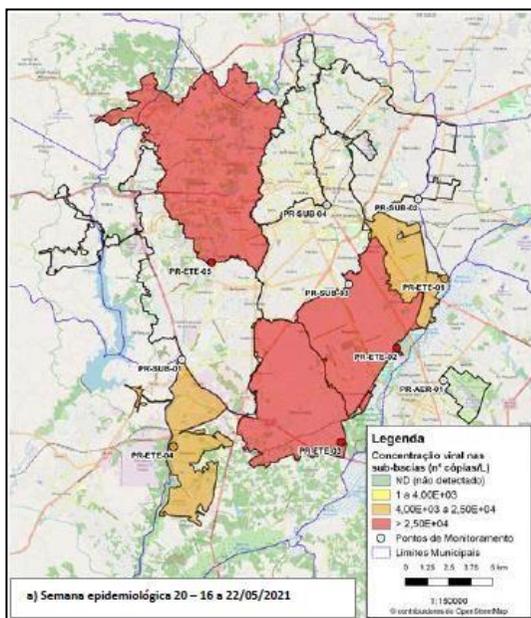


**Legenda**

Número de Casos Acumulados em 07 dias



**MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE CARGA DE RNA DE SARS-COV-2 DO PROJETO REDE MONITORAMENTO COVID ESGOTOS (2021)**



**DADOS DOS MAPAS DE NÚMERO DE CASOS ACUMULADOS EM 07 DIAS:**

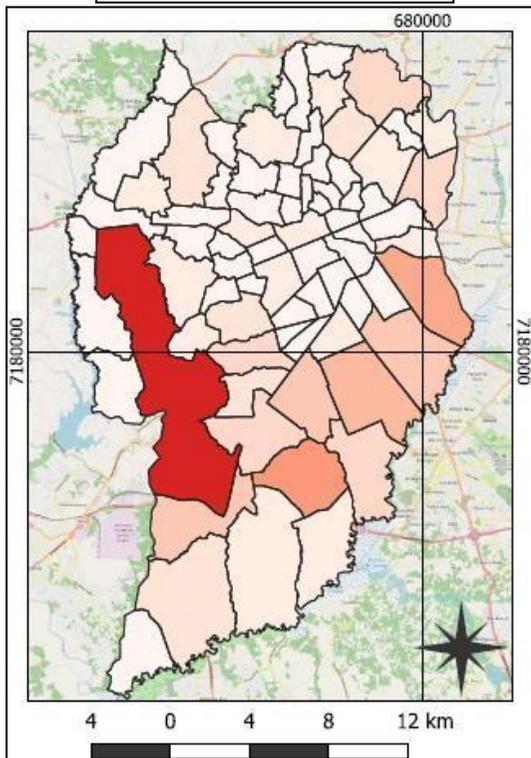
**SIRGAS 2000 UTM 22S**

**FONTES DE DADOS:**  
 Boletins de Acompanhamento – Projeto Rede Monitoramento Covid Esgotos (2021);  
 Prefeitura de Curitiba (2021);

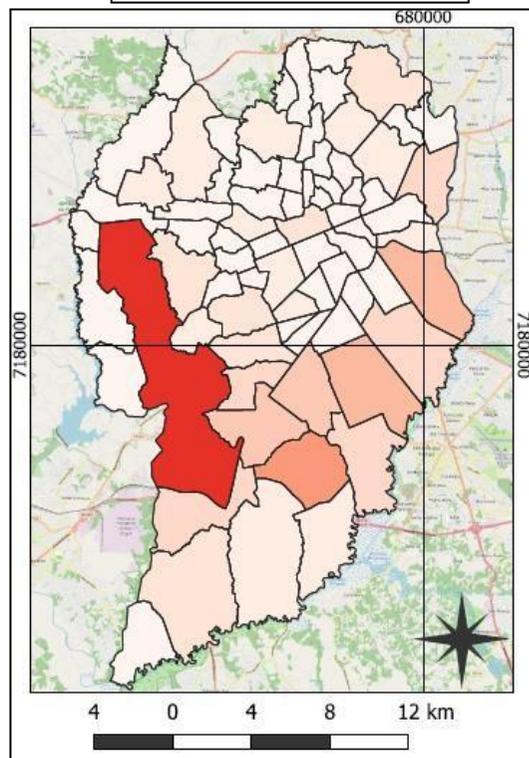
**Contribuição de OpenStreetMap®**

**MAPAS DE NÚMERO DE CASOS ACUMULADOS EM 07 DIAS**

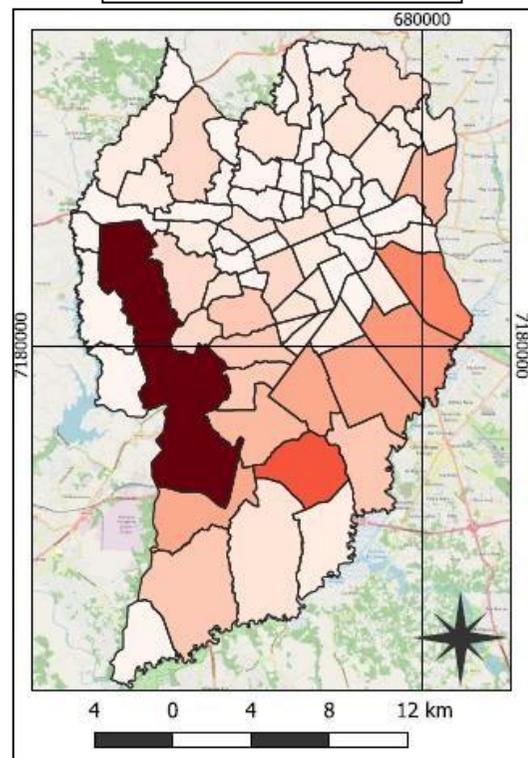
**23/05/2021 a 29/05/2021**



**30/05/2021 a 05/06/2021**

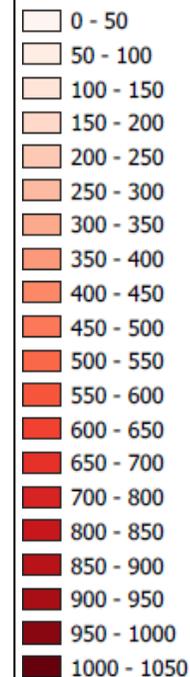


**06/06/2021 a 12/06/2021**

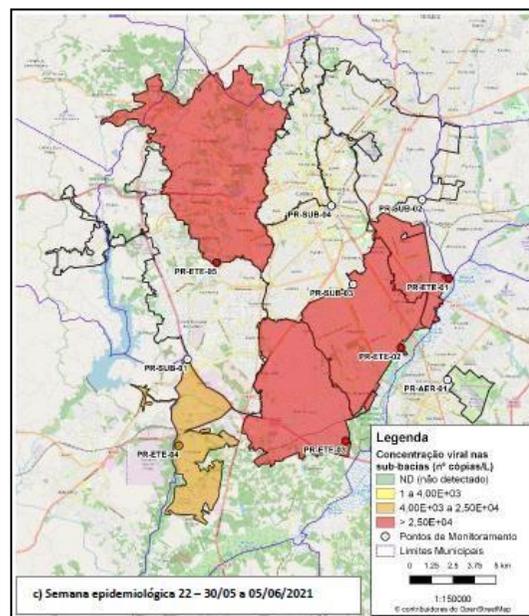
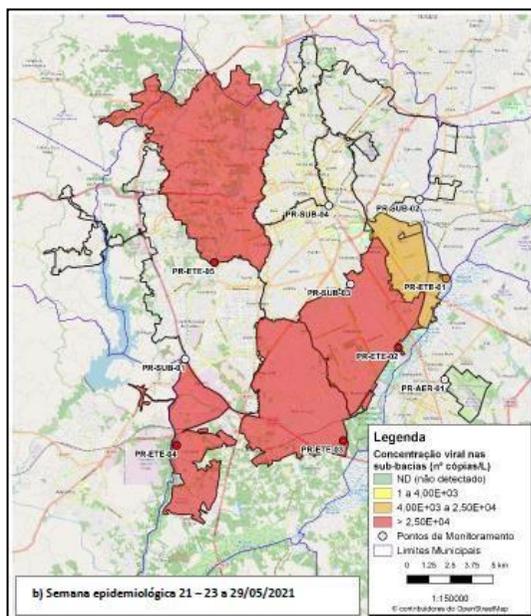


**Legenda**

Número de Casos Acumulados em 07 dias



**MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE CARGA DE RNA DE SARS-COV-2 DO PROJETO REDE MONITORAMENTO COVID ESGOTOS (2021)**



**DADOS DOS MAPAS DE NÚMERO DE CASOS ACUMULADOS EM 07 DIAS:**

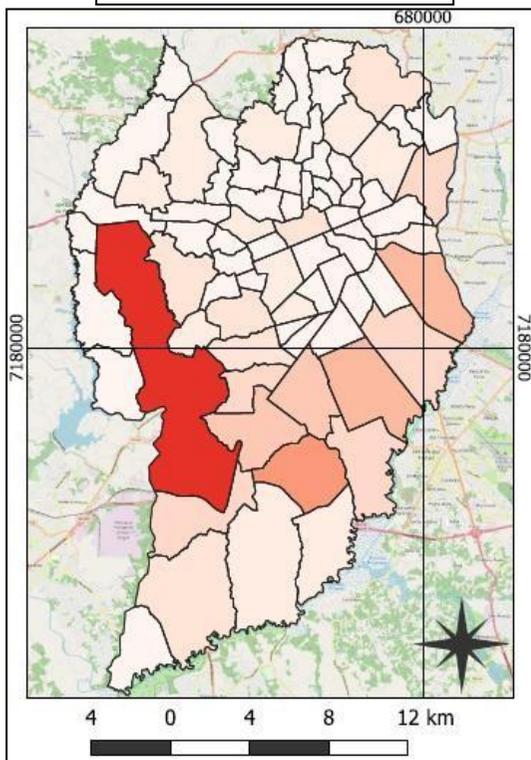
**SIRGAS 2000 UTM 22S**

**FONTES DE DADOS:**  
 Boletins de Acompanhamento – Projeto Rede Monitoramento Covid Esgotos (2021);  
 Prefeitura de Curitiba (2021);

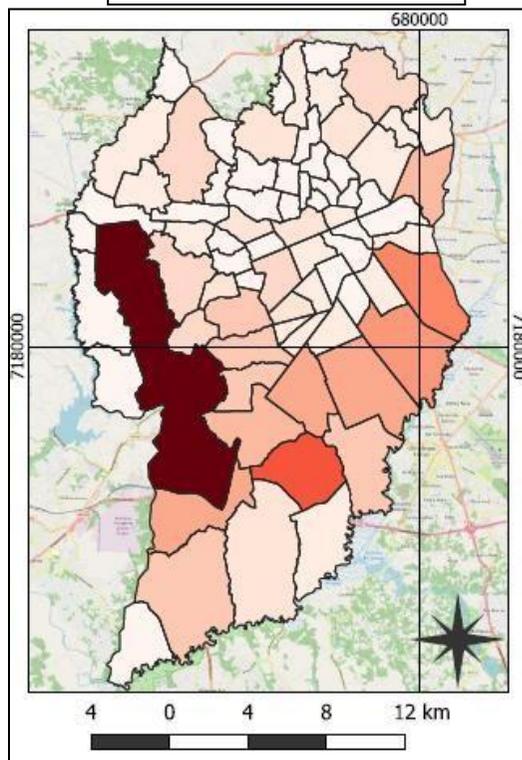
**Contribuição de OpenStreetMap®**

**MAPAS DE NÚMERO DE CASOS ACUMULADOS EM 07 DIAS**

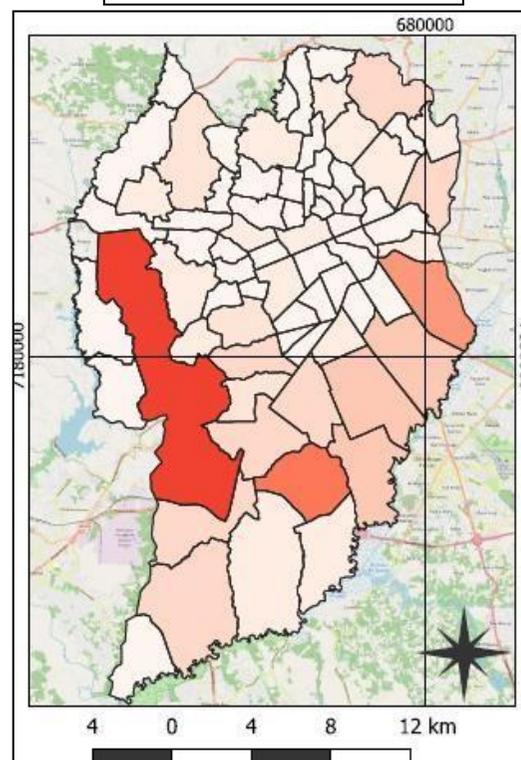
**30/05/2021 a 05/06/2021**



**06/06/2021 a 12/06/2021**

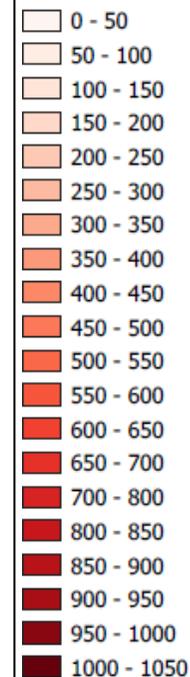


**13/06/2021 a 19/06/2021**

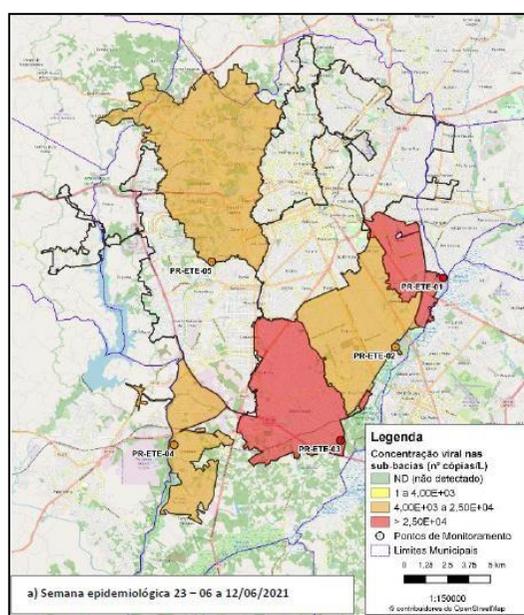
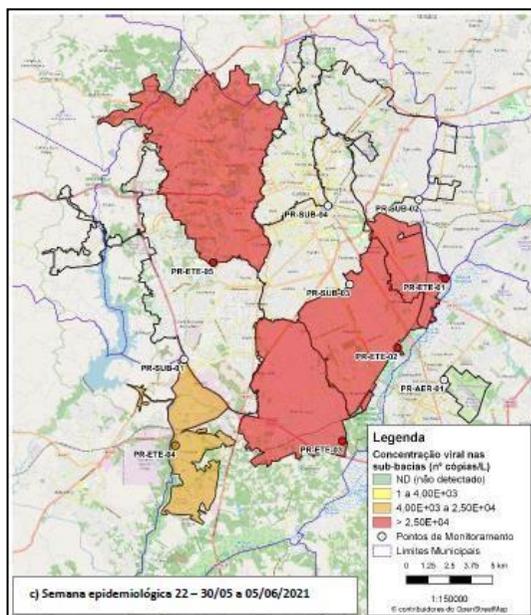


**Legenda**

Número de Casos Acumulados em 07 dias



**MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE CARGA DE RNA DE SARS-COV-2 DO PROJETO REDE MONITORAMENTO COVID ESGOTOS (2021)**



**DADOS DOS MAPAS DE NÚMERO DE CASOS ACUMULADOS EM 07 DIAS:**

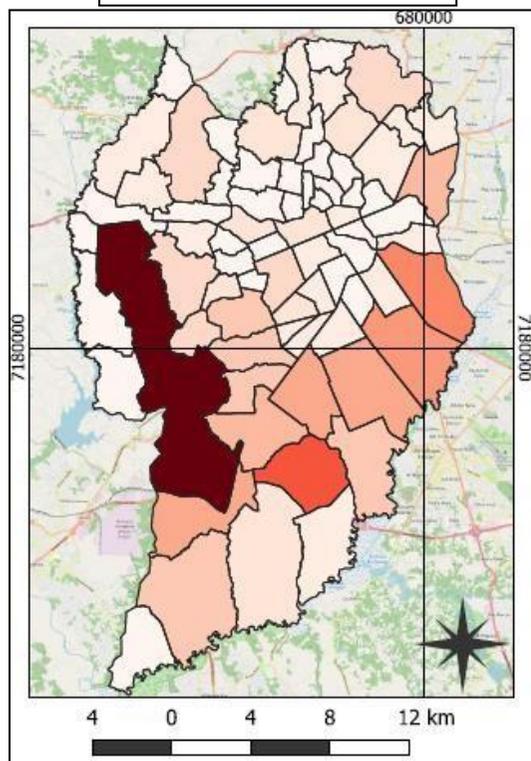
**SIRGAS 2000 UTM 22S**

**FONTES DE DADOS:**  
Boletins de Acompanhamento – Projeto Rede Monitoramento Covid Esgotos (2021);  
Prefeitura de Curitiba (2021);

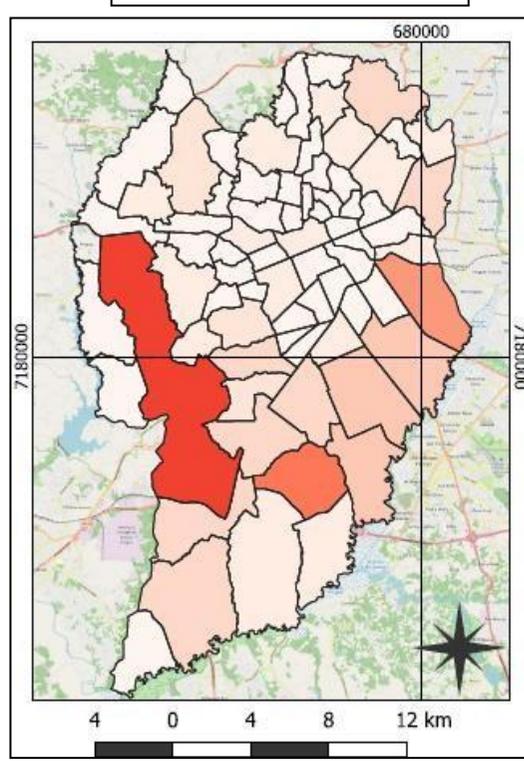
**Contribuição de OpenStreetMap®**

MAPAS DE NÚMERO DE CASOS ACUMULADOS EM 07 DIAS

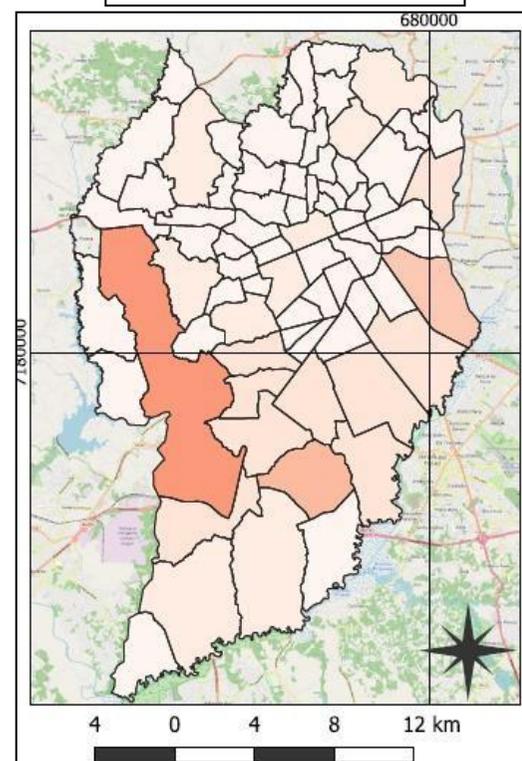
06/06/2021 a 12/06/2021



13/06/2021 a 19/06/2021

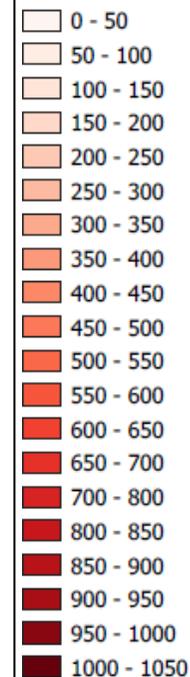


25/07/2021 a 31/07/2021

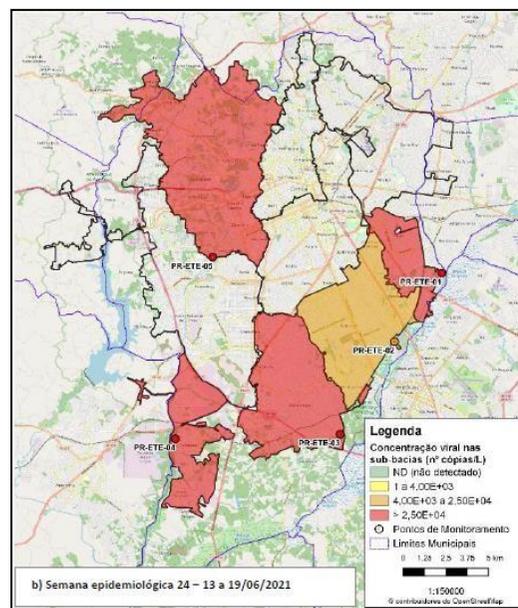
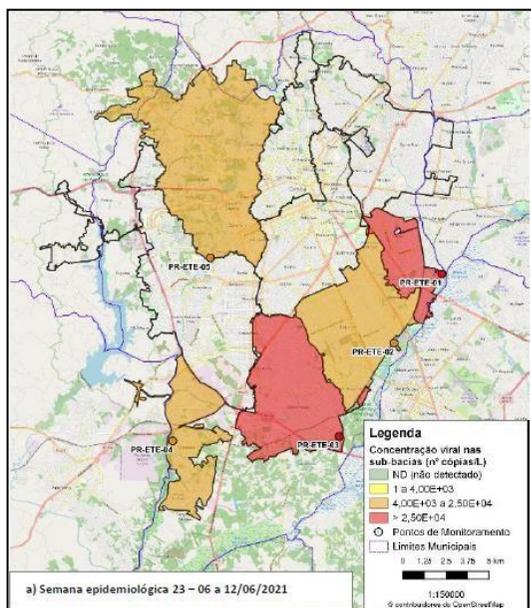


Legenda

Número de Casos Acumulados em 07 dias



MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE CARGA DE RNA DE SARS-COV-2 DO PROJETO REDE MONITORAMENTO COVID ESGOTOS (2021)



DADOS DOS MAPAS DE NÚMERO DE CASOS ACUMULADOS EM 07 DIAS:

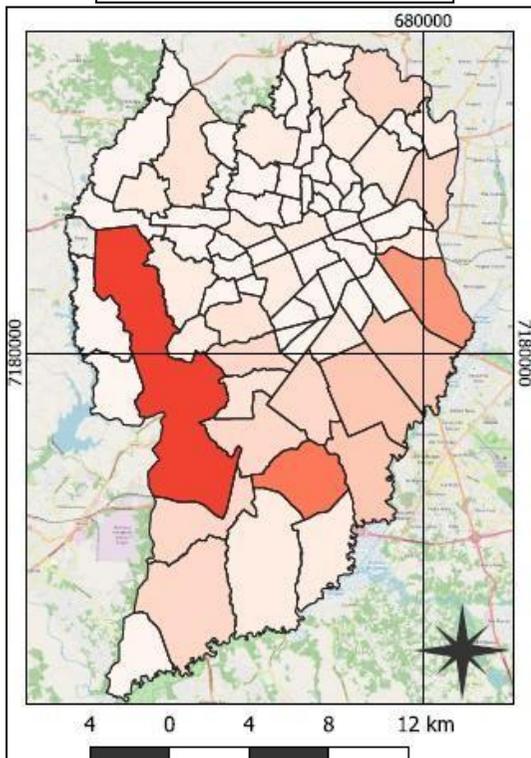
SIRGAS 2000 UTM 22S

FONTES DE DADOS:  
Boletins de Acompanhamento – Projeto Rede Monitoramento Covid Esgotos (2021);  
Prefeitura de Curitiba (2021);

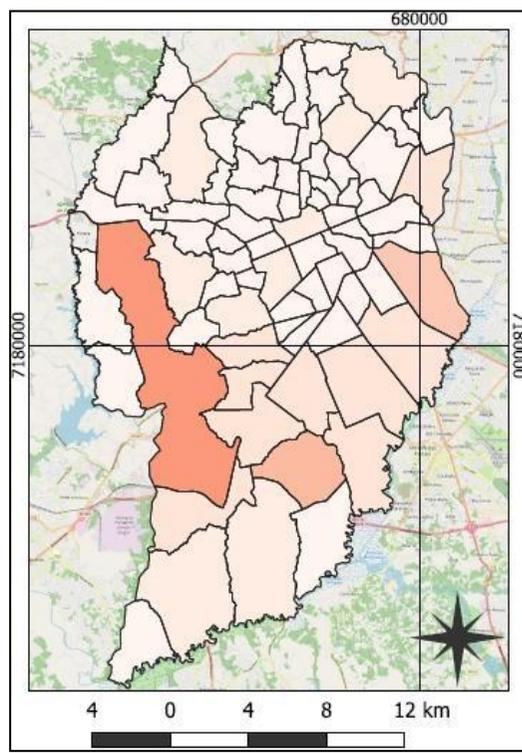
Contribuição de OpenStreetMap®

MAPAS DE NÚMERO DE CASOS ACUMULADOS EM 07 DIAS

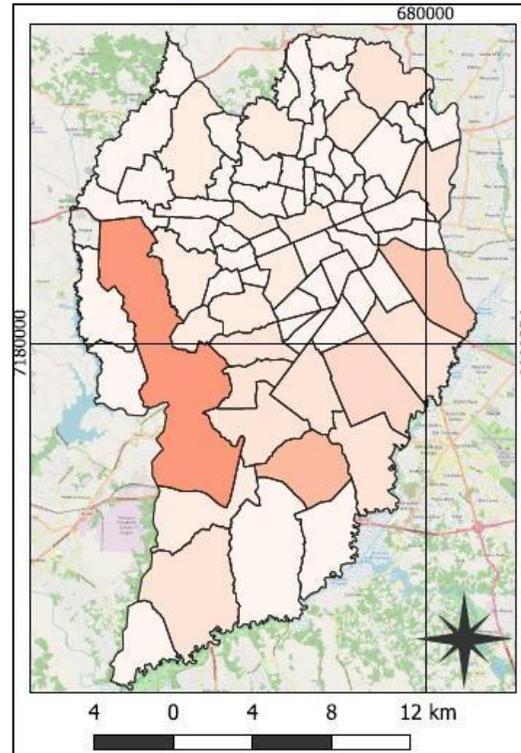
13/06/2021 a 19/06/2021



25/07/2021 a 31/07/2021

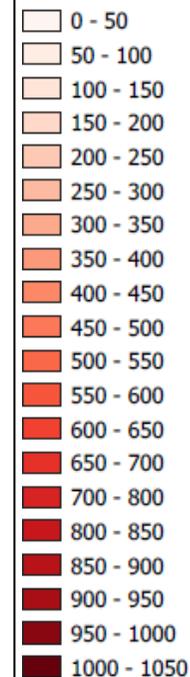


01/08/2021 a 07/08/2021

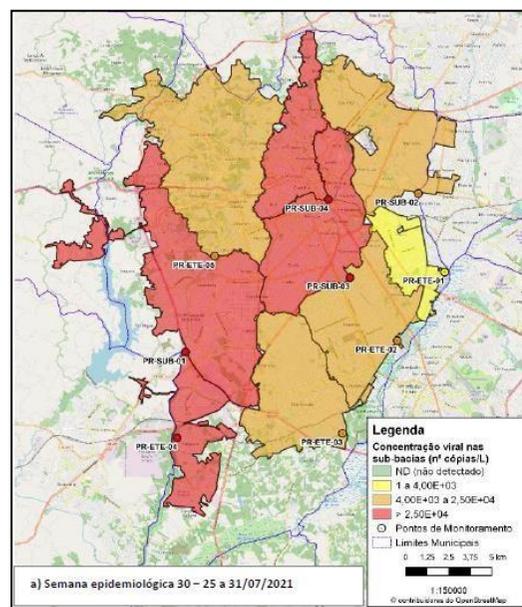
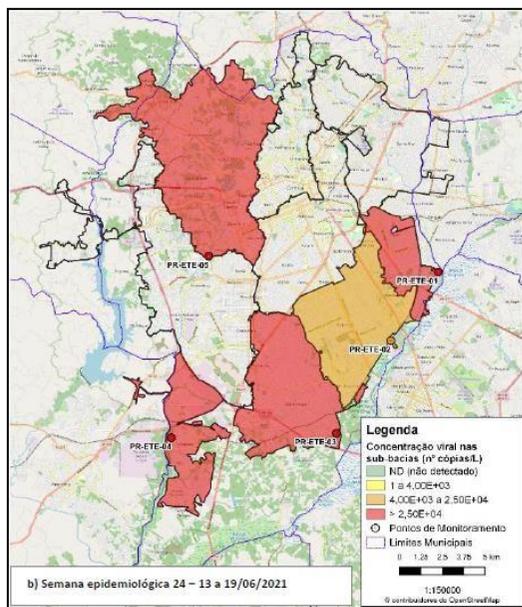


Legenda

Número de Casos Acumulados em 07 dias



MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE CARGA DE RNA DE SARS-COV-2 DO PROJETO REDE MONITORAMENTO COVID ESGOTOS (2021)



DADOS DOS MAPAS DE NÚMERO DE CASOS ACUMULADOS EM 07 DIAS:

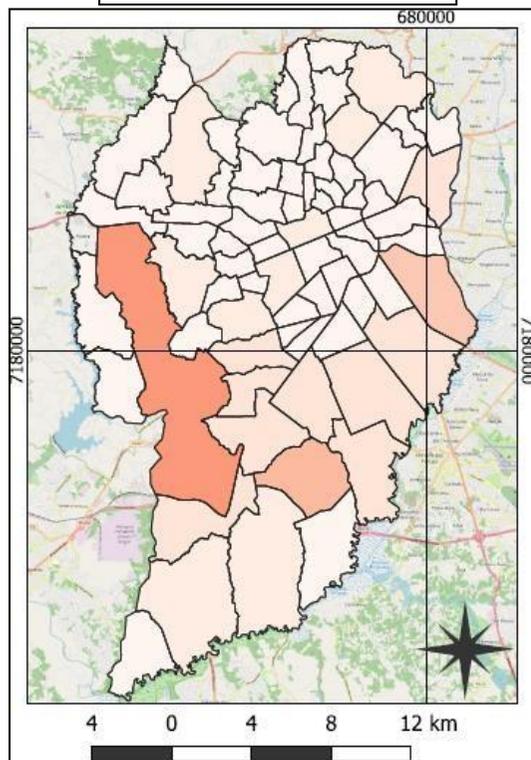
SIRGAS 2000 UTM 22S

FONTES DE DADOS:  
Boletins de Acompanhamento – Projeto Rede Monitoramento Covid Esgotos (2021);  
Prefeitura de Curitiba (2021);

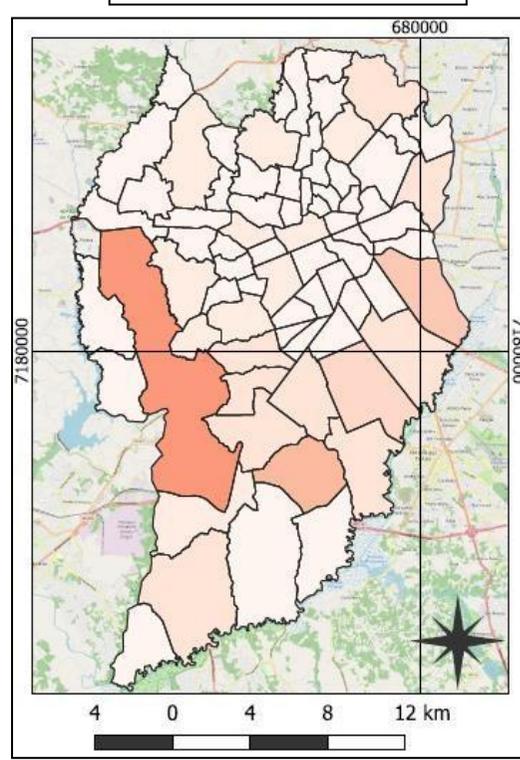
Contribuição de OpenStreetMap®

**MAPAS DE NÚMERO DE CASOS ACUMULADOS EM 07 DIAS**

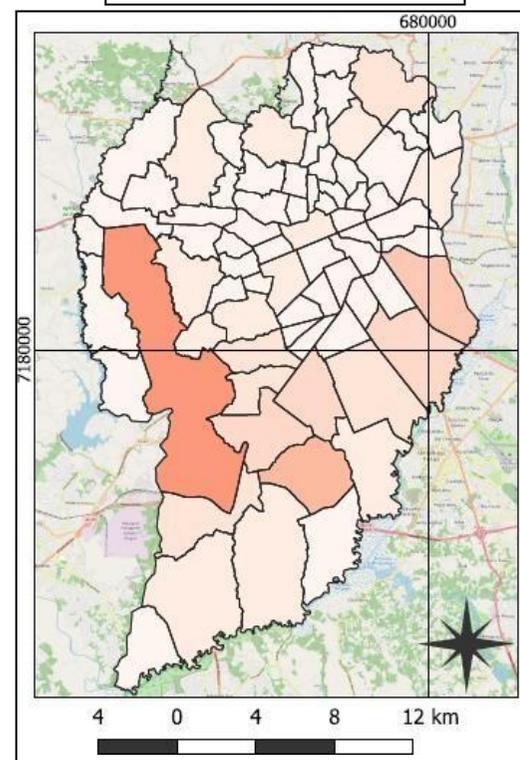
**25/07/2021 a 31/07/2021**



**01/08/2021 a 07/08/2021**

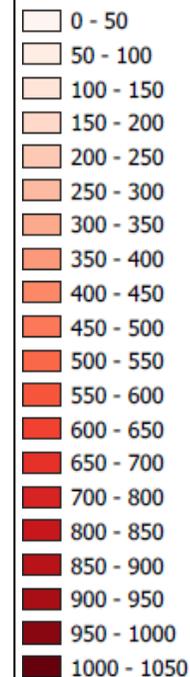


**08/08/2021 a 14/08/2021**

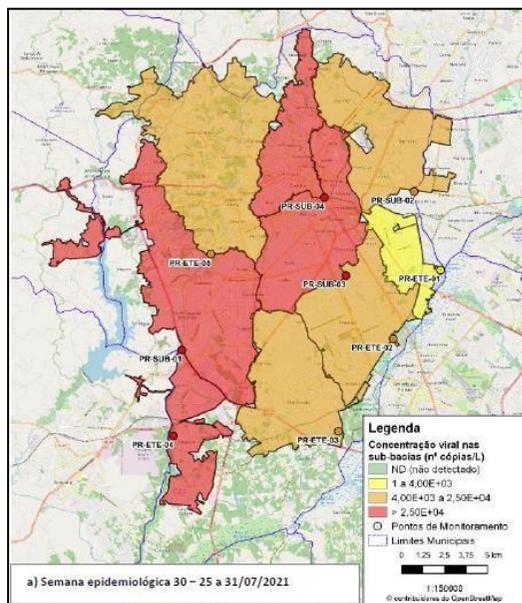


**Legenda**

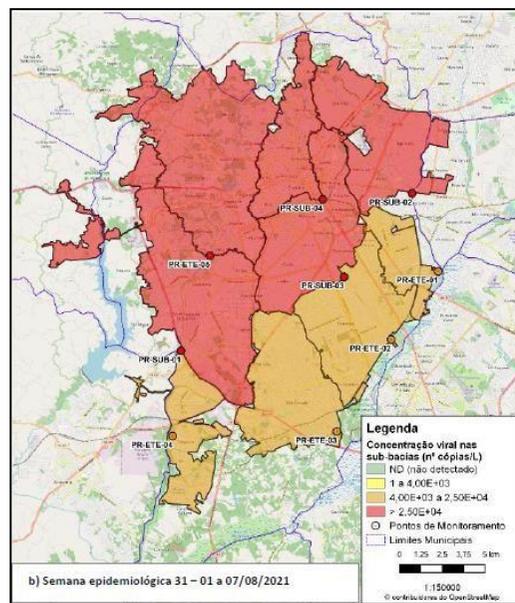
Número de Casos Acumulados em 07 dias



**MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE CARGA DE RNA DE SARS-COV-2 DO PROJETO REDE MONITORAMENTO COVID ESGOTOS (2021)**



a) Semana epidemiológica 30 – 25 a 31/07/2021



b) Semana epidemiológica 31 – 01 a 07/08/2021

**DADOS DOS MAPAS DE NÚMERO DE CASOS ACUMULADOS EM 07 DIAS:**

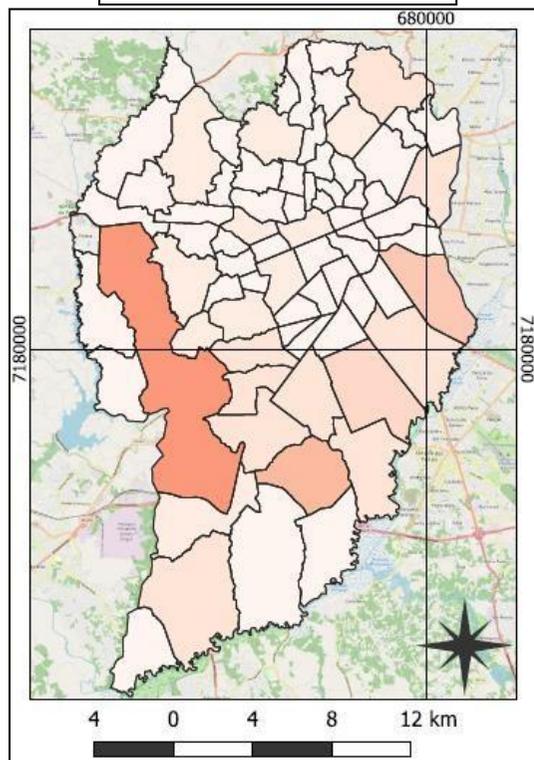
**SIRGAS 2000 UTM 22S**

**FONTES DE DADOS:**  
Boletins de Acompanhamento – Projeto Rede Monitoramento Covid Esgotos (2021);  
Prefeitura de Curitiba (2021);

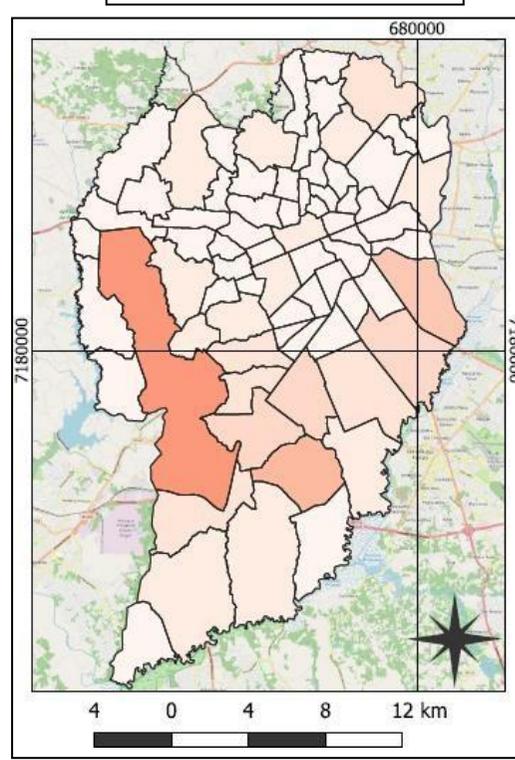
**Contribuição de OpenStreetMap®**

**MAPAS DE NÚMERO DE CASOS ACUMULADOS EM 07 DIAS**

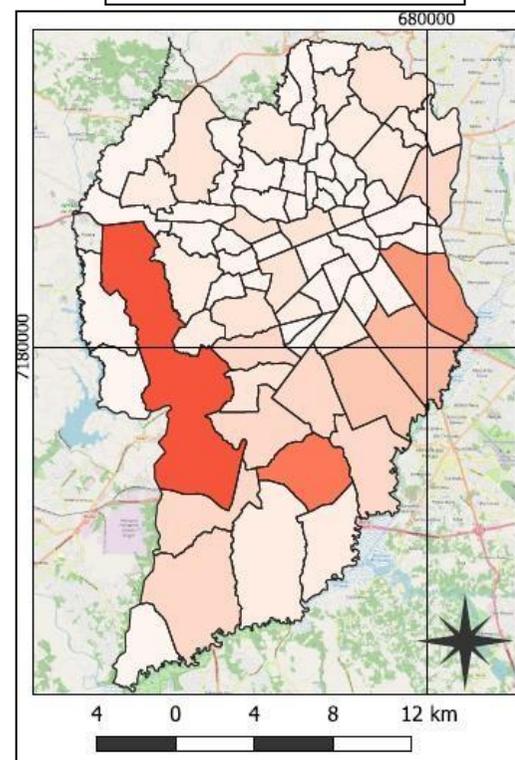
**01/08/2021 a 07/08/2021**



**08/08/2021 a 14/08/2021**

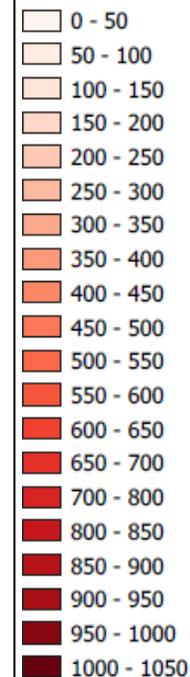


**15/08/2021 a 21/08/2021**

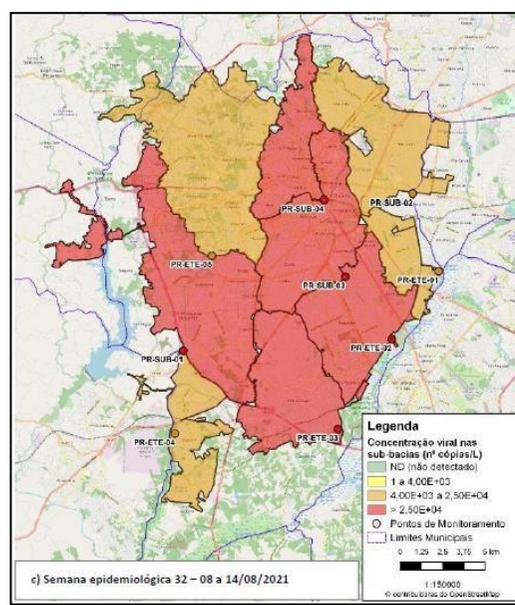
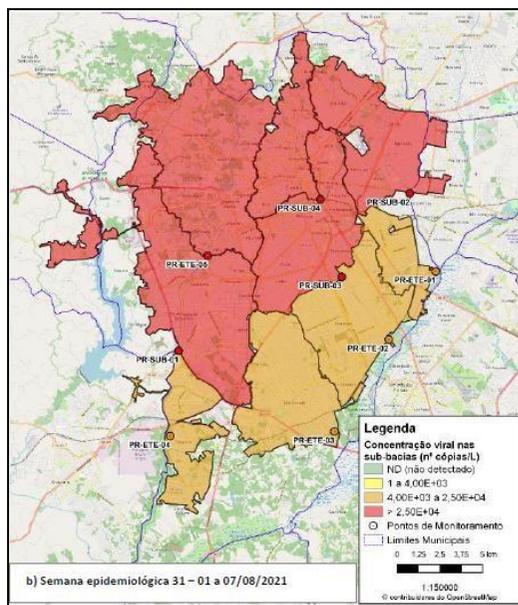


**Legenda**

Número de Casos Acumulados em 07 dias



**MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE CARGA DE RNA DE SARS-COV-2 DO PROJETO REDE MONITORAMENTO COVID ESGOTOS (2021)**



**DADOS DOS MAPAS DE NÚMERO DE CASOS ACUMULADOS EM 07 DIAS:**

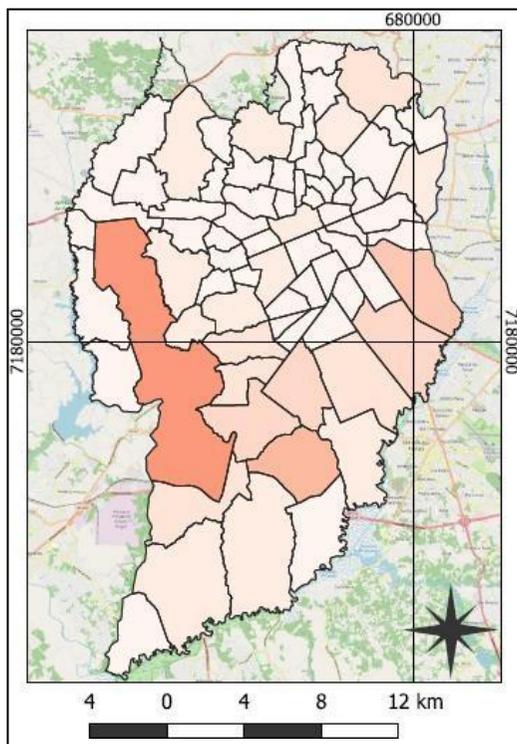
SIRGAS 2000 UTM 22S

**FONTES DE DADOS:**  
Boletins de Acompanhamento – Projeto Rede Monitoramento Covid Esgotos (2021); Prefeitura de Curitiba (2021);

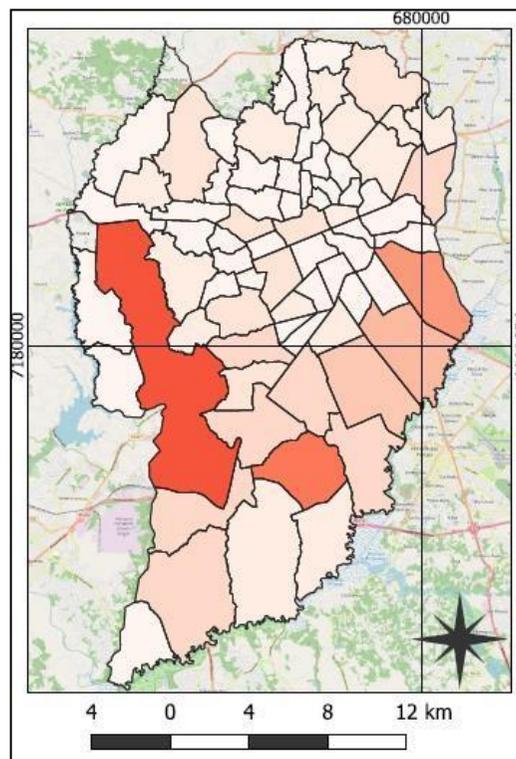
Contribuição de OpenStreetMap®

MAPAS DE NÚMERO DE CASOS ACUMULADOS EM 07 DIAS

08/08/2021 a 14/08/2021

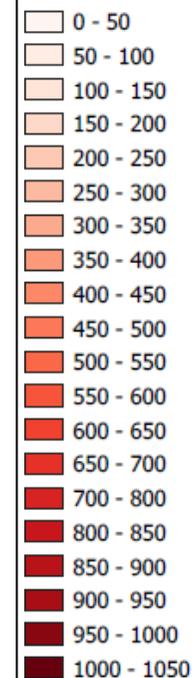


15/08/2021 a 21/08/2021

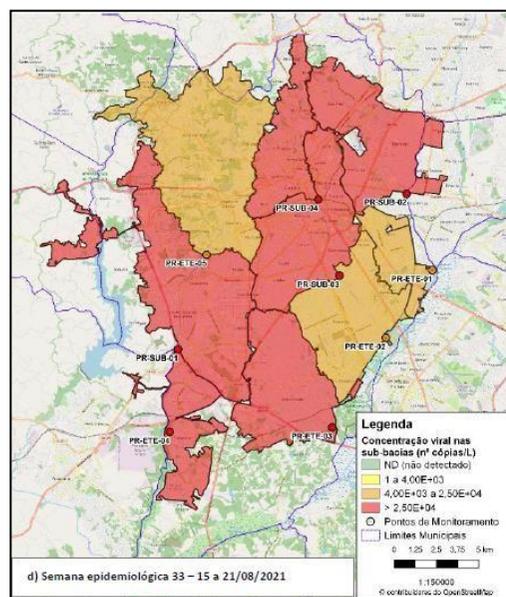
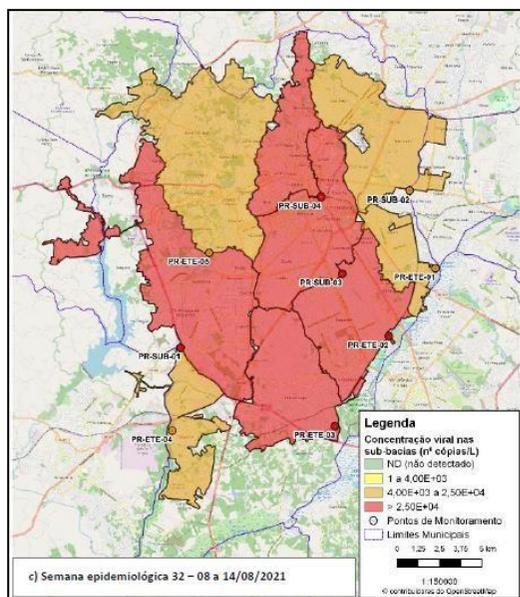


Legenda

Número de Casos Acumulados em 07 dias



MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE CARGA DE RNA DE SARS-COV-2 DO PROJETO REDE MONITORAMENTO COVID ESGOTOS (2021)



DADOS DOS MAPAS DE NÚMERO DE CASOS ACUMULADOS EM 07 DIAS:

SIRGAS 2000 UTM 22S

FONTES DE DADOS:  
Boletins de Acompanhamento – Projeto Rede Monitoramento Covid Esgotos (2021);  
Prefeitura de Curitiba (2021);

Contribuição de OpenStreetMap®