



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
INSTITUTO DE QUÍMICA  
CURSO DE QUÍMICA TECNOLÓGICA

JÚLIA COSTA SILVA

SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL EM MEIO À CRISE SANITÁRIA DA  
COVID-19: POSSÍVEIS RISCOS AO AMBIENTE E A POPULAÇÕES  
VULNERÁVEIS?

BRASÍLIA-DF

2021

JÚLIA COSTA SILVA

SANEAMENTO BÁSICO NO BRASIL EM MEIO À CRISE SANITÁRIA DA  
COVID-19: POSSÍVEIS RISCOS AO AMBIENTE E A POPULAÇÕES  
VULNERÁVEIS?

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto de Química da  
Universidade de Brasília para a obtenção  
do grau de Bacharel em Química  
Tecnológica.

Orientador: Prof. Fernando Fabriz Sodré

BRASÍLIA-DF

2021

À minha família, sempre!

Dedico

## AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente aos meus pais, Conceição e Carlos, por todo amor, dedicação, educação, incentivo e pelas oportunidades oferecidas com tanta luta e esforço. Às minhas irmãs, Roberta e Lorena, mulheres maravilhosas, que sempre têm uma palavra de conforto e segurança.

Ao meu filho que me faz querer ser cada dia melhor.

Ao André, meu namorado, amigo e companheiro de vida, por me lembrar todos os dias que devemos sempre viver o agora, fazendo aquilo que gostamos, sem muita preocupação com o amanhã.

Ao professor Fernando Sodré pela orientação, pelos ensinamentos e pela paciência durante esta jornada.

A todos que de alguma forma contribuíram para que eu chegasse aqui e me tornasse quem eu sou hoje.

A Deus, que se faz presente em cada uma dessas pessoas.

## RESUMO

Até o início de maio de 2021, foram registrados mais de 150 milhões de casos de infecção pelo novo coronavírus ao redor do mundo, ocasionando a morte de mais de 400 mil pessoas somente no Brasil. Os Coronavírus são conhecidos por apresentarem uma estrutura semelhante a uma coroa formada por proteínas (peplômeros) presentes na superfície do envelope viral, e possuem como principal forma de transmissão o contato direto de gotículas infectadas expelidas pelas vias respiratórias com a mucosa oral, nasal ou conjuntiva. A presença de material genético viral nas fezes de pacientes infectados levantou questionamentos a respeito da possibilidade de infecção por vias alternativas, neste caso a via fecal-oral. Tal questionamento é de elevada relevância considerando-se que muitos países, assim como o Brasil, possuem uma grande disparidade no que se refere ao atendimento da população quanto aos serviços de abastecimento de água e, principalmente, de coleta e tratamento de esgoto sanitário. Por meio de uma pesquisa de abordagem qualitativa, foi possível analisar que, as etapas de tratamento de esgotos empregadas nas ETEs do país são suficientes para remover boa parte dos organismos patogênicos, incluindo os coronavírus, que possam estar presentes no meio. E mesmo nos locais onde o saneamento é escasso, a própria composição do esgoto pode ser suficiente para inativação do vírus causador da Covid-19, visto que o envelope lipídico é mais suscetível à degradação neste meio. Portanto, sugere-se que é pouco provável que a via feco-oral seja, isoladamente, uma rota importante de infecção comunitária pelo SARS-CoV-2, visto que a vulnerabilidade na saúde das populações que residem nas regiões com saneamento escasso, também está associada a fatores como a falta de políticas públicas e baixas condições socioeconômicas e de moradia. Mas o entendimento acerca do comportamento do novo coronavírus no meio ambiente, se mostra uma importante ferramenta não só para contenção da disseminação, mas também para prevenção ao surgimento de novas doenças e eventuais futuras pandemias.

**Palavras-chave:** COVID-19, águas residuárias, esgoto, transmissão feco-oral.

## ABSTRACT

By the beginning of May 2021, more than 150 million cases of infection with the new coronavirus were registered around the world, causing the death of more than 400 thousand people in Brazil alone. Coronaviruses are known to have a structure similar to a crown formed by proteins (peplomers) present on the surface of the viral envelope, and the main form of transmission is the direct contact of infected droplets expelled through the airways with the oral, nasal or conjunctiva mucosa. The presence of viral genetic material in the feces of infected patients raised questions about the possibility of infection by alternative routes, in this case the fecal-oral route. Such questioning is of high relevance considering that many countries, as well as Brazil, have a great disparity in terms of serving the population with water supply services and, mainly, collection and treatment of sanitary sewage. Through a qualitative research, it was possible to analyze that, the sewage treatment steps used in the country's wastewater treatment plants (WWTPs) are sufficient to remove a good part of the pathogenic organisms, including coronaviruses, that may be present in the environment. And even in places where sanitation is scarce, the composition of the sewage itself may be sufficient to inactivate the virus that causes COVID-19, since the lipid envelope is more susceptible to degradation in this medium. Therefore, it is suggested that it is unlikely that the feco-oral route alone is an important route of community infection by SARS-CoV-2, since the health vulnerability of populations residing in regions with poor sanitation is also associated with factors such as the lack of public policies and low socioeconomic and housing conditions. But understanding the behavior of the new coronavirus in the environment, proves to be an important tool not only to contain the spread, but also to prevent the emergence of new diseases and possible future pandemics.

**Keywords:** COVID-19, wastewater, sewage, fecal-oral transmission

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa da amostra de municípios cujos dados de abastecimento de água estão presentes no SNIS em 2019, por tipo de formulário, segundo município.....	25
Figura 2 - Mapa da amostra de municípios cujos dados de esgotamento sanitário estão presentes no SNIS em 2019, por tipo de formulário, segundo município.....	26
Figura 3 - Mapa do índice de tratamento de esgotos referido à água consumida dos municípios com prestadores de serviços participantes do SNIS em 2019, distribuído por faixas percentuais, segundo município.....	27
Figura 4 - Eficiência da remoção de DBO por região geográfica, considerando-se o número de ETEs e a população atendida.....	29
Figura 5 - Estrutura do SARS-CoV-2. M: membrana lipídica; S: espícula de contato do vírus com receptores celulares; E: envoltório glicoproteico; RNA+: material genético viral; N: capsídeo proteico.....	32
Figura 6 - Quantidade de novos casos registrados de COVID-19, por Estado, de abril a junho de 2020. ....	36
Figura 7 - Quantidade de novos casos registrados de COVID-19, por estado, em 27 de abril de 2021.. ....	37

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação e composição de sólidos e organismos no esgoto bruto. ....	17
Tabela 2 - Valores estimados de T90 e T99 para os SARS-CoV-2 em amostras de águas residuárias e de rios sob diferentes condições experimentais. ....	35
Tabela 3 - Dados demográficos, de saneamento e relativos à COVID-19 para os municípios de Macapá, Ananindeua, Franca e Uberlândia. ....	38



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ACE2	Angiotensin-converting enzyme 2
CF	Coliformes Fecais
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CoV	Coronavirus
COVID-19	Coronavirus Disease 2019
CT	Coliformes Totais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
EC	Escherichia coli
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
INCT	Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia
MBR	Membrane Bioreactor
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
MERS-CoV	Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus
MF	Microfiltração
MON	Matéria Orgânica Natural
NMP	Número Mais Provável
OMS/WHO	Organização Mundial da Saúde / World Health Organization
RNA	Ácido Ribonucleico
SARS-CoV-1	Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 1
SARS-CoV-2	Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNS	Secretaria Nacional de Saneamento
THM	Trihalometanos
UF	Ultrafiltração
UV	Ultravioleta

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
2	OBJETIVOS.....	14
3	MÉTODO.....	15
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	16
4.1	O esgoto sanitário .....	16
4.2	Gerenciamento do esgoto sanitário.....	17
4.2.1	Desinfecção e remoção de patógenos.....	18
4.2.2	Aproveitamento do lodo de esgoto.....	22
4.3	Saneamento básico no Brasil .....	23
4.3.1	Tratamento de esgoto no Brasil .....	28
4.3.2	Ranking brasileiro do saneamento.....	30
4.4	Sars-CoV-2 e sua presença no esgoto doméstico .....	31
4.5	Saneamento básico no Brasil e a COVID-19.....	34
4.5.1	Persistência do Sars-CoV-2 em águas e esgotos .....	34
4.5.2	Estudo de caso .....	36
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	39
6	REFRÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	41

# 1 INTRODUÇÃO

Até o início de maio de 2021, mais de 150 milhões de pessoas ao redor do mundo foram infectadas pelo vírus SARS-CoV-2 em uma das mais fortes pandemias da história. Somente no Brasil, foram registradas até o momento mais de 400 mil mortes relacionadas ao vírus desde o primeiro caso no final de fevereiro de 2020 (WHO, 2021).

Coronavírus (CoVs) são vírus zoonóticos, pertencentes à ordem dos *Nidovirales* da família *Coronaviridae*. Receberam este nome pois quando observados por meio de um microscópio eletrônico apresentam uma estrutura semelhante a uma coroa formada por proteínas (peplômeros) presentes na superfície do envelope viral que irradiam para fora. Seu material genético consiste de uma única molécula de RNA fita simples com polaridade positiva (Stadler et al., 2003).

Sete tipos de coronavírus capazes de causar doenças em humanos já foram identificados desde a primeira notificação no homem na década de 1960, cerca de 30 anos após a descoberta do vírus em galinhas. Quatro destas espécies já são endêmicas da população humana e não causam infecções muito graves. As outras 3 espécies são responsáveis por causar doenças conhecidas como Síndromes Respiratórias Agudas (Vargas & Lawall, 2020).

Em 2002, na província chinesa de Guangdong, foram relatados os primeiros casos de uma doença respiratória que em poucos meses se espalhou para outros países alertando a Organização Mundial da Saúde. O que inicialmente foi interpretado como uma pneumonia atípica, mais tarde foi identificado como um coronavírus até então não conhecido, que causou a morte de aproximadamente 770 pessoas em todo mundo por complicações da Síndrome Respiratória Aguda Grave, sendo designado como SARS-CoV (Severe Acute Respiratory Syndrome - Coronavirus) (da Silva, 2003).

Em 2012, um novo coronavírus foi reportado em um paciente na Arábia Saudita. Intitulado como Coronavírus da Síndrome Respiratória do Oriente Médio (MERS-CoV), o vírus foi detectado em 27 países e está associado à morte de 858 pessoas ao redor do mundo até a última atualização publicada pela OMS em 2019 (WHO, 2019). Possui elevada taxa de mortalidade (aproximadamente 35%) quando comparado ao SARS (9%). Estudos posteriores notificaram a presença do vírus em mais de 90% dos dromedários adultos provenientes da Arábia Saudita, sugerindo que este seja o principal hospedeiro do vírus (Mackay & Arden, 2015).

No final de 2019, novamente, vários casos classificados como uma pneumonia de origem desconhecida na cidade de Wuhan na China, alarmaram as autoridades de saúde quanto à possibilidade de infecção por um novo vírus. Em janeiro de 2020, o vírus, nomeado como SARS-CoV-2, foi isolado das células epiteliais das vias aéreas de pacientes infectados. Em poucos dias o vírus se espalhou rapidamente para outras cidades nas proximidades e logo para outros países ao redor do mundo, levando a OMS a anunciar, em março, o surto de COVID-19 como uma pandemia (Koga-Ito et al., 2020).

Geneticamente, os SARS-CoV-2 é similar ao SARS-CoV, sendo a principal diferença a afinidade entre a proteína da superfície do envelope viral e a enzima receptora na célula, que pode ser até 20 vezes maior para o SARS-CoV-2. Um estudo sugere que essa maior afinidade pode facilitar a infecção de humanos por SARS-CoV-2 (He et al., 2020).

O principal veículo de transmissão do SARS-CoV-2 são gotículas infectadas expelidas pelas vias respiratórias em contato direto ou indireto com a mucosa oral, nasal ou conjuntiva. O risco de transmissão está relacionado a alguns fatores como o padrão de contato, incluindo a frequência, a duração e a proximidade do contato com pessoas possivelmente infectadas; o ambiente na qual a pessoa se encontra, visto que ambientes fechados, com pouca ventilação e muito movimentados apresentam maiores índices de superespalhamento; a interação com o hospedeiro, que pode variar com a idade, comorbidades apresentadas e com a resposta imunológica do indivíduo; e fatores socioeconômicos (Cevik, Kuppalli, et al., 2020; Cevik, Marcus, et al., 2020).

Além da transmissão pela via respiratória, alguns estudos mostraram que a transmissão também pode ocorrer através de superfícies e objetos contaminados visto que o vírus pode permanecer viável por horas, em superfícies de cobre ou papelão, ou até dias, em aço inoxidável e plástico (van Doremalen et al., 2020).

Outros estudos verificaram a presença do RNA viral em amostras de fezes de pacientes com COVID-19 (Wu et al., 2020), levantando questionamentos sobre a possibilidade de contaminação de águas de recreação (Cahill & Morris, 2020), de solos e plantações (Núñez-Delgado, 2020) através do contato com esgoto doméstico e águas residuárias de hospitais, tornando-se vias alternativas de transmissão da doença.

Atualmente no Brasil, a questão sanitária, apesar da melhora nos últimos anos, ainda é bastante divergente. De acordo com os últimos dados divulgados no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, aproximadamente 20% da população brasileira não tem acesso ao abastecimento de água tratada e pouco mais de

100 milhões de brasileiros não têm acesso à coleta de esgoto (SNIS, 2020). Além da escassez dos serviços de saneamento, a baixa condição socioeconômica e o descaso do poder público, caracterizam a vulnerabilidade na saúde das populações que vivem nestas condições. Tais fatores contribuem para uma maior exposição aos patógenos de veiculação hídrica e, conseqüentemente, aumentam a incidência de casos de doenças como cólera, diarreia aguda, esquistossomose, febre tifóide, hepatite A, entre outras (Uhr et al., 2016).

Por mais que o conhecimento acerca da viabilidade do SARS-CoV-2 fora do hospedeiro ainda seja limitado, as vias de transmissão alternativas devem ser discutidas e analisadas com importância devido ao contexto atual da pandemia, para que as ações de controle de espalhamento da doença sejam ampliadas e otimizadas.

O presente trabalho abordará os impactos da pandemia do ponto de vista socioambiental, analisando se as diferenças nas instalações operacionais de abastecimento de água, limpeza e drenagem urbana, manejo de resíduos sólidos e esgotamento sanitário existentes em todo o país, podem estar relacionadas com uma maior susceptibilidade de infecção por COVID-19.

## 2 OBJETIVOS

Discutir sobre a presença e os efeitos do SARS-CoV-2 no ambiente, abordando as questões de disparidade acerca do saneamento básico no Brasil. Como objetivos específicos:

- Discutir sobre os efeitos do SARS-CoV-2 no ambiente;
- Discorrer sobre as possíveis vias alternativas de contágio;
- Analisar condições sanitárias da população brasileira relacionando-as com os índices de contaminação e disseminação do vírus;
- Verificar a eficácia dos métodos utilizados atualmente nas estações de tratamento para eliminação ou inviabilização do vírus em questão;
- Avaliar o risco de contágio da população por vias alternativas em uma proposta de estudo de caso.

### 3 MÉTODO

Este estudo constituiu em uma pesquisa de abordagem qualitativa, que, de acordo com Gastão (2007), normalmente é utilizada “quando se consideram relevantes os fatores sociais, políticos, ideológicos, além dos técnicos, que cercam os sujeitos estudados”.

Foram conduzidas buscas por artigos e trabalhos sobre o tema nas bases de dados Google Scholar, Web of Science, Scientific Electronic Library Online (SciELO - Saúde Pública), e na PubMed, da National Library of Medicine. Para a seleção dos trabalhos, alguns dos termos utilizados foram: “Coronavirus”, “SARS-CoV-2”, “COVID-19”, “saneamento básico”, “sewage coronavirus”, “soil coronavirus”, “wastewater coronavirus”, “tratamento de esgoto”, “tratamento de água”.

Além disso, foram consultados: as plataformas online da Organização Mundial da Saúde (WHO, *World Health Organization*) e os sites oficiais do Governo Federal, para coleta de dados atualizados sobre a COVID-19; e as plataformas do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), também do Governo Federal, e do Instituto Trata Brasil, para coleta de dados sobre a situação atual do saneamento básico no país.

Os resultados encontrados foram utilizados como embasamento para elaboração do texto juntamente com a interpretação dos dados quantitativos coletados.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 O esgoto sanitário**

De acordo com Nuvolari (2011 apud Martins, 2018) a composição do esgoto sanitário é, em média, 99,9% água e 0,1% sólidos. O autor afirma ainda que a presença do material sólido em suspensão ou na forma coloidal, influencia na sedimentação, nos fenômenos de adsorção, difusão e biodegradação da matéria orgânica. O material orgânico presente no esgoto representa cerca de 70% do material sólido e é constituído, majoritariamente, por compostos de proteínas (40 a 60%), carboidratos (25 a 50%), gorduras e óleos (10%), além de ureia, fenóis e surfactantes presentes em detergentes domésticos e industriais. A matéria inorgânica constitui-se principalmente de areia, proveniente de águas de lavagens das ruas ou infiltrações das águas de subsolo nas canalizações, além de substâncias minerais dissolvidas (Jordão & Pessoa, 2011).

Outras espécies que podem ser encontradas nos esgotos incluem, cloretos, fosfatos, sulfatos, carbonatos, sódio, fibras vegetais não digeridas, glicose, vermes, bactérias, vírus e demais organismos patogênicos, provenientes da lavagem de roupas e louças, dos produtos de excreção (urina e fezes) e de vários outros produtos lançados no vaso sanitário, incluindo aqueles de limpeza e higiene pessoal (Martins, 2018).

Dentre os micro-organismos presentes nos esgotos, as bactérias de origem fecal, típicas do intestino do homem e de mamíferos em geral, são comumente utilizadas como referência para indicar a poluição fecal em corpos hídricos. Estes organismos são eliminados em elevada quantidade nos excrementos humanos, juntamente com outros organismos patogênicos, no caso de indivíduos doentes, ocasionando as doenças de veiculação hídrica (Jordão & Pessoa, 2011).

A Tabela 1 mostra a composição média do esgoto sanitário, comumente denominada água residual ou residuária.



Tabela 1 - Classificação e composição de sólidos e organismos no esgoto bruto.

Material	Concentração	
<i>Sólidos</i>	<i>Unidade</i>	<i>Faixa</i>
Sólidos Totais	mg/L	370 – 1.160
Suspensos	mg/L	120 – 360
Fixos	mg/L	30 – 80
Voláteis	mg/L	90 – 280
Dissolvidos	mg/L	250 – 800
Fixos	mg/L	145 – 500
Voláteis	mg/L	105 – 300
Sedimentáveis	mg/L	5 – 20
Micro organismos	Unidade	Faixa
Coliformes Totais (CT)	NMP/100 ml <sup>1</sup>	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>9</sup>
Coliformes fecais (CF)	NMP/100 mL	10 <sup>5</sup> - 10 <sup>8</sup>
Escherichia coli (EC)	EC/g.fezes	10 <sup>9</sup>
Helmintos	Ovos/100 ml	10 <sup>1</sup> - 10 <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Número Mais Provável por 100 mL. Estimativa estatística da concentração de coliformes. Fonte: Adaptado de Jordão & Pessoa, 2011;

## 4.2 Gerenciamento do esgoto sanitário

Em geral, para que seja despejado no ambiente, o esgoto sanitário e as demais águas residuárias devem passar por processos de tratamento em plantas especificamente construídas para este fim, denominadas estações de tratamento de esgotos (ETE). Atualmente, existem várias leis e resoluções, como a Resolução nº 430 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que estabelecem parâmetros de qualidade que os efluentes de ETE devem atingir antes de serem descartados em corpos aquáticos receptores, de forma a minimizar os impactos ambientais gerados, como valores de pH e temperatura do efluente, quantidade de materiais sedimentáveis e flutuantes, vazão máxima, concentração de óleos e graxas, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), além de valores máximos para parâmetros orgânicos e inorgânicos (CONAMA, 2011).

Neste sentido, uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos deverão ser utilizados a depender do grau de tratamento necessário, considerando-se as características do esgoto, do corpo receptor, da destinação da água e da legislação vigente aplicável. Também são levados em consideração fatores econômicos, sociais, operacionais, entre outros.

Para os efluentes sanitários, as etapas de tratamento podem ser divididas em pré-tratamento, tratamento primário, secundário, terciário e pós-tratamento, envolvendo métodos biológicos aeróbios e/ou anaeróbios e outras operações físicas, químicas e biológicas. Com relação à inativação de patógenos, a principal etapa é a de desinfecção,

embora outras etapas do tratamento também ofereçam boa remoção dos mesmos (Rollemberg et al., 2020).

#### *4.2.1 Desinfecção e remoção de patógenos*

Algumas características dos efluentes e/ou as condições a que são submetidos durante o tratamento, como a exposição a luz solar, o pH do meio, a temperatura, a presença de matéria orgânica e sólidos suspensos, o tempo de residência, contato com substâncias químicas, entre outros, são fatores que podem influenciar na permanência de vírus neste meio.

Um estudo verificou que a presença de matéria orgânica e de sólidos suspensos pode funcionar como uma proteção para os coronavírus que, devido à característica hidrofóbica do envelope viral, possuem maior tendência a serem adsorvidos a estas partículas, dificultando o contato com a substância de inativação. Por outro lado, quando este material sólido é sedimentado na forma de lodo, boa parte da carga viral pode ser arrastada permitindo sua remoção (Gundy et al., 2009).

As lagoas de estabilização, principalmente as lagoas de maturação, amplamente utilizadas em etapas de tratamento secundário, possuem boa capacidade de remoção de patógenos devido à combinação de fatores como: exposição à luz solar, temperatura, pH, tempo de detenção hidráulica, sedimentação com o lodo de fundo e predação por outros organismos. O sistema de lagoas de estabilização tem mostrado boa eficiência na remoção de vírus de acordo com Rollemberg et al. (2020) que avaliaram a contaminação, sobrevivência e remoção do coronavírus em sistemas de tratamento de esgoto sanitário.

Processos mais avançados de separação por membranas também apresentam remoção significativa de patógenos. O biorreator de membrana (MBR), operando através da combinação do tratamento biológico, que transforma a matéria orgânica em biomassa, com separação sólido-líquido pela membrana, é capaz de eliminar vírus por exclusão por tamanho devido à porosidade da membrana. A utilização de membranas de microfiltração (MF) e ultrafiltração (UF) tornam os efluentes isentos de vírus (Maestri, 2007).

De acordo com Rollemberg et al. (2020), a utilização de filtros de areia pode remover até 98% da carga viral, principalmente quando combinado com coagulantes que auxiliam no processo de adsorção e sedimentação. O lodo sedimentado deve passar por um processo de estabilização para que ocorra a inativação do vírus presente. Este processo pode ser realizado por meio de digestão anaeróbia; estabilização química por caleação ou

calagem, que consiste na adição de cal virgem (CaO) ao lodo resultando em aumento de temperatura e pH; secagem mecânica ou tratamento térmico.

### *Digestão anaeróbia*

Na digestão anaeróbia, organismos anaeróbios e facultativos realizam a decomposição da matéria orgânica na ausência de oxigênio. Este processo, além de estabilizar substâncias orgânicas complexas presentes no lodo, também é responsável pela destruição ou redução a níveis previamente estabelecidos de organismos patogênicos (Jordão & Pessoa, 2011). A digestão, de maneira geral, pode ser caracterizada pelos seguintes estágios:

- Hidrólise: onde ocorre a solubilização de proteínas, celulose, lipídeos e outras substâncias orgânicas complexas;
- Acidificação: caracterizada pela queda do pH, atingindo valores até 4,0, decorrente da produção de ácidos orgânicos, bicarbonatos, gás carbônico e gás sulfídrico gerados pelas bactérias na assimilação de compostos nitrogenados solúveis, amiláceos e gorduras;
- Regressão e liquefação: os ácidos orgânicos e compostos nitrogenados são digeridos gerando compostos amoniacais, carbonatos ácidos e gases de decomposição em volume reduzido;
- Estabilização e gaseificação: observa-se elevada produção de gases, devido a digestão intensa de compostos mais resistentes (proteínas, aminoácidos, ácidos orgânicos), e elevação do pH até 7,4. Após a cessação da gaseificação, o lodo adquire efeito tampão, caracterizando sua estabilidade.

A inoculação de lodo previamente digerido permite que estas etapas ocorram simultaneamente no digestor, acelerando o processo (Jordão & Pessoa, 2011).

### *Estabilização química*

Consiste na adição de reagentes alcalinos para elevação do pH até 12 ou mais por um período de tempo de aproximadamente 2 h, reduzindo, em 99% ou mais, a quantidade de micro-organismos (Jordão & Pessoa, 2011). Geralmente utiliza-se cal virgem para este

processo, pois além da facilidade de aplicação e do baixo custo do produto, a adição de cal ao lodo resulta em uma reação exotérmica podendo aumentar a temperatura do meio em até 10 °C, o que também contribui para eliminação de patógenos

#### *Secagem mecânica*

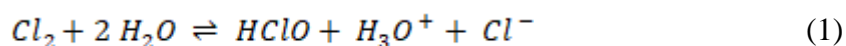
A secagem do lodo realizada por meios de filtros (à vácuo, prensa, de esteira) ou centrífugas, pode eliminar de 90 a 98% dos sólidos na torta. Utiliza-se alguns condicionantes, geralmente cal adicionado de cloreto férrico ou sulfato ferroso ou sulfato férrico, com o objetivo de melhorar a separação sólido-líquido através da floculação do lodo digerido. A eliminação de organismos patogênicos se dá por exclusão juntamente com os sólidos nos quais estão adsorvidos (Jordão & Pessoa, 2011).

#### *Tratamento térmico*

Neste método, a secagem do lodo é realizada por meio de secadores térmicos, sendo que a transferência de calor pode ocorrer pelos processos de convecção, onde a fonte de calor, geralmente gases aquecidos, está em contato direto com o lodo (secagem direta); condução, quando não há o contato direto do lodo com a fonte de calor (secagem indireta); ou radiação. O processo é capaz de inativar micro-organismos pela ação da temperatura e ainda preservar as propriedades agrícolas originais (Jordão & Pessoa, 2011).

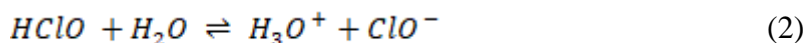
#### *Outros métodos de desinfecção*

A desinfecção por meio de compostos à base de cloro é uma das mais conhecidas e utilizadas atualmente ao redor do mundo. Em contato com a água e com o pH do meio acima de 4, o cloro puro se dissocia por completo formando ácido hipocloroso (HClO), conforme a reação 1.



O ácido hipocloroso, por sua vez, gera o íon hipoclorito (OCl<sup>-</sup>) em sua dissociação (reação 2), sendo o equilíbrio da reação dependente do pH. Em meios com pH abaixo de 6, o equilíbrio é deslocado favorecendo a formação do ácido hipocloroso, que é mais desejável devido à sua maior ação desinfetante com relação ao íon hipoclorito (Sanches

et al., 2003). A ação desinfetante do HOCl é baseada na danificação das funções mediadas pelo genoma e pelas proteínas (Rollemberg et al., 2020).



Embora eficiente, a utilização de cloro livre pode acarretar na formação de subprodutos de desinfecção devido à natureza da composição química dos efluentes domésticos. O ácido hipocloroso pode reagir com a matéria orgânica natural (MON) e íons brometo resultando na formação de trihalometanos (THM), prejudiciais à saúde humana. Além disso, o ácido hipocloroso também pode reagir com outras substâncias produzindo compostos que dissipam a ação desinfetante, como por exemplo sulfitos, sulfetos, nitritos, íons de ferro e manganês, aminoácidos, materiais proteicos e outras substâncias orgânicas (Lourenção, 2009; Oliveira, 2003; Sanches et al., 2003).

Outro agente químico utilizado na etapa de desinfecção é o dióxido de cloro (ClO<sub>2</sub>). Este gás deve ser gerado *in situ* devido à periculosidade de armazenamento. Possui boa estabilidade em solução aquosa a depender de características como pureza da solução, pH abaixo de 7, temperatura abaixo de 25°C e ausência de luz (E. C. M. de Oliveira, 2003). O dióxido de cloro é mais oxidante do que o gás cloro, porém reage menos com a matéria orgânica, diminuindo a formação de THM. Possui boa eficiência na inativação de bactérias, vírus e protozoários, pois reage com os aminoácidos vitais (Oliveira, 2003).

O ozônio também tem se mostrado eficiente no processo de desinfecção de águas de abastecimento e esgotos tratados. É gerado *in situ* através da aplicação de uma descarga elétrica que gera a decomposição do oxigênio molecular seguida da combinação do átomo de oxigênio radical com o O<sub>2</sub> (equações 4.3 e 4.4). Devido ao seu alto poder oxidante, o ozônio possui rápida ação desinfetante com tempo de contato relativamente baixo (Sanches et al., 2003).



A ação desinfetante do ozônio se dá através da oxidação catalítica de proteínas causando a lise celular dos microrganismos. Também promove a oxidação da matéria orgânica e inorgânica, sendo a eficiência do processo dependente da qualidade do

efluente, visto que a presença de matéria oxidável diminui a quantidade de ozônio disponível para desinfecção (de Oliveira, 2003).

O mecanismo de desinfecção por radiação ultravioleta é baseado na absorção da radiação por ácido nucleico e proteínas, desencadeando reações fotoquímicas que geram alterações ou quebras na molécula de ácido nucleico, levando células à morte. A eficiência da desinfecção UV depende de fatores como a turbidez da água, concentração de sólidos suspensos e densidade do fluido, que interferem na incidência da radiação no microrganismo (de Oliveira, 2003).

#### 4.2.2 Aproveitamento do lodo de esgoto

Uma das formas de aproveitamento do resíduo gerado nas estações de tratamento é a reciclagem agrícola. Devido à elevada carga de matéria orgânica e nutrientes, o lodo de esgoto pode ser utilizado para aplicação em áreas de reflorestamento, produção de composto ou fertilizante organo-mineral, restauração de terras ou para aplicação no solo com fins agrícolas.

A possibilidade de eventuais impactos e riscos ambientais deve ser analisada levando em consideração as características do lodo resultantes de seu pré-condicionamento (Jordão & Pessoa, 2011), São elas:

- a parcela de compostos orgânicos, medida pela concentração de sólidos voláteis em relação aos sólidos totais;
- a concentração de nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio), metais e compostos orgânicos tóxicos;
- o valor do pH, que influencia a absorção de metais pelo solo e pelas plantas; e a presença de patógenos.

O controle de organismos patogênicos é realizado pelo monitoramento de coliformes fecais, Salmonella e ovos de helmintos. Os coliformes fecais, ou termotolerantes, são um subgrupo dos coliformes totais caracterizados por se desenvolverem em temperaturas mais elevadas, sendo a *Escherichia coli* uma das espécies mais abundantes deste grupo, o principal indicador de contaminação fecal e da eventual presença de outros organismos patogênicos, visto que se desenvolve no intestino de animais de sangue quente (Jordão & Pessoa, 2011). Processos de digestão anaeróbia,

estabilização química e secagem térmica são capazes de reduzir a quantidade destes organismos.

### **4.3 Saneamento básico no Brasil**

O “conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável (. . .), esgotamento sanitário (. . .), limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos (. . .) e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas”, definido como saneamento básico de acordo com a Lei no 11.445/07, de 05 de Janeiro de 2007 (Brasil, 2007), está relacionado com a qualidade de vida, a saúde, a educação, o trabalho e o ambiente, podendo impactar positiva ou negativamente estes setores dependendo da disponibilidade e da qualidade dos serviços (Leoneti et al., 2011).

No Brasil, a Secretaria Nacional de Saneamento (SNS) do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), disponibiliza anualmente o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), contendo dados e informações que permitem acompanhar a evolução do setor de saneamento básico e o desempenho da prestação de serviços (SNIS, 2020).

O último diagnóstico, publicado no final de 2020 e referente ao ano 2019, mostra um crescimento nas redes de água e esgoto com relação ao ano anterior. Foram constatados aumentos de 1,5 milhão (0,9%) de novos habitantes atendidos pela rede de abastecimento de água e de 2,6 milhões (2,5%) de novos habitantes atendidos pela rede de esgotamento sanitário.

Com relação ao tratamento de esgoto, apesar de ter sido observado um incremento de 5,1% no volume de esgotos tratados, comparado ao ano de 2018, estimou-se que apenas 49,1% de todo o esgoto gerado no país seja, de fato, encaminhado para algum tipo de tratamento, enquanto o restante é descartado em sua forma bruta no ambiente atingindo, notavelmente, ambientes aquáticos naturais.

Os dados para elaboração do diagnóstico do SNIS foram fornecidos por meio de formulários pelos prestadores de serviços, incluindo companhias estaduais, empresas e autarquias municipais, empresas privadas e prefeituras. Se o município possui sistema público de água e/ou esgoto, o prestador de serviço deve responder ao formulário completo. Se o município não possui sistema público de abastecimento de água e/ou esgotamento sanitário, o prestador de serviço responde um formulário simplificado. As Figuras 1 e 2 mostram uma representação espacial dos municípios que forneceram dados

de abastecimento de água e de esgotamento sanitário, respectivamente, para o diagnóstico SNIS 2019.



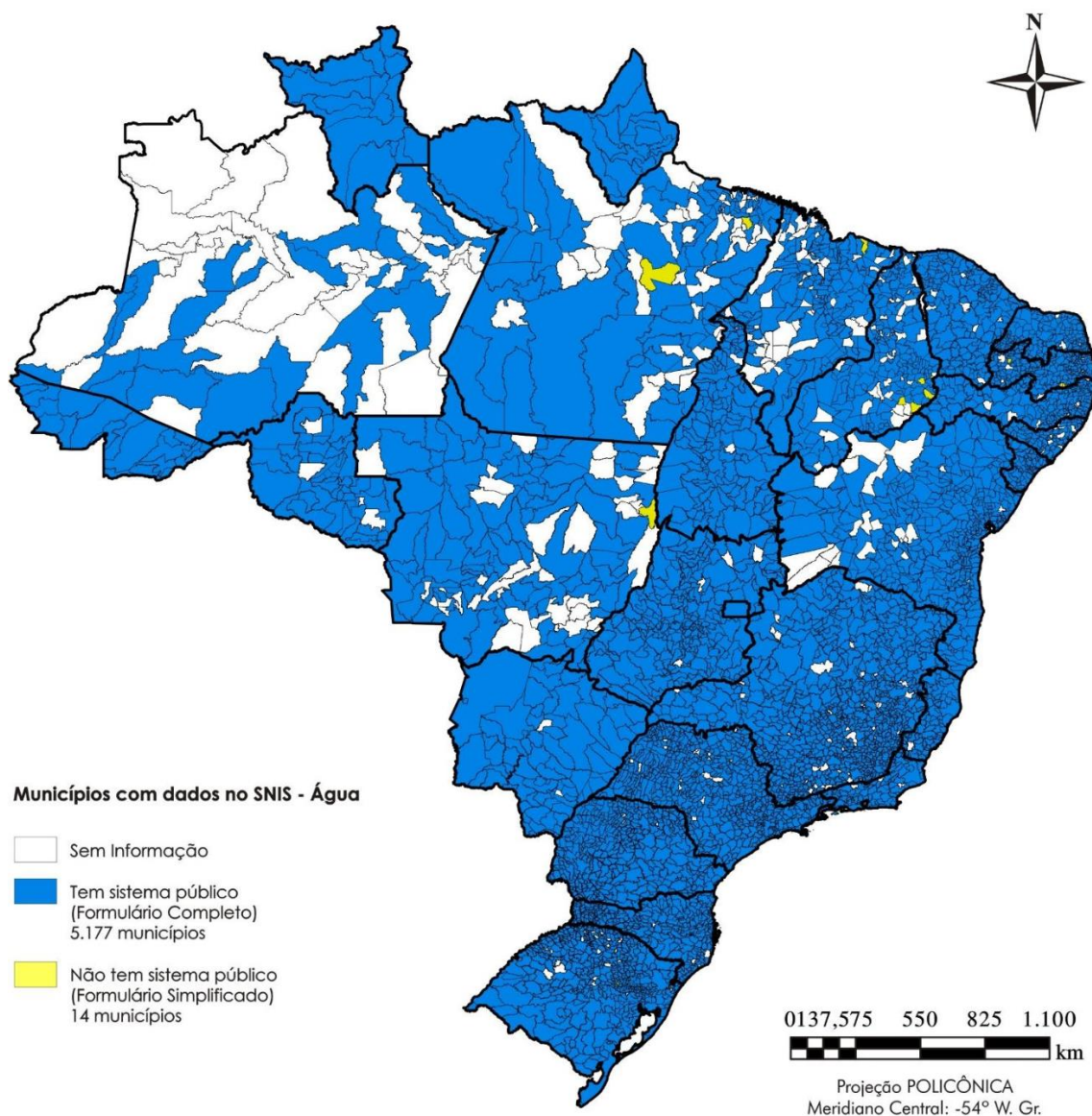


Figura 1 - Mapa da amostra de municípios cujos dados de abastecimento de água estão presentes no SNIS em 2019, por tipo de formulário, segundo município. Fonte: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos (Brasil, 2020).

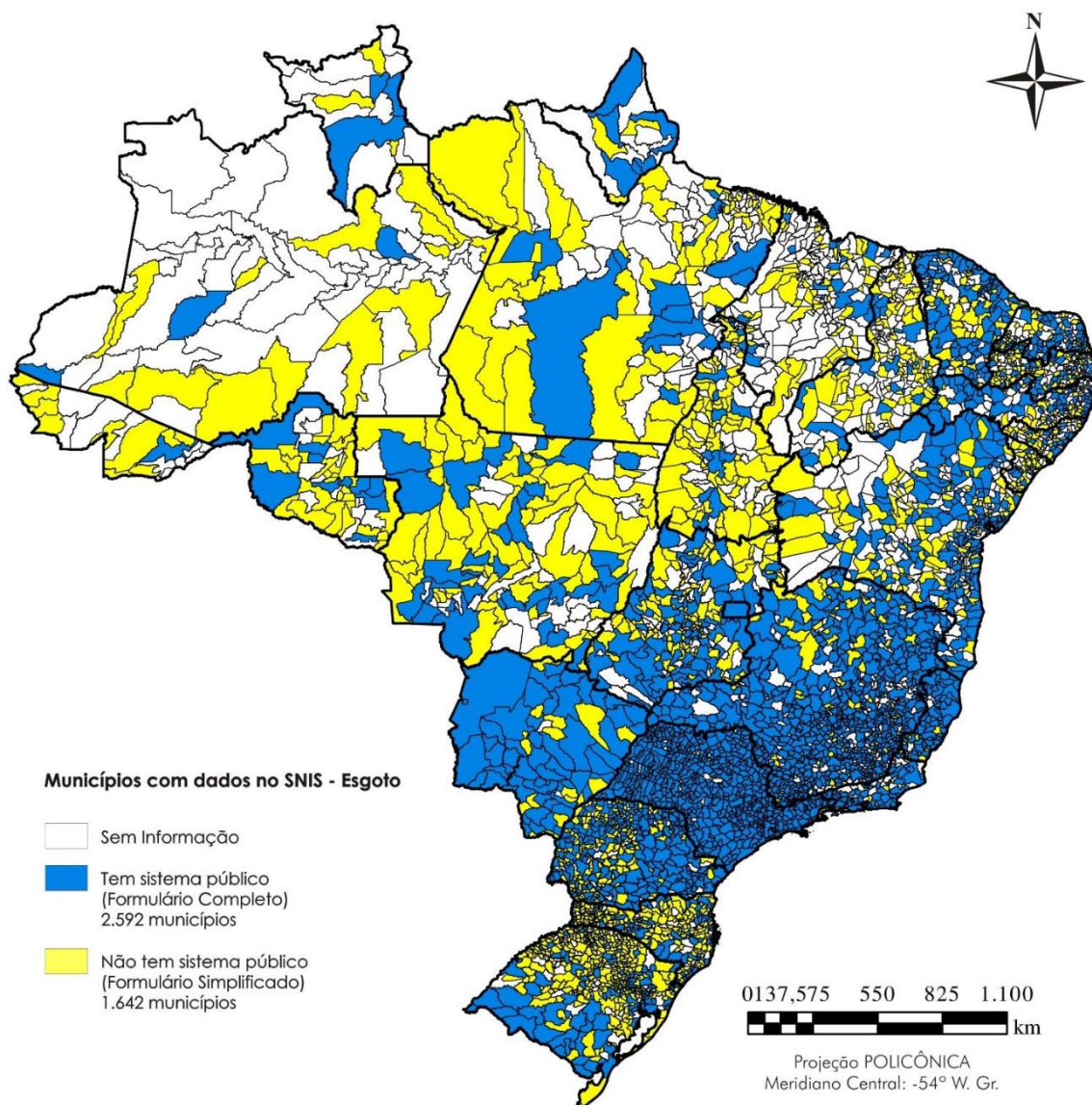


Figura 2 - Mapa da amostra de municípios cujos dados de esgotamento sanitário estão presentes no SNIS em 2019, por tipo de formulário, segundo município. Fonte: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos (SNIS, 2020).

Observa-se, por meio das Figuras acima, que o sistema de abastecimento de água está relativamente bem distribuído pelo território brasileiro, com exceção da região Norte e parte das regiões Nordeste e Centro-Oeste, onde alguns municípios não forneceram informações a respeito deste serviço. Ainda de acordo com o diagnóstico, as soluções alternativas mais comumente utilizadas para o abastecimento de água nos municípios que não possuem acesso a este serviço são: poços, cursos d'água, chafarizes e carro-pipa. Para o esgoto doméstico, são utilizadas fossas sépticas, fossas rudimentares, valas a céu aberto e lançamento em cursos d'água.

Já o esgotamento sanitário possui uma menor abrangência quando comparado ao sistema de abastecimento de água, sendo a região Sudeste que apresentou maior quantidade de municípios com sistema público de esgotamento sanitário. É importante pontuar que estes municípios não possuem, necessariamente, cobertura total em relação a este serviço. Neste sentido, a Figura 3 mostra os índices de tratamento de esgotos nos municípios brasileiros, em referência à água consumida.

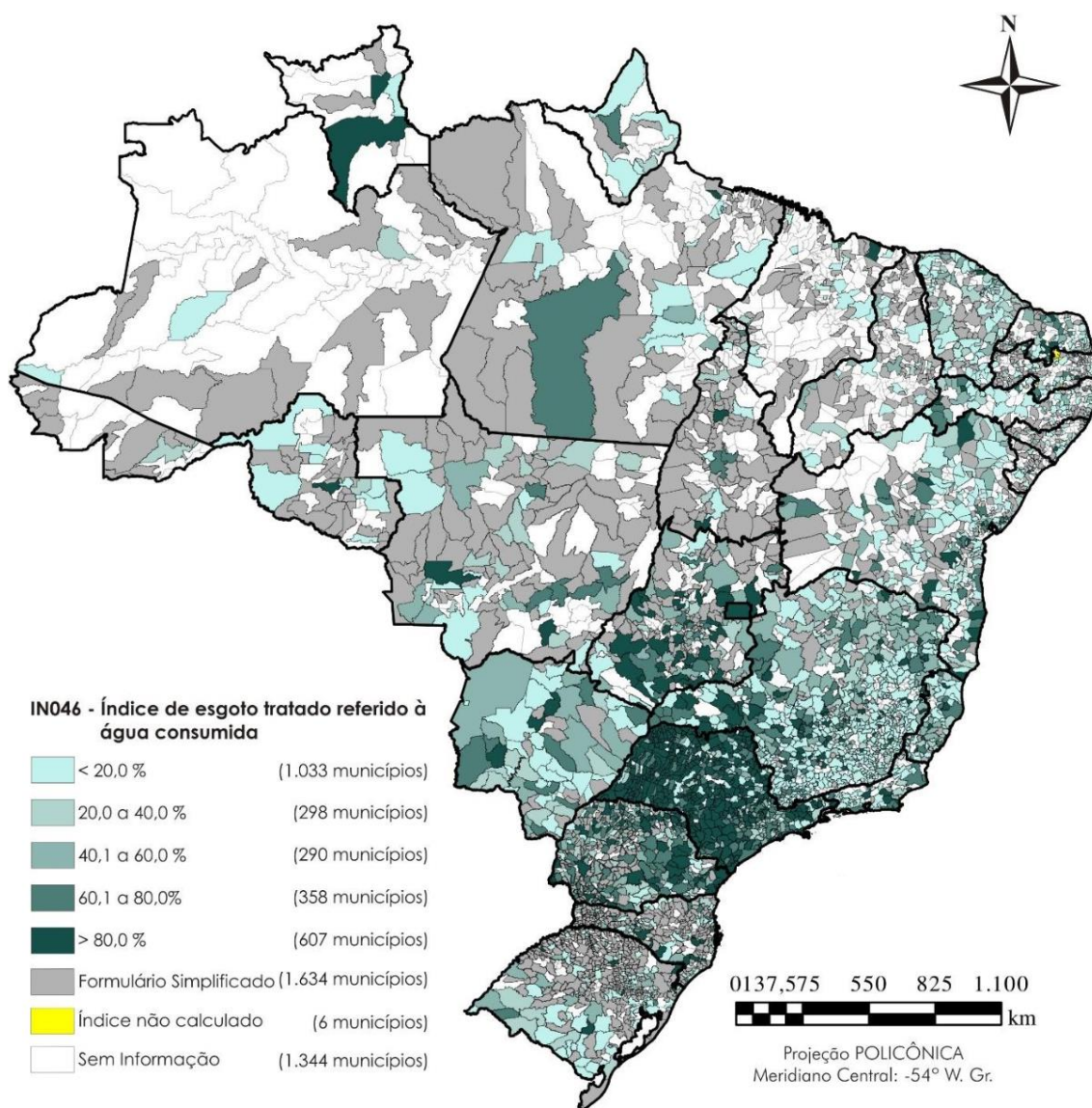


Figura 3 - Mapa do índice de tratamento de esgotos referido à água consumida dos municípios com prestadores de serviços participantes do SNIS em 2019, distribuído por faixas percentuais, segundo município. Fonte: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos (SNIS, 2020)

Uma análise da Figura 3 revela uma situação bastante heterogênea quanto ao efetivo tratamento de esgotos nos municípios. Dentre os municípios que responderam ao formulário completo, a maioria (1033 municípios) possuía índice de tratamento inferior a 20%, enquanto que 607 municípios apresentaram índices superiores a 80%. Finalmente, é importante mencionar que não há informação sobre o volume tratado de esgoto por estes municípios, tampouco sobre os processos de tratamento e desinfecção empregados. Estas informações são notadamente importantes em termos da exposição ambiental ao esgoto bruto que é descartado em águas naturais.

#### *4.3.1 Tratamento de esgoto no Brasil*

Em 2017, foi divulgado o Atlas Esgotos - Despoluição de Bacias Hidrográficas, elaborado pela Agência Nacional de Águas (ANA) em parceria com a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades (ANA, 2017), com o objetivo de caracterizar a situação do esgotamento sanitário no país e propor ações, com foco no tratamento de esgotos, para proteção dos recursos hídricos.

Para elaboração do documento, foram identificadas 2.768 ETE em operação em 1.592 cidades brasileiras e obtidos dados a respeito da eficiência da remoção de carga orgânica para 96% destas. De maneira geral, o tratamento preliminar, com gradeamento para remoção de sólidos grosseiros e desarenador para remoção de areia, é a primeira etapa das ETE. Dentre os processos mais encontrados no país tem-se, em ordem decrescente: lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa (sistema australiano), apenas reator anaeróbio, tanque séptico associado a filtro anaeróbio, apenas lagoa facultativa e reator anaeróbio seguido de filtro biológico.

Estações de tratamento que utilizam o processo de lodos ativados convencional abrangem 24% da população que é atendida pelo serviço de tratamento de esgotos, principalmente nas regiões Sudeste e Centro-Oeste. O tratamento em nível primário atende 11% desta população, estando associado a um emissário submarino na maioria das unidades. Já o sistema australiano, alcança 8% do total de pessoas atendidas por ETE. Na Figura 4, retirada do Atlas, é possível observar que as regiões Sudeste e Centro-Oeste possuem ETEs com os maiores índices de eficiência na remoção de carga orgânica (acima de 60%) além de possuírem os maiores percentuais de municípios e população atendidos por Estações de Tratamento. Na região Norte a maior parte das ETEs possui eficiência inferior a 60% quanto à remoção de DBO.

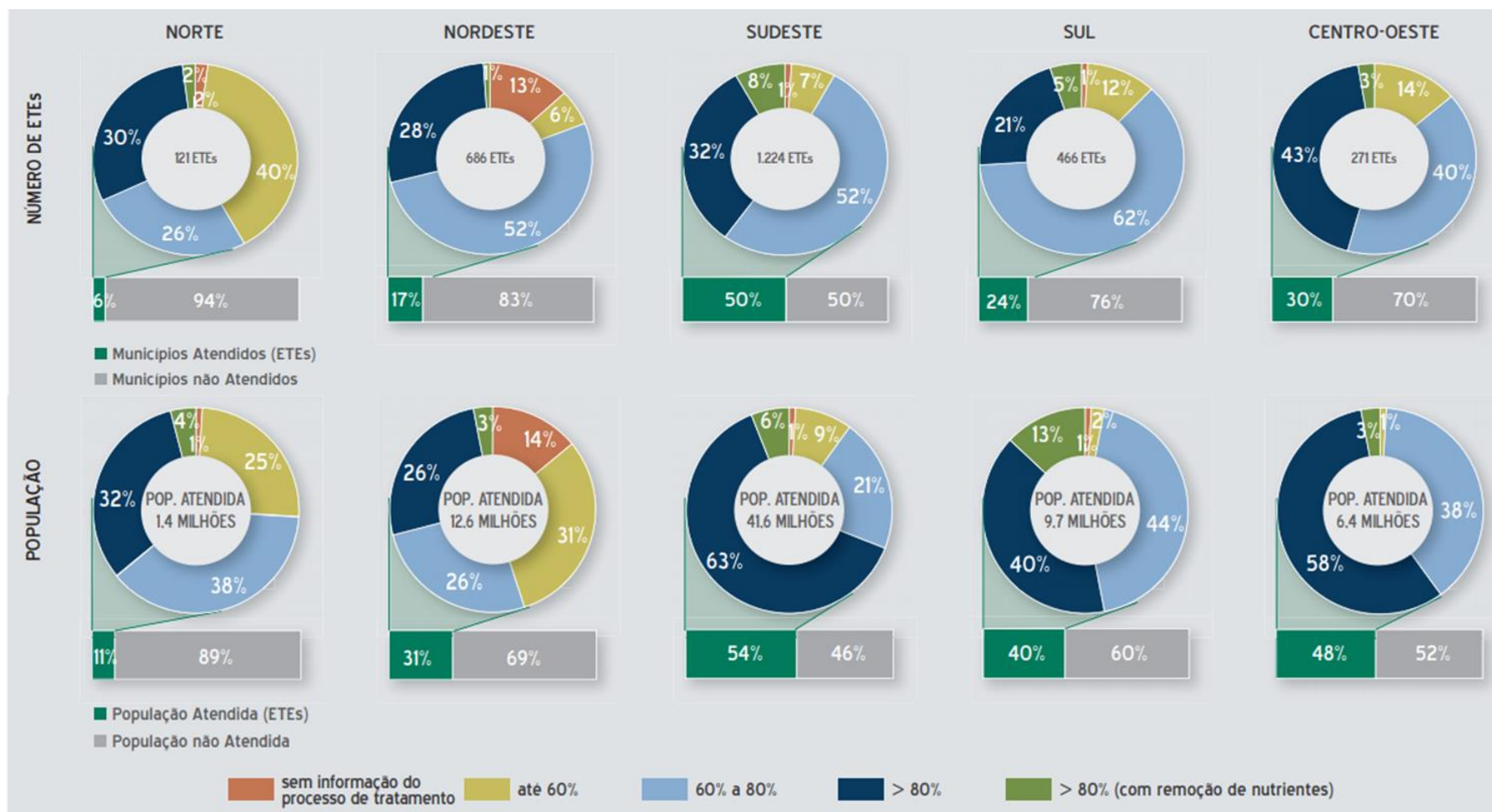


Figura 4 - Eficiência da remoção de DBO por região geográfica, considerando-se o número de ETEs e a população atendida. Fonte: Adaptado de Atlas Esgotos - Despoluição de bacias hidrográficas (ANA, 2017).

Ainda de acordo com o Atlas Esgotos, cerca de 2,4 mil toneladas de DBO, geradas pelos esgotos da população urbana do país, são diariamente despejadas a céu aberto ou encaminhadas para soluções precárias. Este valor corresponde a 27% de toda a carga diária gerada e a 44% da carga remanescente, das quais são descontadas as parcelas removidas no tratamento coletivo e nas soluções individuais. Portanto, é estimado que os corpos hídricos recebam mais de 5,5 mil toneladas de DBO por dia.

Ressalta-se que a remoção de carga orgânica não implica necessariamente na remoção e/ou inativação de organismos patogênicos. Além disso, nenhuma menção aos processos de desinfecção foi feita no Atlas Esgotos, pois estes são mais comumente empregados nos sistemas de tratamento de águas de abastecimento.

#### *4.3.2 Ranking brasileiro do saneamento*

Utilizando os dados fornecidos pelo SNIS, o Instituto Trata Brasil, em parceria com a GO Associados, elaborou o Ranking do Saneamento (ITB, 2021). Neste ranking, os 100 maiores municípios brasileiros, em termos de habitantes em 2019, foram classificados por meio de notas atribuídas aos indicadores de diferentes dimensões do setor de saneamento, tais como população atendida, fornecimento de água, coleta e tratamento de esgoto, investimento em saneamento e perdas de água no sistema

No Ranking do Saneamento 2021, o município de Uberlândia, em Minas Gerais, apresentou o terceiro melhor somatório das notas atribuídas para os índices de atendimento de água e esgoto; esgoto tratado por água consumida; investimentos sobre arrecadação; novas ligações de água e esgoto sobre ligações faltantes; e perdas volumétricas, no faturamento e na distribuição. O site InfoSanbas, que compila dados sobre saneamento a partir de inúmeras fontes de dados, mostra que, no município, 100% dos domicílios urbanos e 62% dos domicílios rurais utilizam a rede geral de abastecimento de água. A rede geral de esgoto contempla 99% dos domicílios urbanos e 43% dos domicílios rurais. Destaca-se que a população rural corresponde a 5,1% da população total do município (InfoSanbas, 2020).

O município de Franca (SP), que se mantém entre os melhores do Ranking desde a primeira edição em 2009, ocupando a primeira posição por 6 anos consecutivos, possui, na zona urbana, 100% dos domicílios atendidos pela rede geral de abastecimento de água e 99% atendidos pela rede de esgoto. Na zona rural, que corresponde a 3% dos domicílios, o atendimento pelas redes de água e esgoto abrange 44% e 35% dos domicílios,

respectivamente. As principais alternativas utilizadas nos domicílios rurais que não possuem acesso a estes serviços, são poços ou nascentes na propriedade (50% dos domicílios) e fossas rudimentares (44% dos domicílios) (InfoSanbas, 2020).

Já o município de Macapá, no Amapá, recebeu a pior classificação no Ranking 2021 dentre os 100 maiores municípios brasileiros. Estima-se que apenas 10,98% da população do município tenha acesso ao serviço de coleta de esgoto (ITB, 2021). A principal alternativa utilizada para esgotamento sanitário em Macapá é a fossa rudimentar, sendo de 53% para os domicílios urbanos e de 64% para os domicílios rurais (correspondentes a 9,4% da população total). Para o abastecimento de água, 57% dos domicílios urbanos contam com rede geral de abastecimento. Nos domicílios rurais, este valor cai para 24%, sendo poços ou nascentes na propriedade a principal alternativa para esta população (InfoSanbas, 2020).

Outro município que apresenta indicadores muito baixos e que se mantém entre os últimos colocados do Ranking desde 2010, Ananindeua, no Pará, possui apenas 2,08% da população atendida pelos serviços de esgoto e 32,42% atendida pelos serviços de água (ITB, 2021). A maior parte dos domicílios é estabelecida na zona urbana (97,7%), porém, tanto os domicílios urbanos quanto os rurais, utilizam como principais alternativas para o esgotamento sanitário a fossa séptica (44% e 49%, respectivamente) e a fossa rudimentar (39% e 38%, respectivamente). Poços ou nascentes nas propriedades são as principais fontes de abastecimento de água da população (56% para a população urbana e 64% para a população rural) (InfoSanbas, 2020).

Considerando-se os 20 municípios que receberam as piores colocações no Ranking 2021, a maior parte (7 municípios) se encontra na região Norte, seguida das regiões Sudeste (5 municípios), Norte (4), Sul (3) e Centro-Oeste (1) (ITB, 2021).

#### **4.4 SARS-CoV-2 e sua presença no esgoto doméstico**

Responsáveis por causar doenças respiratórias, intestinais, hepáticas e neurológicas, os coronavírus são uma grande família de vírus que já estão amplamente distribuídos entre os humanos, outros mamíferos e aves. Dentre os tipos de coronavírus conhecidos até o momento e que são capazes de infectar humanos, os mais prevalentes, denominados 229E, OC43, NL63 e HKU1, causam sintomas de gripe comum. As outras três variedades, SARS-CoV, MERS-CoV e SARS-CoV-2, causam síndromes respiratórias e foram responsáveis pelos surtos ocorridos em 2002, 2012 e 2019,

respectivamente, sendo este último responsável pela atual crise sanitária levando várias pessoas à morte (Zhu et al., 2020).

Conforme mostrado na Figura 5, o SARS-CoV-2 possui um invólucro viral constituído por uma bicamada lipídica formada por três tipos de proteínas: a glicoproteína S (*spike*), a mais abundante e responsável pela aparência de coroa solar característica da espécie; e as proteínas M (membrana) e E (envoltório). Seu material genético consiste de uma única molécula de RNA positivo (RNA+), sendo considerado um tipo de RNA mensageiro, que pode ser lido diretamente pelas estruturas celulares, iniciando o processo de replicação viral (Uzunian, 2020).

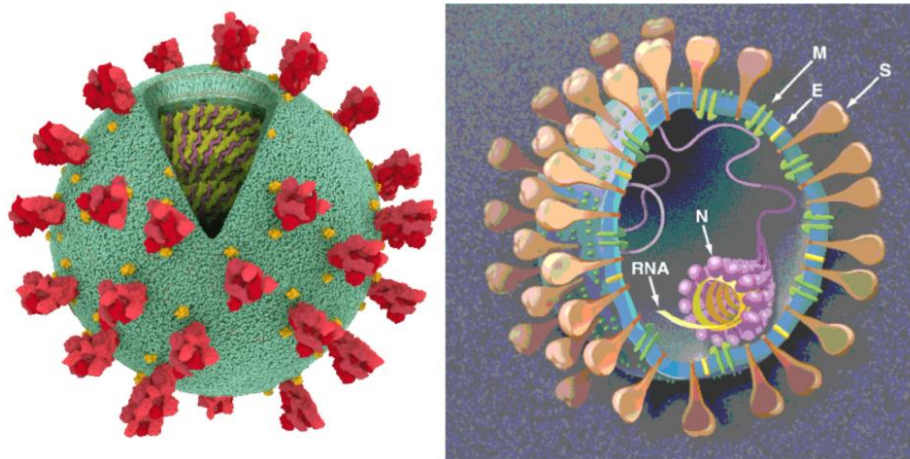


Figura 5 - Estrutura do SARS-CoV-2. M: membrana lipídica; S: espícula de contato do vírus com receptores celulares; E: envoltório glicoproteico; RNA+: material genético viral; N: capsídeo proteico. Fonte: Uzunian, 2020

A glicoproteína S, ou glicoproteína de pico, também é responsável pela entrada do vírus na célula hospedeira através da interação com a enzima conversora de angiotensina 2 (ACE2), que está presente principalmente nas células pulmonares e no sistema gastrointestinal (Uzunian, 2020). Sugere-se que a alta afinidade entre a proteína S e os receptores da enzima ACE2, capaz de formar ligações eficientes e estáveis, está associada à maior facilidade de dispersão do SARS-CoV-2, assim como à sua patogenicidade e virulência (Xu et al., 2020).

Em maio de 2020, pesquisadores chineses detectaram a presença do material genético do SARS-CoV-2 nas fezes de pacientes confirmados para a doença. De acordo com o estudo, dentre os pacientes que tiveram amostras fecais e respiratórias coletadas, 55% apresentaram resultados positivos para ambas, sendo que as amostras respiratórias permaneceram positivas para o RNA viral por, em média, 16 dias e as amostras fecais permaneceram positivas por, em média, 27 dias após o surgimento dos primeiros



sintomas. Os outros 45% apresentaram resultados negativos para o RNA viral nas fezes, enquanto os resultados para as amostras respiratórias permaneceram positivos por, em média, 15 dias desde o aparecimento dos sintomas (Wu et al., 2020).

Um estudo em um prédio residencial em Guangzhou, na China, apontou evidências de transmissão do vírus entre os moradores por meio de aerossol de água residuária contaminada. Concluiu-se que o vírus eliminado nos fluidos corporais de um dos moradores testado positivo foi carregado pelo aerossol produzido por interações hidráulicas da água residuária do banheiro com os canos e dispersado pelos sistemas comunitários de drenagem entre os apartamentos, contaminando outros moradores (Kang et al., 2020).

Em Paris, na França, pesquisadores analisaram amostras de esgoto bruto e tratado das principais Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) da região por um período de aproximadamente 2 meses, abrangendo o início da pandemia, em 2020, e o período de lockdown, permitindo fazer uma comparação entre o número de novos casos de COVID-19 e a carga viral encontrada na região. Os resultados obtidos confirmaram que a diminuição dos fragmentos virais nas águas residuais brutas acompanhou, com precisão, a diminuição dos casos da doença observada em Paris e também em todo território francês (Wurtzer et al., 2020).

Já no Brasil, o material genético do novo coronavírus tem sido identificado em amostras de esgoto bruto de várias cidades brasileiras. Recentemente, a Agência Nacional de Águas, em parceria com o CNPq e com o INCT ETEs Sustentáveis, divulgou o Boletim de apresentação da rede de monitoramento COVID Esgotos (ANA, 2021), criada com o objetivo de ampliar as informações para enfrentamento da pandemia de COVID-19 em importantes capitais brasileiras com base nas experiências pioneiras no monitoramento de fragmentos virais no esgoto das cidades de Belo Horizonte e Contagem, em abril de 2020. A rede, que conta com a participação de instituições localizadas nos estados de Minas Gerais, Ceará, Pernambuco, Rio de Janeiro e Paraná, além do Distrito Federal, busca acompanhar a evolução da carga viral no esgoto, elaborar mapas georreferenciados para possibilitar a visualização espacial e temporal da ocorrência do vírus nos diferentes pontos amostrais e subsidiar, em longo prazo, a criação de um Programa Nacional de Vigilância Epidemiológica a partir do monitoramento do Esgoto.

## 4.5 Saneamento básico no Brasil e a COVID-19

Diante dos fatos expostos e sabendo-se que, em alguns casos, as águas residuárias são descartadas sem qualquer tipo de tratamento em cursos de água, bem como aplicadas diretamente em solos como alternativa à fertilização e irrigação, torna-se importante uma avaliação tendo-se em vista a possibilidade de transmissão do vírus pela via fecal-oral através do uso da água para recreação e a exposição de pessoas via consumo de plantas supostamente contaminadas.

Alguns vírus, bactérias e protozoários são capazes de transmitir doenças aos humanos através do contato com a água contaminada. Nestas situações, em locais onde o saneamento básico é ineficiente ou mesmo inexistente, um maior número de pessoas encontram-se em situação de vulnerabilidade, expostas a agentes perigosos de veiculação hídrica e diante de riscos elevados de infecção (Duarte et al., 2015).

Diante da atual crise sanitária da COVID-19, onde experimentamos cenários de aumento e gravidade dos casos de infecção pelo SARS-CoV-2, há um grande interesse da comunidade científica no sentido de investigar a existência de possíveis vias alternativas de transmissão e infecção do novo coronavírus, tais como corpos de água contaminados pelo aporte de efluentes de ETE e de esgoto bruto proveniente de hospitais e residências com pessoas infectadas. Esta preocupação é ainda maior nos locais onde o saneamento básico é precário (Rollemberg et al., 2020; Souza e Souza et al., 2020; Wu et al., 2020), onde indivíduos também podem estar diretamente expostos às águas residuárias em uma possível rota fecal-oral de transmissão. Outras questões também têm sido consideradas acerca da viabilidade e infectividade de patógenos em solos e plantas devido ao uso de água residuária e lodo de esgoto para fins de irrigação e fertilização (Núñez-Delgado, 2020).

### 4.5.1 *Persistência do SARS-CoV-2 em águas e esgotos*

A estrutura viral é um importante fator para determinar a persistência do vírus viável em determinados ambientes. A constituição lipídica do envelope de vírus como os coronavírus, faz com que estes sejam menos persistentes em água do que os vírus não envelopados (de Oliveira et al., 2021). Sabe-se que o vírus SARS-CoV-1 é capaz de sobreviver em baixas temperaturas (4°C) em amostras fecais por até 17 dias e em amostras de águas residuárias até 14 dias; e em temperaturas mais elevadas (20°C), por em média 3 dias nas duas amostras (Cahill & Morris, 2020). Apesar de existirem limitações no

conhecimento acerca da viabilidade do material genético do SARS-CoV-2, a presença prolongada do vírus nos esgotos, a precariedade dos serviços de saneamento básico em diferentes regiões do planeta e a semelhança com o SARS-CoV-1 são fatores que alertam pesquisadores quanto ao potencial de transmissão pela via fecal-oral.

De modo a avaliar a persistência do SARS-CoV-2 em águas residuárias e de rio, de Oliveira e colaboradores (2021) conduziram ensaios em placas adicionando às amostras de água e esgoto testadas o vírus viável isolado de um paciente com COVID-19. Para simular intempéries, como variações da temperatura em diferentes épocas do ano e condições de turbidez das águas, os ensaios foram conduzidos à 4°C e 24°C com amostras filtradas e não-filtradas. Os resultados obtidos estão resumidos na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores estimados de T<sub>90</sub> e T<sub>99</sub> para os SARS-CoV-2 em amostras de águas residuárias e de rios sob diferentes condições experimentais.

Matriz	Condições	T <sub>90</sub> (dias) <sup>1</sup>	T <sub>99</sub> (dias) <sup>2</sup>
Água de rio	24°C	1,9	6,4
	4°C	7,7	18,7
	Filtrada, 24°C	3,3	8,5
Água residuária	24°C	1,2	4,0
	4°C	5,5	17,5
	Filtrada, 24°C	1,5	4,5

<sup>1</sup> T<sub>90</sub> corresponde ao tempo necessário para que ocorra uma redução de 90% na concentração viral inicial.

<sup>2</sup> T<sub>99</sub> corresponde ao tempo necessário para que ocorra uma redução de 99% na concentração viral inicial.

Fonte: de Oliveira et al., 2021.

Observa-se na Tabela 2 forte influência da temperatura ambiente na persistência do SARS-CoV-2. Este aspecto é importante, já que grande parte dos municípios brasileiros estão inseridos sob climas tropical e sub-tropical, onde a temperatura da água se mantém elevada e pouco varia durante o ano. Por outro lado, as regiões mais ao sul do Brasil experimentam variações significativas de temperatura, e no inverno a viabilidade do SARS-CoV-2 em águas naturais e/ou residuais pode ser maior. Observa-se também que o tempo de sobrevivência do vírus em sua forma infecciosa é maior nas amostras de água de rio, provavelmente em função da maior quantidade de surfactantes de origem doméstica que são comumente encontrados no esgoto. Para as amostras de água de rio, a presença de sólidos suspensos também contribuiu para diminuir a viabilidade do vírus, já que se observou maior persistência em amostras filtradas em comparação com as amostras às amostras não filtradas e às águas residuárias. Finalmente, cabe mencionar que os autores não detectaram a viabilidade do vírus em ambientes reais de rios e esgotos,

visto que as amostras foram autoclavadas antes da inoculação do vírus de forma a eliminar outros organismos que poderiam interferir no estudo (L. C. de Oliveira et al., 2021).

#### 4.5.2 Estudo de caso

De forma a averiguar a existência de uma relação geral entre a infecção pela COVID-19 e a escassez dos serviços de saneamento básico, foram analisados, neste trabalho, os dados fornecidos pelo Painel Coronavírus Brasil do Ministério da Saúde.

Os quatro municípios citados no item 4.3.2., ou seja, Uberlândia, Franca, Macapá e Ananindeua, foram analisados neste trabalho como forma de ilustrar a possível influência das condições locais de saneamento básico na incidência de casos de COVID-19. Utilizando a ferramenta interativa do Painel Coronavírus Brasil, foi possível fazer uma análise da expansão do vírus pelo território brasileiro no início da pandemia, conforme mostrado na Figura 6.

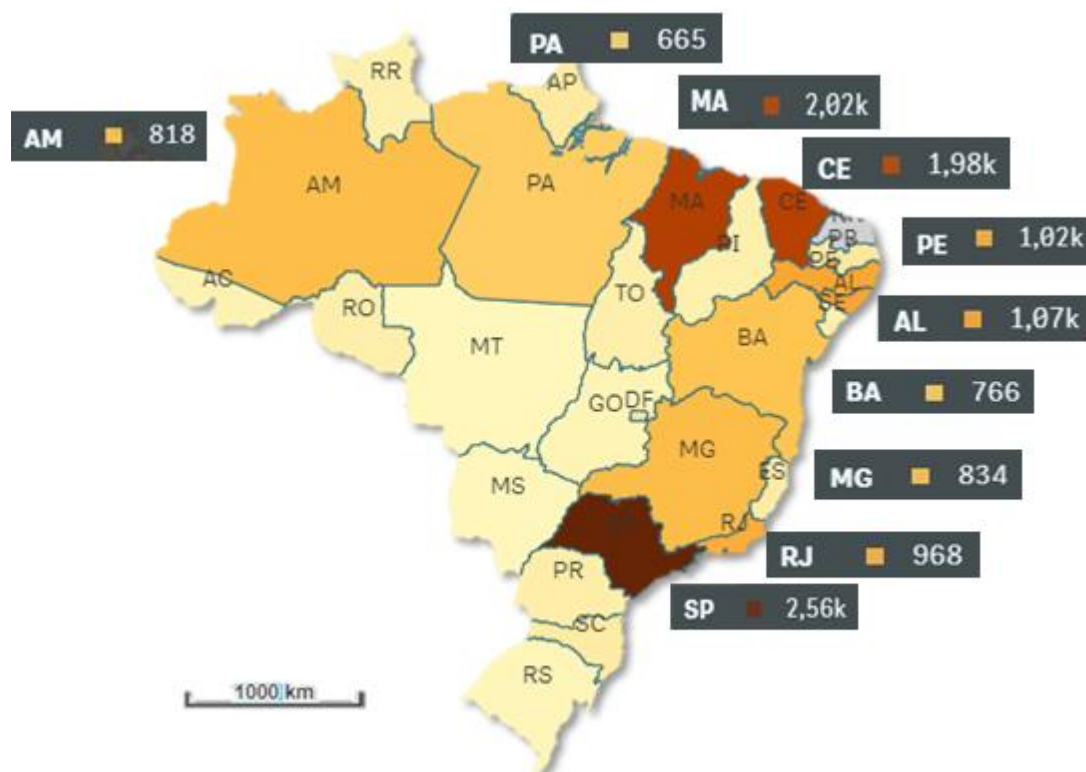


Figura 6 - Quantidade de novos casos registrados de COVID-19, por Estado, de abril a junho de 2020. Fonte: Adaptado de Painel Interativo COVID-19 no Brasil (Brasil, 2020a).

Na Figura 6, que mostra de forma comparativa a quantidade de novos casos registrados da doença por estado no período de abril a junho de 2020, observa-se que, em geral, as regiões Sudeste, Nordeste e Norte do país, foram as que mais registraram novos casos de infecção pelo vírus (Brasil, 2020b).

Já no cenário atual (abril/2021), ainda utilizando o painel interativo (Figura 7), observa-se que as regiões Sudeste e Nordeste continuam apresentando os maiores registros de novos casos, além do aumento de casos na região Sul.

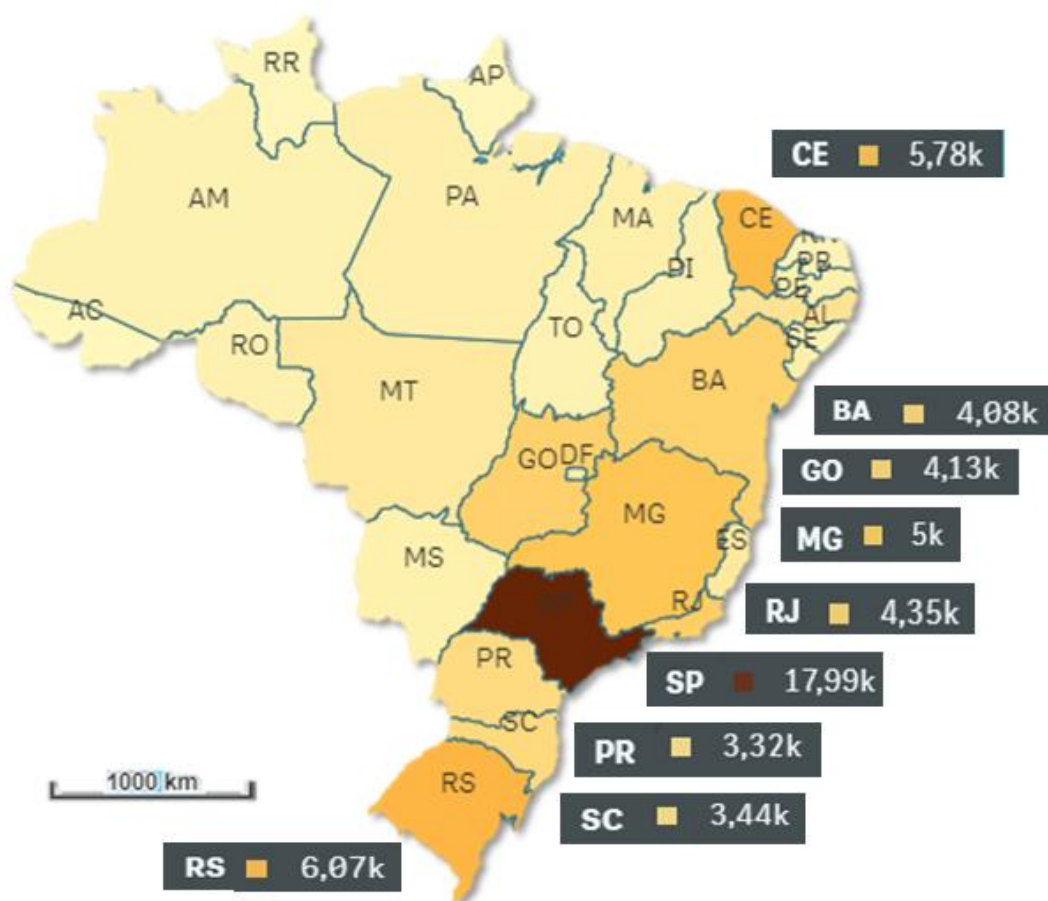


Figura 7 - Quantidade de novos casos registrados de COVID-19, por estado, em 27 de abril de 2021. Fonte: Adaptado de Painel Interativo COVID-19 no Brasil (Brasil, 2020a)

A Tabela 3 mostra uma comparação entre os quatro municípios selecionados neste trabalho com relação à indicadores de saneamento básico e de incidência da COVID-19.

Tabela 3 - Dados demográficos, de saneamento e relativos à COVID-19 para os municípios de Macapá, Ananindeua, Franca e Uberlândia.

Município/Estado	Macapá/AP	Ananindeua/PA	Franca/SP	Uberlândia/MG
Posição no Ranking do Saneamento 2021	100°	98°	4°	3°
População total estimada (pessoas)*	512.902	535.547	355.901	699.097
Densidade demográfica (hab/km <sup>2</sup> )	62,14	2.477,55	526,09	146,78
Indicador de atendimento total de água (%)	38,36	32,42	100,00	100
Indicador de atendimento total de esgoto (%)	10,98	2,08	99,62	98,23
População sem acesso à água (%)	61,64	67,58	0,00	0,00
População sem coleta de esgoto (%)	89,32	97,92	0,38	1,77
Casos Novos de COVID-19**	43	18	5	147
Casos acumulados/100 mil hab.**	1.000	498	23	130
Taxa de incidência/ 100 mil hab.**	8,38	3,36	1,40	21,03

\*População estimada no ano de 2020 com base no último censo realizado em 2010.

\*\*Os dados relacionados à COVID-19 são referentes ao período de abril a junho de 2020.

Fonte: Adaptado de: (Brasil, 2020b; IBGE, 2020; ITB, 2021).

Com relação aos quatro municípios analisados neste trabalho, pode-se observar na Tabela 3 que o município de Uberlândia, que apresentou excelentes indicadores de saneamento, registrou a maior taxa de incidência de COVID-19 no período inicial da pandemia (abril a junho de 2020). Já Ananindeua, mesmo com os piores índices de atendimento de água e esgoto, apresentou taxa de incidência cerca de 7 vezes menor para o mesmo período, o que evidencia, em um primeiro momento, a inexistência de uma possível relação direta entre a falta de saneamento básico e a transmissão fecal-oral do vírus da COVID-19.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos anos, o aumento da frequência quanto ao surgimento de doenças infecciosas tem levantado questionamentos acerca do papel da saúde pública, tanto na assistência à população quanto na prevenção destas doenças. A atual crise sanitária da COVID-19 é certamente um dos maiores desafios enfrentados pela humanidade. Diante disso, o envolvimento de pesquisadores e cientistas vinculados às instituições de cunho científico, tecnológico e de inovação, sejam elas públicas ou privadas, tem se mostrado essencial para dimensionar os impactos da pandemia da COVID-19 e subsidiar ações efetivamente preventivas e remediativas.

Neste contexto, estudos específicos voltados para a detecção de cargas virais no esgoto sanitário têm potencial para fornecer cenários empíricos quanto à disseminação da COVID-19, visto que muitos casos não são contabilizados por serem assintomáticos, o que possibilita a antecipação de picos de incidência da doença e a adoção de medidas de prevenção de forma mais efetiva. Além disso, estes estudos também subsidiam conhecimentos acerca de possíveis rotas alternativas de infecção via exposição direta ao esgoto e às águas por este contaminadas. Neste sentido, a precariedade dos serviços básicos de saneamento deve ser investigada como um fator que pode implicar em risco de transmissão do novo coronavírus via contato com esgotos e águas contaminadas.

O Brasil é caracterizado por uma grande disparidade no que se refere ao atendimento da população por serviços de abastecimento de água e, principalmente, de coleta e tratamento de esgoto sanitário. Considerando apenas o esgoto efetivamente tratado, fatores como o tempo de retenção do esgoto nas estações de tratamento, temperatura, pH, exposição à radiação solar, filtração e existência de processos de secagem, contribuem para eliminar ou inativar boa parte dos organismos patogênicos, inclusive os vírus, presentes no efluente final. Apesar das várias técnicas existentes para a eliminação de patógenos, poucas plantas de tratamento no Brasil possuem etapas eficientes para diminuição da carga patogênica, já que operam, em sua maioria, somente com tratamentos iniciais e, no máximo, secundários.

No caso do SARS-CoV-2, por se tratar de um vírus envelopado, a própria composição do esgoto, rico em matéria orgânica e surfactantes, tem sido responsável pela sua inativação, tornando-o não viável, ou seja, incapaz de provocar infecção. Neste caso, para fins de monitoramento, restam apenas fragmentos virais que são os biomarcadores efetivamente empregados para estimar a carga viral.

Considerando a baixa viabilidade do SARS-CoV-2 no esgoto, mas ainda assim uma possível rota de transmissão fecal-oral em regiões de precariedade quanto ao saneamento básico, este trabalho apresentou uma avaliação mais específica a respeito da relação entre os índices de saneamento básico e a disseminação da COVID-19 em quatro municípios brasileiros. O município de Uberlândia/MG, mesmo com bons indicadores de abastecimento de água e esgotamento sanitário, apresentou a maior taxa de incidência dentre os municípios analisados. Ainda, o município de Ananindeua/PA, que possui os maiores percentuais de população sem acesso à água tratada e coleta de esgotos apresentou, de forma contrária, taxas de incidência que foram cerca de sete vezes menores em comparação ao município de Uberlândia, no mesmo período.

Com base no material aqui apresentado e sabendo-se que, a transmissão de agentes patogênicos pela via feco-oral depende de fatores como, a quantidade de organismos patogênicos presentes nas excretas de indivíduos infectados e, portanto, a quantidade de indivíduos potencialmente transmissores, assim como o decaimento destes organismos no ambiente, a magnitude da dose-infectante e a suscetibilidade de infecção por parte da população, e ainda somado ao fato de que, até o presente momento, não foram reportados casos de transmissão do vírus pela via fecal-oral e nem confirmada a viabilidade do mesmo em ambientes aquáticos e em esgotos, sugere-se que é pouco provável que a via feco-oral seja, isoladamente, uma rota importante de infecção comunitária pelo SARS-CoV-2.

A vulnerabilidade da saúde das populações que vivem em locais onde o saneamento é inexistente ou insuficiente, também está associada a fatores como a ineficiência de políticas públicas e baixas condições socioeconômicas e de moradia, que podem dificultar o enfrentamento à esta doença. Mesmo assim, diante da crise sanitária que o país enfrenta, com superlotação de hospitais e falta de insumos e equipamentos médicos, o entendimento acerca do comportamento do novo coronavírus e de seus fragmentos não viáveis no ambiente é importante para o entendimento da disseminação, facilitando o planejamento de ações que podem diminuir a sobrecarga dos sistemas de saúde e prevenir o surgimento de novas doenças e eventuais futuras pandemias.



## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. (2017). *Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas* (p. 88). Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental Agência Nacional de Águas - ANA. [https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSDespoluicao deBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo\\_livro.pdf](https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/ATLASESGOTOSDespoluicao deBaciasHidrograficas-ResumoExecutivo_livro.pdf)
- ANA. (2021). *Boletim de apresentação da rede de monitoramento COVID esgotos*.
- Brasil. (2007). *Lei nº 11.445, de 05 de jan. de 2007. Diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico*. Presidência da República.
- Brasil. (2020). *Covid-19 no Brasil*. Secretarias Estaduais de Saúde. [https://susanalitico.saude.gov.br/extensions/covid-19\\_html/covid-19\\_html.html](https://susanalitico.saude.gov.br/extensions/covid-19_html/covid-19_html.html)
- Cahill, N., & Morris, D. (2020). Recreational waters – A potential transmission route for SARS-CoV-2 to humans? *Science of the Total Environment*, 740, 140122. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140122>
- Cevik, M., Kuppalli, K., Kindrachuk, J., & Peiris, M. (2020). Virology, transmission, and pathogenesis of SARS-CoV-2. *BMJ*, 371, m3862. <https://doi.org/10.1136/bmj.m3862>
- Cevik, M., Marcus, J. L., Buckee, C., & Smith, T. C. (2020). Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) Transmission Dynamics Should Inform Policy. *Clinical Infectious Diseases*. <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa1442>
- CONAMA. (2011). *Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011*. <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>
- da Silva, L. J. (2003). A Globalização da doença. *Revista de Saúde Pública*, 37(3), 273–274. <https://www.scielosp.org/article/rsp/2003.v37n3/273-274/pt/#ModalArticles>
- de Oliveira, L. C., Torres-Franco, A. F., Lopes, B. C., Santos, B. S. Á. da S., Costa, E. A., Costa, M. S., Reis, M. T. P., Melo, M. C., Polizzi, R. B., Teixeira, M. M., & Mota, C. R. (2021). Viability of SARS-CoV-2 in river water and wastewater at different temperatures and solids content. *Water Research*, 195. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117002>
- Duarte, P. S. C., Baratella, R., & Paiva, A. S. (2015). As doenças de veiculação hídrica: um risco evidente. *III Congresso Internacional de Trabalho Docente e Processos Educativos*. <http://www.uniube.br/eventos/epeduc/2015/completos/53.pdf>
- Gastão, M. M. (2007). *Manual de Metodologia da Pesquisa Científica* (E. B. Neves & C.

- A. Domingues (eds.)). <https://document.onl/documents/manual-de-metodologia-da-pesquisa-cientifica-55cb7b572c339.html>
- Gundy, P. M., Gerba, C. P., & Pepper, I. L. (2009). Survival of Coronaviruses in Water and Wastewater. *Food and Environmental Virology*, 1(1), 10. <https://doi.org/10.1007/s12560-008-9001-6>
- He, F., Deng, Y., & Li, W. (2020). Coronavirus disease 2019: What we know? *Journal of Medical Virology*, 92(7), 719–725. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/jmv.25766>
- IBGE. (2020). *IBGE Cidades*. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>
- InfoSanbas. (2020). *Visualização de dados abertos sobre Saneamento. Versão de testes – nº 0.1*. FUNASA, FioCruz, UFMG. <https://infosanbas.org.br/>
- ITB. (2021). *Ranking do Saneamento 2021*. [http://tratabrasil.org.br/images/estudos/Ranking\\_saneamento\\_2021/Relatório\\_-\\_Ranking\\_Trata\\_Brasil\\_2021\\_v2.pdf](http://tratabrasil.org.br/images/estudos/Ranking_saneamento_2021/Relatório_-_Ranking_Trata_Brasil_2021_v2.pdf)
- Jordão, E. P., & Pessoa, C. A. (2011). *Tratamento de esgotos domésticos (6ª)*. ABES.
- Kang, M., Wei, J., Yuan, J., Guo, J., Zhang, Y., Hang, J., Qu, Y., Qian, H., Zhuang, Y., Chen, X., Peng, X., Shi, T., Wang, J., Wu, J., Song, T., He, J., Li, Y., & Zhong, N. (2020). Probable Evidence of Fecal Aerosol Transmission of SARS-CoV-2 in a High-Rise Building. *Annals of Internal Medicine*, 173(12), 974–980. <https://doi.org/10.7326/M20-0928>
- Koga-Ito, C. Y., Koga-Ito, H. T., Sampaio, A. da G., & Vegian, M. R. da C. (2020). Understanding SARS CoV-2 biology to win COVID-19 battle. *Brazilian Dental Science*, 23(2), 1–12. <https://doi.org/10.14295/bds.2020.v23i2.2245>
- Leoneti, A. B., Prado, E. L. do, & Oliveira, S. V. W. B. de. (2011). Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. *Revista de Administração Pública*, 45(2), 331–348. [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0034-76122011000200003&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-76122011000200003&nrm=iso)
- Lourenção, J. (2009). *Avaliação da resistência de microrganismos patogênicos à desinfecção sequencial com ozônio-radiação ultravioleta e cloro-radiação ultravioleta* [Universidade de São Paulo]. <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18138/tde-14072009-213918/pt-br.php>
- Mackay, I. M., & Arden, K. E. (2015). MERS coronavirus: diagnostics, epidemiology

- and transmission. *Virology Journal*, 12(1), 222. <https://doi.org/10.1186/s12985-015-0439-5>
- Maestri, R. S. (2007). *Biorreator à membrana como alternativa para o tratamento de esgotos sanitários e reúso da água*. [Universidade Federal de Santa Catarina]. <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/89968>
- Martins, A. S. (2018). *Influência de produtos de higiene pessoal e limpeza na concentração de sólidos totais, DBO, DQO, Nitrogênio total e Fósforo total do esgoto doméstico*. [Universidade Federal de Uberlândia]. [https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/21625/1/INFLUÊNCIA DE PRODUTOS DE HIGIENE.pdf](https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/21625/1/INFLUÊNCIA%20DE%20PRODUTOS%20DE%20HIGIENE.pdf)
- Núñez-Delgado, A. (2020). SARS-CoV-2 in soils. *Environmental Research*, 190, 110045. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110045>
- Oliveira, E. C. M. de. (2003). *Desinfecção de efluentes sanitários tratados através da radiação ultravioleta* [Florianópolis, SC]. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/84539>
- Rolleberg, S., Barros, A. N. de, & Lima, J. P. M. de. (2020). Avaliação da contaminação, sobrevivência e remoção do coronavírus em sistemas de tratamento de esgoto sanitário. *Revista Tecnologia*, 41(1), 1–15. <https://doi.org/10.5020/23180730.2020.10849>
- Sanches, S. M., da Silva, C. H. T. de P., & Vieira, E. M. (2003). Agentes desinfetantes alternativos para o tratamento de água. *Química Nova Na Escola, Atualidades Em Química*, 17, 8–12. <http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc17/a03.pdf>
- SNIS. (2020). *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2019*. (Vol. 24, Issue 1, p. 226 p). Ministério do Desenvolvimento Regional/Secretaria Nacional de Saneamento. [http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2018/Diagnostico\\_AE2018.pdf](http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2018/Diagnostico_AE2018.pdf)
- Souza e Souza, L. P., Saraiva Soares, A. F., Ricci Nunes, B. C., Costa, F. C. R., & Silva, L. F. de M. (2020). Presença do novo coronavírus (SARS-CoV-2) nos esgotos sanitários: apontamentos para ações complementares de vigilância à saúde em tempos de pandemia. *Vigilância Sanitária Em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia (Health Surveillance under Debate: Society, Science & Technology) – Visa Em Debate*, 8(3), 132–138. <https://doi.org/10.22239/2317-269x.01624>
- Stadler, K., Massignani, V., Eickmann, M., Becker, S., Abrignani, S., Klenk, H.-D., & Rappuoli, R. (2003). SARS — beginning to understand a new virus. *Nature Reviews*

- Microbiology*, 1(3), 209–218. <https://doi.org/10.1038/nrmicro775>
- Uhr, J. G. Z., Schmechel, M., & Uhr, D. D. A. P. (2016). Relação entre saneamento básico no Brasil e saúde da população sob a ótica das internações hospitalares por doenças de veiculação hídrica. *Revista de Administração, Contabilidade e Economia Da Fundace*, 7(2). <https://doi.org/10.13059/racef.v7i2.104>
- Uzunian, A. (2020). Coronavirus SARS-CoV-2 and Covid-19. *Jornal Brasileiro de Patologia e Medicina Laboratorial*, 56, 1–4. <https://doi.org/10.5935/1676-2444.20200053>
- van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D. H., Holbrook, M. G., Gamble, A., Williamson, B. N., Tamin, A., Harcourt, J. L., Thornburg, N. J., Gerber, S. I., Lloyd-Smith, J. O., de Wit, E., & Munster, V. J. (2020). Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *New England Journal of Medicine*, 382(16), 1564–1567. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>
- Vargas, K. B., & Lawall, S. (2020). “Reflexões Biogeográficas acerca da origem, hipóteses, dispersão e distribuição dos Sars-CoV-2 (Corona Vírus).” *Geografia Ensino & Pesquisa*, 24(0), 19. <https://doi.org/10.5902/2236499445302>
- WHO. (2019). *Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV)*. [https://www.who.int/health-topics/middle-east-respiratory-syndrome-coronavirus-mers#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/middle-east-respiratory-syndrome-coronavirus-mers#tab=tab_1)
- WHO. (2021). *WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard*. <https://covid19.who.int/>
- Wu, Y., Guo, C., Tang, L., Hong, Z., Zhou, J., Dong, X., Yin, H., Xiao, Q., Tang, Y., Qu, X., Kuang, L., Fang, X., Mishra, N., Lu, J., Shan, H., Jiang, G., & Huang, X. (2020). Prolonged presence of SARS-CoV-2 viral RNA in faecal samples. *The Lancet Gastroenterology & Hepatology*, 5(5), 434–435. [https://doi.org/10.1016/S2468-1253\(20\)30083-2](https://doi.org/10.1016/S2468-1253(20)30083-2)
- Wurtzer, S., Marechal, V., Mouchel, J. M., Maday, Y., Teyssou, R., Richard, E., Almayrac, J. L., & Moulin, L. (2020). Evaluation of lockdown impact on SARS-CoV-2 dynamics through viral genome quantification in Paris wastewaters. *MedRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.04.12.20062679>
- Xu, X., Chen, P., Wang, J., Feng, J., Zhou, H., Li, X., Zhong, W., & Hao, P. (2020). Evolution of the novel coronavirus from the ongoing Wuhan outbreak and modeling of its spike protein for risk of human transmission. *Sci China Life Sci*, 63(3), 457–460. <https://doi.org/10.1007/s11427-020-1637-5>
- Zhu, N., Zhang, D., Wang, W., Li, X., Yang, B., Song, J., Zhao, X., Huang, B., Shi, W.,

Lu, R., Niu, P., Zhan, F., Ma, X., Wang, D., Xu, W., Wu, G., Gao, G. F., & Tan, W. (2020). A Novel Coronavirus from Patients with Pneumonia in China, 2019. *New England Journal of Medicine*, 382(8), 727–733. <https://doi.org/10.1056/nejmoa2001017>