



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA



# **Avaliação da contaminação e métodos alternativos de remoção do coronavírus em matrizes aquáticas com base na revisão da literatura**

*Autor: Michelle Martins Schinoff Alves*

*Orientadora: Liliana Amaral Féris*

*Coorientadora: Keila Guerra Pacheco Nunes*

Porto Alegre, novembro de 2021



Autor: Michelle Martins Schinoff Alves

Avaliação da contaminação e métodos alternativos de remoção do coronavírus em matrizes aquáticas com base na revisão da literatura

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à COMGRAD/ENQ da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química*

Banca Examinadora:

Professora Adjunta, Daniele Misturini Rossi, DEQUI/UFRGS

Professor Permanente, Bruno Marques Viegas, ICB/UFGA

Porto Alegre

2021

## AGRADECIMENTOS

Ao departamento de Engenharia Química e à UFRGS, pela oportunidade de estudar na instituição e concluir minha graduação.

A professora Liliana, pela orientação no trabalho de conclusão, pela sua dedicação como docente, sua gentileza e incentivo em todo período do curso. Tenho grande admiração pela sua postura como profissional e cortesia a todos diariamente.

A Keila, pelo grande suporte, sanando minhas dúvidas e auxiliando sempre que possível com muita dedicação durante todos esses meses.

Aos meus amigos, que me apoiaram durante o processo, mesmo que virtualmente, pelas risadas e momentos de descontração e todo apoio emocional oferecido. Em especial ao meu melhor amigo e namorado Ivan, que sempre me incentiva a buscar crescimento profissional e pessoal, pelo companheirismo e carinho, sou muito grata por tê-lo na minha vida.

Aos meus familiares, em especial aos meus pais, Elisabeth e Delmar, e à minha irmã, Andressa, pelo esforço e dedicação para proporcionar educação de qualidade, por todo suporte financeiro, amor, carinho e encorajamento ao meu desenvolvimento como pessoa. Muito obrigada, dedessa, pelas conversas, conselhos e suporte como irmã mais velha, tenho muita sorte de tê-la como irmã.

## RESUMO

A água tem papel fundamental em todas as atividades humanas, porém com o aumento populacional, este recurso encontra-se cada vez mais escasso. Agregado a isso, as interações dos seres humanos com a natureza passaram a desenvolver diversas doenças virais que afetam a vida humana, com possível veiculação hídrica. Em 2019, o surto ocasionado pelo vírus SARS-CoV-2, iniciado em Wuhan na China, infectou milhares de indivíduos em todo mundo. Diversos estudos passaram a investigar a possível contaminação de águas de esgoto pelo vírus da Covid-19, pois havia registros que os vírus da família *Coronaviridae* permaneciam por até 17 dias em urina a 20 °C. Este trabalho analisou a possível contaminação do vírus SARS-CoV-2 em águas de matrizes diversas a partir de estudos realizados com vírus semelhantes pertencentes à mesma família, extraídos da literatura, sugerindo a influência desta fonte na eliminação efetiva dos microrganismos. Além disso, investigou o tratamento térmico, a radiação ultravioleta, a desinfecção química, a adsorção e a ozonização como potenciais métodos capazes de ocasionar a inativação completa de patógenos virais causadores de doenças para os seres humanos, com enfoque em coronavírus. Os resultados demonstraram que há inativação dos patógenos virais através do tratamento convencional de efluentes, porém não se obteve a inativação completa, havendo replicação de RNA viral em algumas espécies. Os coronavírus são fortemente suscetíveis à temperatura e o aumento de calor reduz o tempo de contato, entretanto, este aquecimento representa um alto gasto de energia. A desinfecção química demonstrou ser eficiente, todavia, ocorre a geração de subprodutos poluidores. A radiação ultravioleta é uma técnica promissora, porém gera riscos à saúde ocupacional. A ozonização apresenta elevado custo e gera substâncias perigosas, ainda que seja uma das técnicas mais eficientes, inativando o vírus rapidamente. Por fim a adsorção se mostrou favorável, pois não produz produtos que agridam o meio ambiente, é eficiente e possui bom custo-benefício para sua execução necessitando de mão de obra qualificada. Os métodos verificados, com base na literatura, foram todos eficazes na eliminação dos vírus, ainda que apresentem particulares desvantagens, e são alternativas relevantes para o controle da poluição de águas, visando a proteção do meio ambiente e o bem-estar dos seres humanos.

**Palavras-chave:** SARS-CoV-2, coronavírus, poluição da água, adsorção, ozônio, desinfecção química

## ABSTRACT

Water has a fundamental role in all human activities, however with the increase in population, this resource is becoming increasingly scarce. Furthermore, human interactions with nature have developed several viral diseases that affect human life, with potential route of transmission through water. In 2019, the outbreak caused by SARS-CoV-2 appeared in Wuhan, China, infected thousands of individuals around the world. Several studies reported the possible transmission of Covid-19 disease through sewage water, because there were records that the viruses of the Coronaviridae family remained for up to 17 days in urine at 20 °C. This study analyzed the presence of SARS-CoV-2 virus in different water sources from studies accomplish with similar viruses belonging to the same family, extracted from the literature, suggesting the influence of this source in the effective elimination of microorganisms. In addition, this study investigated heat treatment, ultraviolet radiation, chemical disinfection, adsorption and ozonation as potential methods for the complete inactivation of viral pathogens causing disease in humans, with a focus on coronaviruses. The results exhibited the inactivation of viral pathogens through the conventional treatment of effluents, nevertheless the complete inactivation was not attained, with viral RNA replication in some species. Coronaviruses are highly susceptible to temperature and the heat increase reduces the contact time; although, this heating represents a high energy cost. Chemical disinfection proved to be efficient, however, there is the generation of secondary pollution. Ultraviolet radiation is a promising technique, despite that it poses risks to occupational health. Ozonation has a high operation and generates dangerous substances, although it is one of the most efficient methods, inactivating the virus in shorter time. Finally, adsorption proved to be favorable, because does not produce products that damaged the environment, it is efficient and cost-effective for its operation, requiring qualified labor. The methods studied, based on the literature, were all effective in eliminating viruses, even though they have particular disadvantages, and are relevant alternatives for the control of water pollution, aiming to protect the environment and the well-being of human beings.

**Keywords:** *SARS-CoV-2, coronavirus, water pollution, adsorption, ozone, chemical disinfection*

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Estrutura de vírion de coronavírus.....	3
<b>Figura 2:</b> Rota de contaminação do vírus SARS-CoV-2 através de esgoto .....	7
<b>Figura 3:</b> Dados de 2019 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) no Brasil .....	10
<b>Figura 4:</b> Número de leitos presente no sistema de saúde no Rio Grande do Sul em março de 2019 e 2021 .....	11
<b>Figura 5:</b> Número de leitos destinados a UTI para casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG-Covid-19) e para suporte ventilatório pulmonar Covid-19 no Rio Grande do Sul .....	11
<b>Figura 6:</b> Situação dos leitos de 301 hospitais no Estado do Rio Grande do Sul em setembro de 2021 .....	12

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Principais patógenos que podem ser encontrados em fezes e esgoto bruto .....	6
<b>Tabela 2:</b> Medicamentos administrados para o tratamento de Covid-19 e sua identificação em Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) .....	13
<b>Tabela 3:</b> Resumo dos trabalhos de inativação de vírus em águas diversas.....	18

## SUMÁRIO

1	Introdução	1
2	Revisão Bibliográfica	2
2.1	Definição de vírus e sua classificação	2
2.2	Caracterização e tipos de coronavírus	3
2.2.1	Coronavírus Animais	3
2.2.2	Coronavírus Humanos	4
2.3	Panorama geral da Covid-19 no mundo	4
2.4	Poluição da água	5
2.5	Métodos de eliminação de patógenos na água	7
2.6	Rede de esgoto e saneamento básico no Brasil	9
2.6.1	Sobrecarga nas redes hospitalares	10
2.6.2	Uso de medicamentos e suas consequências ao meio ambiente	12
2.6.3	Legislação	14
3	Materiais e Métodos	16
4	Resultados	17
4.1	Avaliação dos métodos de eliminação de vírus na água	17
4.2	Influência da fonte do efluente contaminado	21
4.3	Influência do método de eliminação do vírus	22
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	25
	REFERÊNCIAS	26



## 1 Introdução

A água é o bem mais essencial às atividades humanas. Necessária para o consumo e bom funcionamento do corpo, crucial para higiene e saúde e imprescindível para agricultura e indústria, que são responsáveis por suprir as necessidades primordiais de uma comunidade. Com o crescimento populacional, a água tem se tornado cada vez mais escassa e de difícil acesso às pessoas em condições de precariedade. Além disso, com o aumento demográfico também há um acréscimo na geração de efluentes, portanto, o processo de tratamento se torna fundamental para que a água retorne ao meio ambiente. Esses efluentes nem sempre são manuseados de forma adequada, e muitas comunidades não contam com uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) apropriada. Desta forma, essas águas são diretamente descarregadas nos corpos hídricos, ocasionando um desequilíbrio para o ecossistema e prejudicando a população que vive à margem e necessita desta água para consumo. Além disso, devido a exploração da natureza feita pelos seres humanos em busca de recursos e seu contato com os animais, diversas doenças virais passaram a surgir, trazendo preocupação quanto à sua disseminação. A presença de vírus patogênicos em sistemas aquáticos, como rios, lagos, lençóis freáticos, reservatório de água potável, água para recreação e águas de esgoto, desperta atenção quanto às implicações ao meio ambiente e a saúde humana, em função da possibilidade de servirem como veículo de infecções (Langone et al., 2021).

O surto da pandemia Covid-19, ocasionada pelo vírus SARS-CoV-2, exigiu que as águas originárias de esgotos fossem monitoradas a fim de se investigar cuidadosamente os possíveis riscos de contaminação, devido ao histórico de agentes virais se propagarem com facilidade através do meio aquático. Os efluentes hospitalares ganharam destaque neste cenário, pois devido a grande quantidade de pacientes infectados neste período, houve um aumento considerável de pacientes internados. Neste contexto, houve um acréscimo na geração de efluentes oriundos de estabelecimentos de saúde, contendo, sobretudo, uma carga viral superior do patógeno, representando altos riscos de contaminação quando dispostos em águas pluviais (Majumder et al., 2021).

Diversos estudos estão sendo realizados no monitoramento de águas com intuito de verificar uma possível contaminação pelo vírus SARS-COV-2, que contribuem para o controle da disseminação da doença numa região. As pesquisas investigam o comportamento do vírus da Covid-19 em águas de matrizes variadas e trazem a comparação com estudos realizados com outros vírus, podendo estes serem entéricos ou envelopados, como é o caso dos vírus pertencentes à família Coronaviridae (Al Huraimel et al., 2020; Carraturo et al., 2020; Carducci et al., 2020; Gonçalves et al., 2021; Mandal et al., 2020).

O presente trabalho analisou, segundo dados da literatura, a influência da origem das águas que advêm os vírus e as técnicas avançadas de eliminação de patógenos virais, com enfoque nos tipos de coronavírus que infectam humanos. Para tanto, foi discutida a poluição da água por microrganismos patogênicos e suas implicações para a vida dos seres humanos e à natureza. Além disso, foram abordados os problemas associados aos fármacos utilizados como tratamento da Covid-19. Por fim, foram verificadas a eficácia, as vantagens e desvantagens dos métodos de tratamento térmico, desinfecção química, radiação ultravioleta, ozonização e adsorção para a inativação viral.

## 2 Revisão Bibliográfica

Nesta seção será contextualizada a pandemia de Covid-19 ocasionada pelo vírus SARS-CoV-2, abordando a diversidade de coronavírus encontrados na natureza. Na sequência, será introduzida a recente preocupação da poluição da água pelo vírus Covid-19, abordando aspectos da rede de esgoto e saneamento básico no Brasil. Por fim, o enfoque se dará na abordagem dos efluentes, legislação vigente e sobrecarga nas redes hospitalares no atual cenário de caos e emergência na saúde pública e privada.

### 2.1 Definição de vírus e sua classificação

Lodish et al. (2000) descrevem os vírus como pequenos parasitas que não têm a capacidade de se reproduzirem sozinhos, necessitando infectar uma célula para transferir seu conteúdo celular. Os vírus são seres que possuem RNA ou DNA como material genético e seu ácido ribonucleico pode ser de fita simples ou dupla. A partícula infecciosa do vírus, conhecida por vírion, consiste no ácido nucleico e em uma camada externa de proteína. Para Cordingley (2017) o que constitui a essência genética dos vírus são os ácidos ribonucleico (RNA) ou desoxirribonucleico (DNA) que o compõem. O código genético do ácido nucleico contém as informações fundamentais para sua identidade distinta, o que pode ser verificado quando os mesmos são catalogados e comparados. Apesar de 6.000 tipos de vírus serem conhecidos pela humanidade, estima-se que milhões de cepas virais existam, porém não são reconhecidas. A vasta população viral está relacionada à complexidade de sua erradicação, pois esses estão em constante transformação através da seleção natural (Sellaoui et al., 2021).

Os vírus podem ser separados em dois grandes grupos: os vírus entéricos, que são aqueles não envelopados, e os vírus que apresentam envelopes na sua estrutura. O primeiro grupo possui a característica de se multiplicar no sistema gastrointestinal em humanos causando enfermidades. Todavia, também são responsáveis por doenças como: conjuntivite, sintomas respiratórios, hepatite viral e infecções do sistema nervoso central. Os principais vírus pertencentes a esse grupo são Norovírus, Enterovírus, Vírus da hepatite A e Adenovírus (La Rosa et al., 2020).

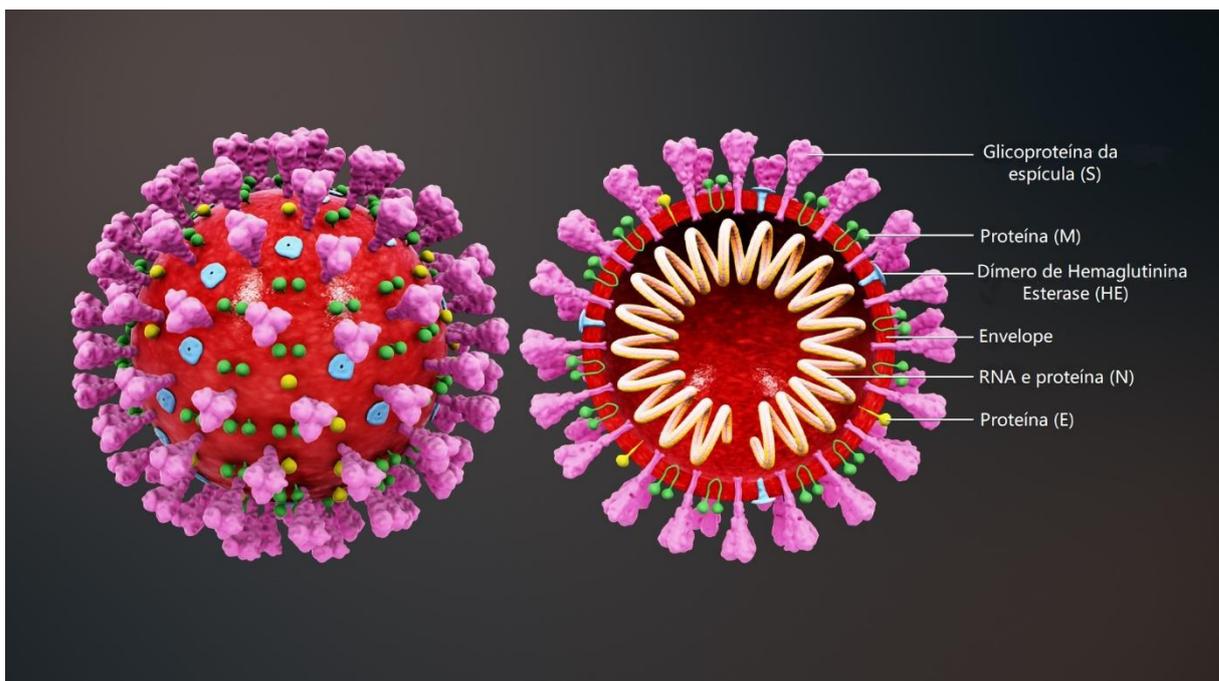
Em contrapartida, os vírus envelopados possuem uma estrutura diferente dos vírus entéricos. Quando comparados, nota-se que os vírus envelopados apresentam maior adsorção de sólidos e são mais sensíveis ao pré-tratamento de amostras em águas de esgoto que os vírus sem envelope (Buonerba et al., 2021). Os métodos utilizados para a detecção dos vírus são em grande parte para os casos em que não há encapsulamento, no entanto, não são adequados para prever o comportamento dos vírus envelopados. Visto isto, Ahmed et al. (2020) estudaram o comportamento do vírus MHV (Vírus da Hepatite Murina), um Betacoronavírus com envelope, como um vírus substituto para a análise do SARS-CoV-2. Além de representar satisfatoriamente o comportamento do SARS-CoV-2 em águas de esgoto, o vírus MHV apresenta menores riscos de biossegurança associados ao seu manuseio.

## 2.2 Caracterização e tipos de coronavírus

Os coronavírus são vírus pertencentes à ordem *Nidovirales*, família *Coronaviridae* e subfamília *Coronavirinae*. Seu nome foi proposto devido a sua superfície possuir diversas pontas semelhante a uma coroa, do Latim “corona”, que servem como mecanismos de ataque para ligação em células hospedeiras (Fehr et al., 2015).

Essa família de vírus enquadra-se na categoria de vírus envelopados, com sentido positivo e ácido ribonucleico de fita simples (RNA) (Mandal et al., 2020). Esse envelope apresenta-se como uma membrana de bicamada lipídica externa do vírus, conforme pode ser visto na **Figura 1**. Portanto, devido a capacidade de remoção desta camada lipídica, são utilizados detergentes e solventes orgânicos a fim de exterminar esse tipo de vírus (Ye et al., 2016). Dentro da subfamília *Coronavirinae* há quatro gêneros, são eles: Alpha, Beta, Gama e Deltacoronavirus.

**Figura 1:** Estrutura de vírion de coronavírus



Fonte: Adaptado de Scientific Animations (2021)

### 2.2.1 Coronavírus em animais

Em meados de 1960 foi identificada pela primeira vez a presença do coronavírus na natureza (Buonerba et al., 2021). Há registros de contaminação em diversas espécies animais, incluindo: camelos, morcegos, porcos, vacas, galinhas, cães e gatos (Fehr et al., 2015). São conhecidas seis espécies de coronavírus que infectam exclusivamente suínos, portanto, existe uma gama extensa de infecções causadas por esse vírus (La Rosa et al., 2020). Entre os coronavírus presente nos animais podem ser citados: Morcego Coronavírus (BatCoV), Diarreia

---

Entérica Suína CoV (PEDV), Transvírus da Gastroenterite Missível (TGEV), Vírus da Peritonite Infecciosa Felina (FIPV), Coronavírus Bovino (BCoV) entre outros (La Rosa et al., 2020).

### 2.2.2 *Coronavírus em humanos*

São conhecidos sete tipos de coronavírus que infectam humanos e ocasionam doenças respiratórias, são eles: HCoV-229E e HCoV-NL63, presentes no gênero Alphacoronavirus, e, HCoV-HKU1, HCoV-OC43, MERS-CoV, SARS-CoV e SARS-CoV-2, os quais são encontrados no gênero Betacoronavirus. O método de transmissão ocorre pelo contato direto com indivíduos contaminados, através de gotículas respiratórias, ou indireto com superfícies contaminadas (Foladori et al., 2020).

Os coronavírus humanos, conhecidos por HCoVs, estão associados a patologias graves, como bronquite, bronquiolite e pneumonia, afetando principalmente neonatos, crianças, idosos e pacientes imunocomprometidos. O surgimento de novos vírus com alto potencial epidêmico, como o caso dos coronavírus, muitas vezes é o resultado de dinâmicas complexas entre os animais, os humanos e o meio ambiente (Carraturo et al., 2020).

Segundo Fisman et al. (2012) a sazonalidade faz oscilar o número reprodutivo efetivo dos patógenos que, por conseguinte, reflete em fatores como: a probabilidade de infecção, a sobrevivência do patógeno e a imunidade do hospedeiro. Além disso, estudos desenvolvidos por Monto et al. (2002), Landes et al. (2013), Morikawa et al. (2015), Midgley et al. (2017) e Killerby et al. (2018) revelam que a maioria dos surtos virais respiratórios, em especial os ocasionados pelos HCoVs, atingem o seu apogeu no período em que as temperaturas estão mais baixas. Deste modo, são chamados até mesmo de “vírus de inverno” (Kumar et al., 2021).

## 2.3 **Panorama geral da Covid-19 no mundo**

Os primeiros registros de doenças ocasionadas pelos coronavírus que afetaram a vida humana foram em 2002 e 2003 na província de Guangdong na China, onde a doença ficou conhecida como Síndrome Respiratória Aguda Grave (SARS-CoV) devido aos efeitos severos causados ao sistema respiratório dos indivíduos infectados. Em 2015, um novo surto ocasionado pelo vírus da Síndrome Respiratória do Oriente Médio (MERS-CoV) causou preocupação nas autoridades sul-coreanas que implementaram de forma urgente medidas epidemiológicas capazes de conter a propagação e óbitos pelo vírus (Sellaoui et al., 2021).

O surto vivenciado pela Covid-19, nome pela qual ficou popularmente conhecida a doença de Síndrome Respiratória Aguda Grave Coronavírus 2 (SARS-CoV-2), gerou um grande impacto em diversas esferas das relações humanas. A doença teve origem em dezembro de 2019 na cidade de Wuhan, China, e entre setembro de 2020 e setembro de 2021 registrou cerca de 200 milhões de infectados e aproximadamente 4 milhões de mortes (Our World in Data). Devido ao pouco conhecimento das causas e formas de disseminação, a doença se espalhou por diversos países do mundo com rapidez. Sendo assim, em 30 de janeiro de 2020 a

Organização Mundial da Saúde (OMS) declarou o SARS-CoV-2 como Emergência de Saúde Pública de Preocupação Internacional e, em seguida, com números de casos e óbitos cada vez mais alarmantes, a doença passou a ser classificada como pandemia (Mandal et al., 2020).

No final de 2019, pesquisas científicas passaram a estudar o vírus, concluindo que a forma de disseminação ocorre por transmissão de pessoa para pessoa através de gotículas ou mesmo contato direto (La Rosa et al., 2020; Ahmed et al., 2020; Morawska et al., 2020). No entanto, estudos recentes analisaram águas de esgoto e a possibilidade de haver uma contaminação fecal-oral (Gupta et al., 2020; Gwenzi, 2021; Lodder et al., 2020; Yeo et al., 2020). Essa contaminação se torna uma possibilidade, pois mesmo em pacientes que apresentam amostras de esfregaços respiratórios negativos para o vírus e para aqueles assintomáticos, é possível detectar a presença de RNA viral nas fezes por até 5 semanas (Saawarn et al., 2021). A pesquisa desenvolvida por Randazzo et al. (2020) mostrou que o controle do vírus através de águas de esgoto pode ser realizado relacionando o número de casos de uma região com a presença do vírus na água e sua carga viral. Portanto, diversos países como China, Itália, Espanha e Índia têm discutido a análise de seus efluentes como uma estratégia eficiente para vigilância de novos surtos e monitoramento de casos pontuais (Randazzo et al., 2020).

Pesquisadores, em conjunto com as autoridades de saúde, constituíram medidas de segurança capazes de frear o contágio, como: o isolamento físico - em especial quando há suspeita de contaminação recente, contudo sem deixar de observar a potencial transmissão ainda que indivíduos assintomáticos - lavar as mãos com frequência, evitar trazer as mãos à boca e ao nariz e uso de máscaras em ambientes de uso compartilhado. Todas as precauções e normas estabelecidas têm sido de extrema importância para evitar o sobrecarregamento de instituições de saúde e preservação da vida. Complementando essas medidas preventivas, o monitoramento de águas em ETE pode contribuir no controle e planejamento da tomada de ações por parte dos dirigentes responsáveis para melhor enfrentamento desta pandemia que assola países e faz tantas vítimas desde seu estopim. Além disso, o monitoramento das águas de esgoto será pertinente para o entendimento do comportamento do vírus SARS-CoV-2, facilitando a identificação precoce para evitar a recorrência do surto (Saawarn et al., 2021).

## **2.4 Poluição da água**

Os índices de qualidade de vida de uma região estão atrelados, entre outros fatores, à disponibilidade de água tratada e aos níveis de poluição da mesma. Agregado a isso, a crise mundial vivenciada pela Covid-19 trouxe diversos desafios em relação ao consumo e manejo desse recurso, em especial ao tratamento de efluentes em virtude da possível infecção de coronavírus através de águas pluviais contaminadas.

Gormley et al. (2020) relatam a evidência do sistema de esgoto sanitário como um possível vetor de microrganismos patogênicos causadores do surto de coronavírus na região. O relatório publicado divulgou que um defeito originado na tubulação do esgoto de um condomínio em Hong Kong poderia ter sido um facilitador para o transporte do coronavírus através de encanamentos de banheiros (Rollemberg et al., 2020).

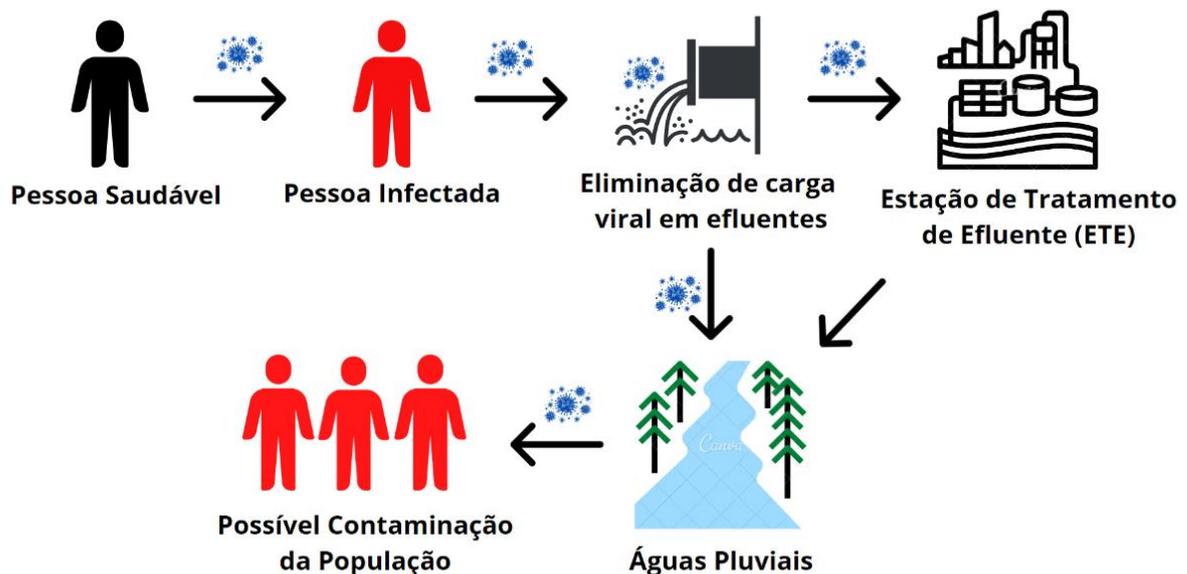
De acordo com Chan et al. (2004) o vírus pode ser identificado em fezes de pacientes contaminados por SARS-CoV a partir do quinto dia da doença, sendo intensificada progressivamente em amostras que obtiveram resultado positivo. Já o pico de carga viral foi detectado após o décimo primeiro dia de infecção. No entanto, foi constatado que os vírus podem permanecer vivos por até 30 dias nas fezes de pessoas contaminadas. A Tabela 1 ilustra o aparecimento de carga viral de diversos vírus presentes nas fezes e esgoto.

**Tabela 1:** Principais patógenos que podem ser encontrados em fezes e esgoto bruto

Patógeno	Número de microrganismos por grama de fezes	Número de microrganismos/ 100 mL de esgoto
Adenovírus	$10^{10}$	Sem registro
Coronavírus	$10^5$	100
Enterovírus	$10^3 - 10^7$	180 – 500.000
Hepatite A	$10^8$	Sem registro
Noravírus	$10^{12}$	Sem registro
Roatavírus	$10^{10}$	400 – 85.000

*Fonte:* Rollemberg et al. (2020)

A partir de estudos como os publicados por Chan et al. (2004) e Rollemberg et al (2020) é que foi levantada a hipótese da presença do vírus SARS-CoV-2 em fezes de pacientes. A potencial propagação do vírus Covid-19 através da rede de esgoto, vem sendo investigada, principalmente em locais de grande circulação do vírus, como é o caso de esgotos hospitalares e demais estabelecimentos de saúde (Patel et al., 2021). O esquema representado pela **Figura 2** ilustra a possível rota de contaminação do vírus através de águas de esgoto.

**Figura 2:** Rota de contaminação do vírus SARS-CoV-2 através de esgoto

Fonte: Autor

Os indivíduos de baixa renda muitas vezes utilizam água de forma indireta não planejada, ou seja, utilizam para suas atividades diárias uma água que foi anteriormente descarregada no meio ambiente sem prévio tratamento. Portanto, podem estar expostos ao coronavírus, uma vez que este sobrevive por cerca de 25 dias em águas de esgoto a 5° C (Patel et. al., 2021). Além disso, um estudo desenvolvido na Espanha investigou as águas advindas do esgoto domiciliar no período de fevereiro a abril de 2020 na cidade de Valência e concluiu que quanto maior o número de casos registrados numa região maior também foi a carga viral observada nas amostras de efluentes coletadas (Randazzo et al., 2020). Este fato é condizente com o esperado, uma vez que o crescimento do número de pessoas infectadas elevará a descarga de vírus em fezes e urina considerando a população das áreas investigadas. Os resultados mostraram também que no final de fevereiro e início de março, quando foi registrado o primeiro caso de covid-19 na cidade espanhola, o vírus já estava circulando na comunidade. Esse fato refuta a concepção de que os primeiros casos neste período seriam de pessoas que se contaminaram fora da região (Randazzo et al., 2020).

## 2.5 Métodos de eliminação de patógenos na água

Os métodos de desinfecção inativam os patógenos, reduzindo o número de microrganismos presentes na água. Portanto, não são processos de esterilização da água, pois o objetivo é reduzir a contaminação e possíveis doenças ocasionadas nos seres humanos acarretadas pelo contato com vírus e bactérias. Entre as várias técnicas existentes para remoção de patógenos virais e microbianos, destacam-se:

#### a) Tratamento térmico

O tratamento térmico consiste no aquecimento do esgoto sanitário a altas temperaturas a fim de promover a desnaturação de proteínas e ácidos nucleicos dos microrganismos presentes (Gerba et al., 2007). Segundo a resolução nº 498 de 19 de agosto de 2020 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), o tratamento térmico para redução de patógenos consiste no aquecimento do lodo do esgoto sanitário, na forma líquida, no mínimo a 180 °C durante 30 minutos. No entanto, além da temperatura, a composição da água, como pH, sais e presença de matéria orgânica, também afeta a estabilidade dos vírus e podem influenciar a sua inativação através de fornecimento de calor (Gerba et al., 2007). Para verificação da eficiência da técnica, Wang et al. (2004) mostraram que o vírus SARS-CoV foi inativado com a desnaturação completa induzida pelo calor a 55 °C. Segundo Pastorino et al. (2020) o tratamento térmico também corrobora na inativação completa do vírus SARS-CoV-2. A 92 °C com duração de 15 minutos, o estudo obteve uma redução superior a 6 Log 10 da carga viral.

#### b) Desinfecção química

Os desinfetantes químicos mais comuns são: cloro livre, cloro combinado e dióxido de cloro. O cloro livre é mais eficiente em relação aos outros desinfetantes, no entanto, o uso do cloro combinado para cloração, passou a ser priorizado, devido a menor propensão a formar subprodutos químicos de desinfecção. O cloro combinado é a formação de compostos cloraminas quando o cloro livre reage com a amônia na água. A desinfecção com dióxido de cloro (ClO<sub>2</sub>) ocorre por oxidação, sendo reduzido a clorito (ClO<sub>2</sub><sup>-</sup>). O dióxido de cloro é gerado usando-se clorito de sódio (NaClO<sub>2</sub>) ou clorato de sódio (NaClO<sub>3</sub>) (Chalmers et al., 2014). Kahler et al. (2010) analisaram a remoção dos vírus coxsackievirus B5 (CVB5), echovírus 1 (E1), norovírus murino (MNV) e adenovírus humano 2 (HAdV2) com adição de 0,2 e 1 mg/L de cloro livre a 5 e 15 °C e obtiveram a inativação dos vírus estudados. Para remoção bacteriana pode-se citar a pesquisa desenvolvida por Ofori et al. (2018) que avaliaram a inativação das bactérias *Pseudomonas aeruginosa* e *Staphylococcus aureus* com uma concentração de 5,0 mg/L de dióxido de cloro. Os autores observaram uma redução de 5-log<sub>10</sub> na população bacteriana para cada cepa de bactéria.

#### c) Radiação ultravioleta

O processo de inativação através da luz ultravioleta parte do princípio do rompimento da parede celular dos microrganismos no momento que a luz atravessa o patógeno, sendo esta luz absorvida pelas proteínas e nucleotídeos que compõem os componentes celulares (Chalmers et al., 2014). Orona-Návar et al. (2020) verificaram a completa inativação das bactérias coliformes fecais, *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* e *Enterococci* através da incidência de UVA-LED,  $\lambda = 370$  nm e intensidade  $46,5 \pm 0,6$  W/m<sup>2</sup>, em 60 minutos de exposição. Para a remoção de vírus, um estudo realizado em duas estações de tratamento de águas no Canadá mostrou eficiência do UV na inativação do norovírus, rotavírus, reovírus, sapovírus, astrovírus, enterovírus e adenovírus. As amostras coletadas continham 98% da carga viral anteriormente a aplicação do UV e 76% após o tratamento com dosagem de 24 mJ/cm<sup>2</sup> e 30 mJ/cm<sup>2</sup>, nas estações de tratamento de efluentes municipais 1 e 2, respectivamente. (Qiu et al., 2018).

#### d) Ozônio

O ozônio age nos patógenos inicialmente pela oxidação direta da parede celular, isso faz com que haja rupturas na superfície, ocasionando o vazamento do conteúdo celular. A reação entre os radicais livres (-OH) produzidos durante a decomposição do ozônio e os ácidos nucléicos causam a inativação do vírus, danificando o DNA ou RNA (Chalmers et al., 2014). Iakovides et al. (2021) avaliaram o ozônio na inativação das bactérias coliformes fecais, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Enterococcus spp* e obtiveram a completa eliminação sem o crescimento bacteriano após 72 horas de tratamento. Segundo King et al. (2020) o uso da ozonização, em concentração de 1,18 mg O<sub>3</sub>/mg, alcançou a inativação de 5-log<sub>10</sub> do vírus bacteriófago MS2 em todos os testes realizados.

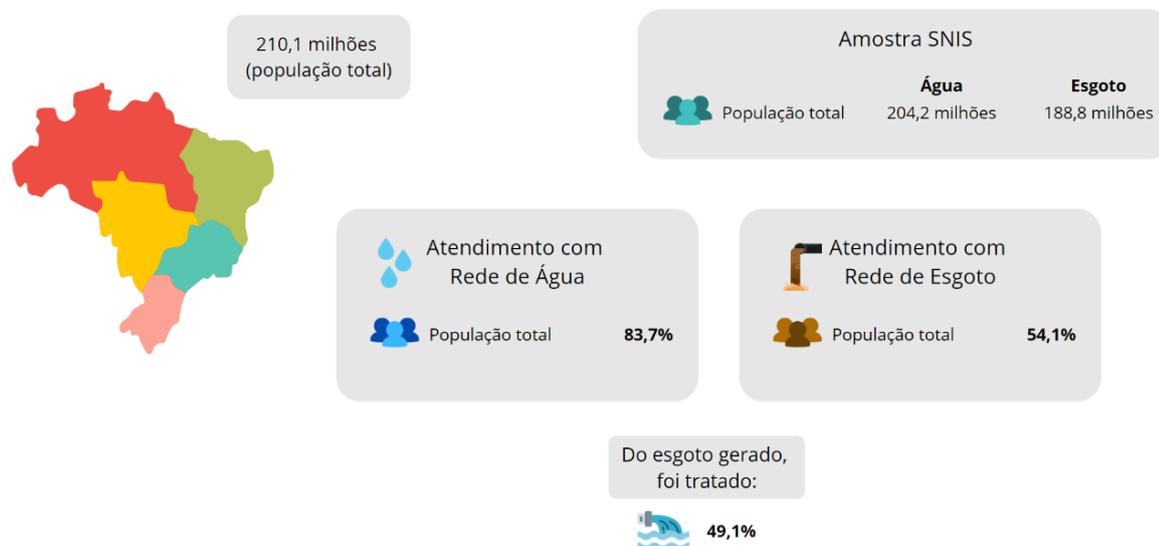
#### e) Adsorção

A aderência de um vírus a uma superfície resulta da interação de forças atrativas de van der Waals e forças eletrostáticas repulsivas. Alguns fatores afetam as forças eletrostáticas, como: o pH e a força iônica da solução, a presença de compostos competindo por locais de sorção, as propriedades do vírus e as propriedades do sorvente. A adsorção de um vírus a um sorvente ocorre de forma proporcional ao aumento da força iônica de uma solução, ou seja, quanto maior a força iônica mais favorecida será a adsorção (Guyader et al., 2008). Jiang et al. (2021) estudaram a eficiência antibacteriana da adsorção através de nanocompósito magnético de óxido de grafeno de quitosana modificado com tiol. O estudo atingiu uma inativação de 88,94% para *E. coli* e 100% para *S. aureus*. O uso de nanopartículas de sílica também foi proposto como possível adsorvente na remoção de vírus. Os resultados mostraram uma remoção superior a 97% para Poliovírus-1 (PV-1) utilizando a adsorção (Zhan et al., 2014).

## 2.6 Rede de esgoto e saneamento básico no Brasil

As orientações fornecidas pela OMS e pelos órgãos responsáveis ao enfrentamento da pandemia esteve voltada à manutenção de bons hábitos de higiene, portanto, lavar as mãos com água e sabão de forma frequente. No entanto, este protocolo está diretamente associado às condições econômicas das famílias. Conforme levantamento realizado pelo Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) e pela OMS, cerca de 2,2 bilhões de pessoas não possuem serviços de saneamento básico e 3 bilhões não possuem instalações básicas para higienização das mãos, o que representa aproximadamente 40% da população mundial (UNICEF, 2021).

A **Figura 3** mostra o infográfico obtido a partir da pesquisa de 2019 realizada pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) no Brasil. Segundo os dados, 83,7 % da população possui acesso a água de qualidade, no entanto, 33,4 milhões de brasileiros não possuem rede de água em suas residências. Além disso, o relatório revelou que aproximadamente 50 % da população brasileira tem atendimento com rede de esgoto, sendo que apenas 49,1 % de todo o esgoto gerado foi tratado. (SNIS, 2021).

**Figura 3:** Dados de 2019 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) no Brasil

Fonte: Adaptado de SNIS (2021)

### 2.6.1 Sobrecarga nas redes hospitalares

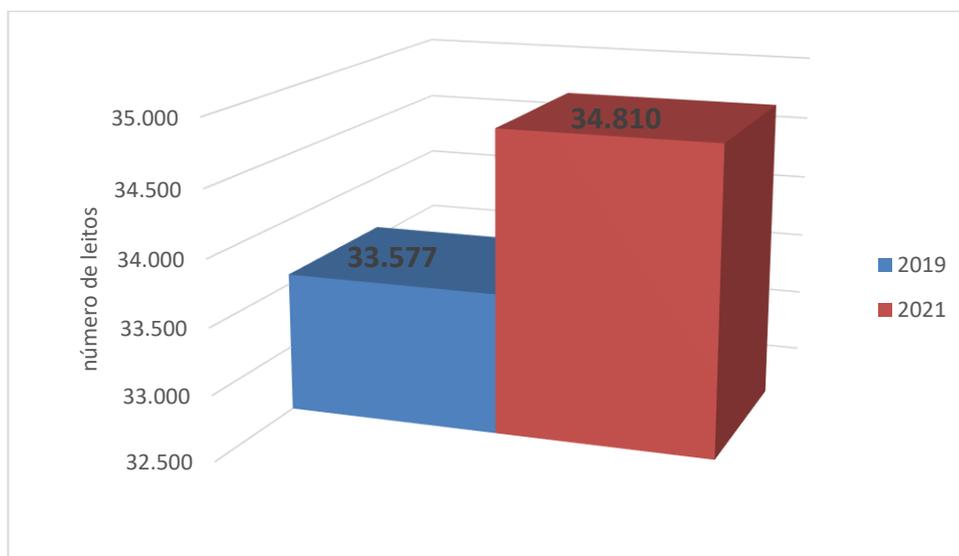
Os hospitais são parte de extrema importância para a manutenção da segurança e saúde da humanidade. Eles auxiliam no bem-estar da população, fornecendo meios para diagnósticos e tratamentos de doenças que acometem os seres humanos. Com a pandemia ocasionada pela Covid-19, esse setor ganhou ainda mais relevância, sendo responsável por dar condições de sobrevivência a milhares de pessoas que foram afetadas pelo vírus SARS-CoV-2 (Majumder et al., 2021).

O advento da pandemia trouxe diversos desafios para o sistema de saúde, aumentando em grande quantidade o número de pacientes com necessidades de internações hospitalares, que, por consequência, geraram congestionamento em salas de emergência, com filas de espera por um leito. Agregado a isso, observou-se a falta de profissionais de saúde qualificados para atender a população. Devido às maiores chances de contágio com o vírus, muitos profissionais necessitaram de isolamento a fim de que não houvesse um contágio descontrolado, o que poderia provocar um colapso no sistema de saúde (Arias-De La Torre et al., 2020).

Dados obtidos do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES) revelam um aumento no número de leitos disponíveis no Rio Grande do Sul em 2021 em relação ao mesmo período de 2019, conforme demonstrado na **Figura 4**. Os dados consideram as Unidades de Terapia Intensiva (UTI) e cuidados intermediários, presentes no Sistema Único de Saúde (SUS)

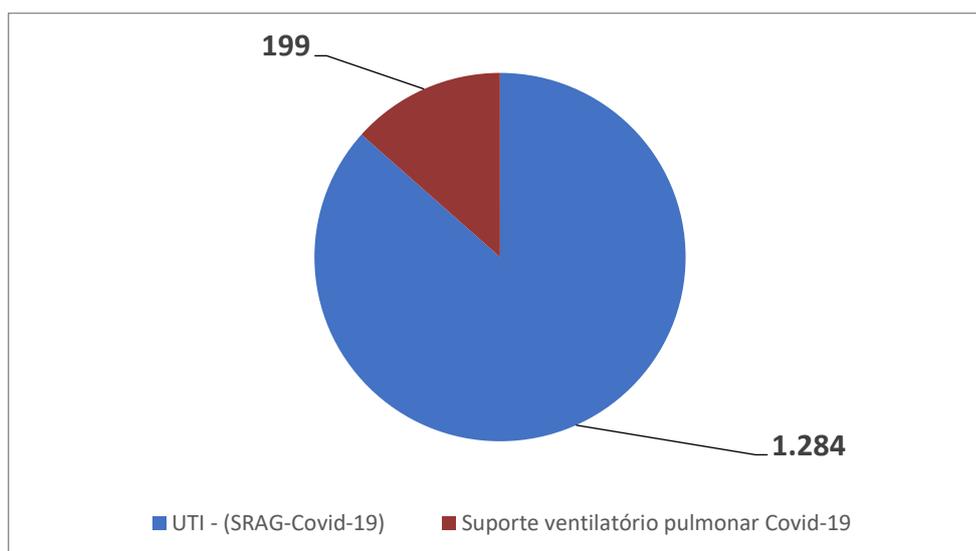
e particulares. Portanto, nota-se um aumento de 3,5 % no número de leitos no início de março de 2021 em relação ao mesmo período em 2019. A **Figura 5** apresenta a distribuição realizada dos leitos disponíveis (CNES, 2021).

**Figura 4:** Número de leitos presente no sistema de saúde no Rio Grande do Sul em março de 2019 e 2021



Fonte: Autor

**Figura 5:** Número de leitos destinados a UTI para casos de Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG-Covid-19) e para suporte ventilatório pulmonar Covid-19 no Rio Grande do Sul



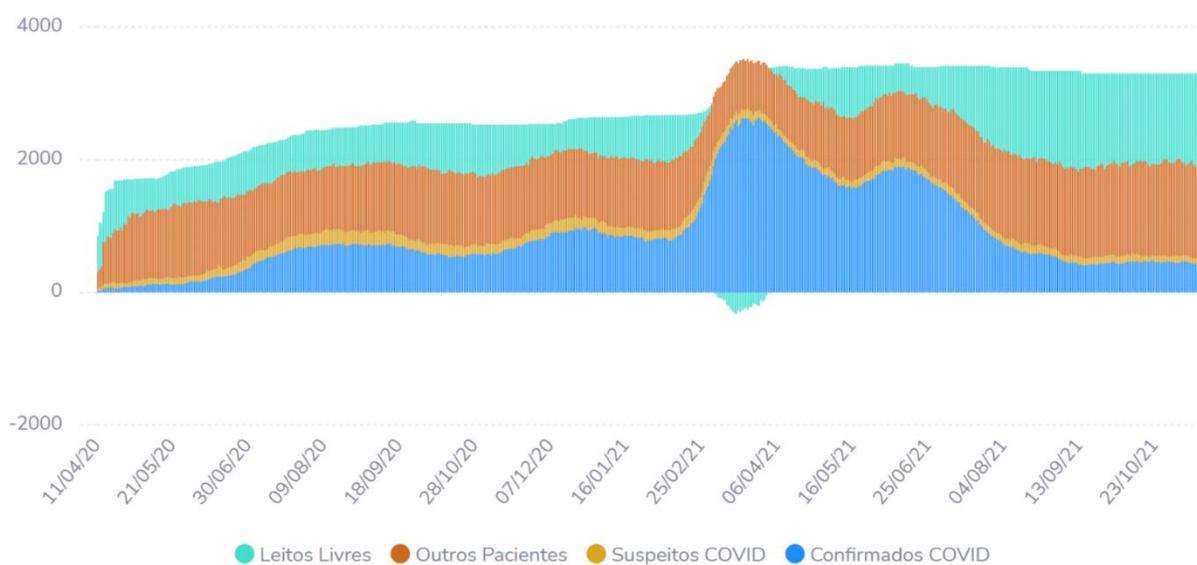
Fonte: Autor

De acordo com a Secretaria da Saúde do Estado do Rio Grande do Sul (SES RS), desde o início do surto de Covid-19 na região, o Governo do Estado aumentou em mais de 100 % a

estrutura da rede hospitalar em Tratamento Intensivo para adultos por meio do SUS. Em março de 2020, estima-se que o Estado possuía 933 leitos UTI SUS Adulto, com a criação de unidades exclusivas para o atendimento a pacientes com Covid (Secretaria da Saúde RS, 2021).

A **Figura 6** mostra os dados de abril de 2020 a outubro de 2021, em relação ao monitoramento das internações em UTI em 301 hospitais no Estado. Observa-se que em março de 2021 ocorreu o maior pico de ocupação dos leitos, registrando leitos livres negativos devido ao cenário de colapso no sistema de saúde neste período. Por outro lado, a partir de setembro de 2021, nota-se um declínio no número de ocupação dos leitos, pois, em razão dos avanços na vacinação da população adulta, houve uma redução significativa nos casos confirmados de Covid-19. Ainda assim, deve-se continuar o monitoramento de ocupação dos leitos para que os órgãos competentes possam estar cientes de possíveis afogamentos no sistema de saúde (Secretaria da Saúde RS, 2021).

**Figura 6:** Ocupação de leitos UTI em 301 hospitais no Estado do Rio Grande do Sul de abril de 2020 a outubro de 2021



Fonte: SES RS (2021)

### 2.6.2 *Uso de medicamentos e suas consequências ao meio ambiente*

O crescente número de pacientes infectados nos hospitais desde o início da pandemia da Covid-19, trouxe outra preocupação: o aumento de fármacos lançados ao meio ambiente e seu apropriado gerenciamento. Os produtos farmacêuticos são classificados como poluentes emergentes, pois além de atingirem de forma direta organismos aquáticos, poluem a água e tornam os microrganismos resistentes a antibióticos (Tarazona et al., 2021).

Estudos analisaram os riscos provocados ao meio ambiente pela utilização de fármacos que vêm sendo administrados para o tratamento da Covid-19 (Tarazona et al., 2021). A Tabela 2 traz alguns desses medicamentos, mostrando a dose administrada por paciente, relacionando-os com a porcentagem de eliminação após ingestão e sua porcentagem presente na ETE avaliadas em Madrid, Espanha.

**Tabela 2:** Medicamentos administrados para o tratamento de Covid-19 e sua identificação em Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) em Madrid

Medicamento	Dose diária (mg) / paciente	% eliminação	% presente na ETE
Hidroxicloroquina	400	75	74,78
Cloroquina	400	60	53,27
Ivermectina	12	100	24,97
Dexametasona	6	100	99,00
Azitromicina	500	10	70,53
Remdesivir	100	100	98,00
Lopinavir	800	93	50,44
Ritonavir	200	98	67,14
Oseltamivir	75	99	100
Darunavir	1200	93,5	96,00
Cobicistat	150	100	55,54
Umifenovir	600	100	43,65

Fonte: Adaptado de Tarazona et al. (2021)

Os fármacos que dispõem de uma eliminação mais rápida, com tempo de meia-vida de 1 dia ou menos, apresentam uma emissão ambiental que corresponde ao dia em que foi realizada a administração. Já para os casos em que o tempo de meia-vida é maior, esta emissão para o meio ambiente será distribuída por diversos dias o que acarretará uma maior concentração no efluente. Outro ponto que deve ser considerado é o tempo de duração e dosagem do tratamento. Com redução das dosagens pode-se reduzir significativamente as concentrações ambientais aquáticas e ser uma possível alternativa de mitigação de riscos ambientais. (Tarazona et al., 2021).

O efeito da presença de poluentes emergentes, em particular os fármacos, vêm sendo estudados nos últimos anos. Segundo Da Luz et al. (2021) os efeitos da azitromicina e hidroxicloroquina em girinos neotropicais da espécie *Physalaemus cuvieri* são prejudiciais ao crescimento e desenvolvimento dos animais expostos e, a médio-longo prazo, pode provocar danos à saúde dos animais. Chen et al. (2020) verificaram que fármacos à base de cloroquina inibiram os reatores anaeróbios, que visam a remoção da matéria orgânica, afetando o desempenho nas estações de tratamento de efluentes. De acordo com Liebig et al. (2010) que avaliaram as consequências geradas pela presença de ivermectina no meio ambiente, concluíram que o fármaco representa um alto risco para a vida aquática, provocando uma toxicidade moderada em peixes e extremamente alta para invertebrados.

Por fim, as pesquisas confirmam a presença de fármacos que vêm sendo administrados na pandemia da Covid-19 em fezes, que serão encaminhados à ETE. No entanto, o tratamento convencional de efluentes não é capaz de remover por completo esses fármacos. Desta forma, resultam em prejuízos diretos à fauna marinha e aos equipamentos destinados ao tratamento de efluentes que, por consequência, afetam a vida humana e o meio ambiente.

### 2.6.3 Legislação

Os efluentes hospitalares em geral não possuem regulamentos legais que definam seu gerenciamento e tratamento. Em vista disso, são lançados em esgoto público para tratamentos em uma rede municipal ou descarga em corpo d'água superficial, onde são submetidos a tratamentos convencionais da ETE, como clarificação primária, processo de lodo ativado e desinfecção (Verlicchi et al., 2015). Todavia, o problema apontado pelos autores Pai et al. (2020), Duan et al. (2020) e Patel et al. (2019) revela que esses efluentes apresentam quantidades consideráveis de substâncias farmacêuticas e uma carga microbiológica elevada que exhibe uma maior resistência ao tratamento convencional.

A resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do CONAMA abrange a classificação de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, além de tratar das condições padrões de lançamento de efluentes. A norma baseia-se não necessariamente na água no seu estado atual, mas nos níveis de qualidade que deveriam possuir para atender as necessidades da comunidade, como também, observar a saúde humana e a manutenção do equilíbrio ecológico (CONAMA, 2005).

A resolução nº 397, de 3 de abril de 2008, do CONAMA traz algumas alterações à resolução descrita anteriormente, modificando alguns valores máximos de parâmetros inorgânicos (CONAMA, 2008). Posteriormente, em 2011 na resolução nº 430 houve uma complementação e alteração a resolução de 2005, passando a vigorar a partir de 13 de maio do mesmo ano. Uma das alterações na nova resolução foi o uso da Equação 1, que determina a concentração do efluente no corpo receptor (CECR):

$$CECR = \frac{\text{vazão do efluente}}{\text{vazão do efluente} + \text{vazão de referência do corpo receptor}} * 100\% \quad (1)$$

Fonte: CONAMA, 2011

A carência de uma legislação própria para efluentes de origem hospitalar dificulta o progresso de tratamentos avançados que possam reduzir a carga orgânica presente. O sistema de tratamento convencional das ETEs não é capaz de eliminar por completo microrganismos, capazes de transmitir doenças, e fármacos que prejudicam a vida aquática. Além disso, reflete a deficiência de políticas públicas que incentivem a gestão ambiental consciente.

### 3 Materiais e Métodos

O trabalho foi realizado através de pesquisa na literatura disponível em bancos de dados como Science Direct, Google Acadêmico e PubMed Central. Os artigos foram selecionados considerando o comportamento dos coronavírus, em especial o SARS-CoV-2 e seus impactos na poluição da água, filtrando os trabalhos desenvolvidos a partir do ano 2000 até 2021.

As palavras chaves utilizadas durante o processo de busca foram pesquisadas em inglês. São elas: “inativação do coronavírus”, “coronavírus na água”, “inativação por ozônio”, “inativação térmica”, “SARS-CoV”, “SARS-CoV-2”, “MERS-CoV”, “influência do coronavírus na água”, “SARS-CoV-2 em águas de esgoto” e “desinfecção do coronavírus na água”. Ao fim do processo de consulta à literatura foram selecionados 17 artigos para a elaboração deste trabalho.

O estudo foi desenvolvido nas seguintes etapas:

Etapa 1: Seleção das fontes de consulta.

Etapa 2: Pesquisa e coleta de bibliografia.

Etapa 3: Avaliação do contexto dos artigos abordando a presença de coronavírus como poluente da água, suas implicações e métodos de eliminação, através da leitura abrangente dos artigos selecionados.

Etapa 4: Leitura direcionada, com a finalidade de eleger os trabalhos mais específicos, com as estratégias adotadas (tipo de vírus, fonte analisada e métodos de eliminação) para debater neste trabalho.

Etapa 5: Construção da Tabela 3 com os dados advindos da literatura utilizada.

Etapa 6: Análise e discussão dos dados.

## **4 Resultados**

### **4.1 Avaliação dos métodos de eliminação de vírus na água**

Os tipos de vírus podem representar um parâmetro importante para definir o método ideal de eliminação e seu comportamento em ambientes aquáticos. Segundo Casanova et al. (2009) os coronavírus são semelhantes entre si e fornecem dados representativos de sobrevivência que podem contribuir nas avaliações de contaminação por vias aquosas. Deste modo, a Tabela 3 apresenta os artigos selecionados para análise e discussão neste trabalho. Os trabalhos selecionados abordam os métodos utilizados para remoção de vírus, com ênfase na família *Coronaviridae*, presentes na água. Para tanto, foram relacionados os diversos tipos de vírus com as suas respectivas fontes de origem e os métodos de eliminação utilizados a fim da total inativação dos patógenos.

**Tabela 3:** Resumo dos trabalhos de inativação de vírus em águas diversas

Referência	Tipo de vírus	Origem do efluente contaminado	Método de eliminação	Principais resultados
Wang et al. (2005a)	SARS-CoV	Águas de esgoto hospitalar, doméstico e água de torneira desclorada à 20 °C	Tratamento Térmico	A 4 °C houve uma persistência de 14 dias do vírus nas águas estudadas. Para a temperatura de 20 °C esse tempo foi reduzido para 2 dias.
Wang et al. (2005b)	SARS-CoV	Águas de esgoto hospitalar	Desinfecção Química	10 mg/L de cloro resultou em 100% de inativação de SARS-CoV ( $10^{1.6}$ TCID <sub>50</sub> /mL) em 10 min.
Zhang et al. (2020)	SARS-CoV-2	Fossas sépticas em hospitais	Desinfecção Química	Desinfecção completa utilizando hipoclorito de sódio a uma dosagem superior da utilizada originalmente. Formação de cloro livre, triclorometano, tribromometano, bromodiclorometano e dibromoclorometano.
Burton et al. (2021)	SARS-CoV-2	Amostras clínicas	Tratamento Térmico	A 56 °C e 60 °C no tempo de 15, 30 e 60 minutos foi reduzido o título do vírus entre 2,1 e 4,9 log <sub>10</sub> . A inativação completa foi atingida após aquecimento a 80 °C por 90 min, reduzindo-se para 5 minutos a 95 °C.
Gundy et al. (2009)	HCoV-229E	Água de torneira, filtrada e não filtrada, e água de esgoto de lodo primário e secundário	Tratamento Térmico	A redução do título do vírus obtida foi 3-log <sub>10</sub> (redução de 99,9% dos vírus) em 10 dias a temperatura ambiente (23 °C) e em mais de 100 dias a 4 °C.

Referência	Tipo de Vírus	Origem do efluente contaminado	Método de eliminação	Principais Resultados
Gundy et al. (2009)	Poliovírus-1 (PV-1) (não envelopado)	Água de torneira, filtrada e não filtrada, e água de esgoto de lodo primário e secundário	Tratamento Térmico	Em água de torneira a 23 °C, o PV-1 sobreviveu 6 vezes mais do que os coronavírus. Para a água de esgoto, o PV-1 sobreviveu 2 a 3 vezes mais do que o PV-1.
Sizun et al. (2000)	HCoV-229E	Solução salina tamponada com fosfato	Desinfecção Química	Hipoclorito de sódio (0,05%), iodopovidona (0,075%), sabão (1%) e etanol (70%) reduziu 1-log10 em 5 minutos.
Sizun et al. (2000)	HCoV-OC43	Solução salina tamponada com fosfato	Desinfecção Química	Com o uso de hipoclorito de sódio (0,5%), iodopovidona (0,075%), sabão (1%), etanol (70%) houve uma redução de 1-log10 em 5 minutos.
Casanova et al. (2009)	Vírus da Gastrite Transmissível (TGEV)	Água de rios e lagos	Tratamento Térmico	Redução de 99% no título de vírus a 25 °C após 13 dias. A 4 °C foi reduzido 1-log10 em 14 dias.
Casanova et al. (2009)	Vírus da Hepatite Murina (MHV)	Água de rios e lagos	Tratamento Térmico	Redução de 99% no título de vírus na temperatura de 25 °C após 10 dias. A 4 °C não houve redução significativa.
Ciejka et al. (2017)	HCoV-NL63, MHV e HCoV-OC43	Cultura de células, matriz biológica	Adsorção por Nano e microesferas	Redução de aproximadamente 415 vezes em TCID <sub>50</sub> a que corresponde a 99,7% de redução no título do vírus.

Referência	Tipo de Vírus	Origem do efluente contaminado	Método de eliminação	Principais Resultados
Heilingloh et al. (2020)	SARS-CoV-2	Amostras clínicas	Radiação Ultravioleta	A inativação total de SARS-CoV-2 foi alcançada após 9 minutos de exposição UVA e UVC combinada.
Biasin et al. (2021)	SARS-CoV-2	Sobrenadante da cultura de células	Radiação Ultravioleta	UV-C 3,7 mJ/cm <sup>2</sup> alcançou uma inativação superior a 3-log <sub>10</sub> sem vestígios de replicação viral. Para a inativação completa foi necessário 16,9 mJ/cm <sup>2</sup> .
Wang et al. (2018)	Adenovírus, norovírus, sapovírus, parechovirus, hepatite E, astrovus, pecovirus, picobirnavirus, parvovírus e gokushovírus	Água de esgoto doméstico	Tratamento por ozonização	O tratamento com ozônio reduziu entre 91 e 100 % dos vírus analisados.
Murata et al. (2021)	SARS-CoV-2	Cultura de células	Tratamento por ozonização	Ocorreu redução de 95,4% no título de vírus em 10 horas de exposição na concentração de O <sub>3</sub> de 0,1 ppm.

## 4.2 Influência da fonte do efluente contaminado

A investigação da fonte do efluente contaminado auxilia o entendimento da disseminação de patógenos na água e traz um parâmetro importante para verificar a carga viral presente em diversas matrizes aquáticas. Gundy et al. (2009) observaram que a presença de matéria orgânica e sólidos em suspensão na água podem proporcionar proteção ao vírus, pois há a possibilidade desses patógenos se absorverem nas partículas sedimentáveis. Porém, com a sedimentação dos sólidos em suspensão é possível remover os patógenos aderidos. Além disso, os pesquisadores compararam a água filtrada com a água sem filtração. Notaram que as águas filtradas apresentavam uma inativação do vírus superior em relação às águas não filtradas, e que, para o caso dos coronavírus, a sobrevivência foi superior em efluentes primários.

Wang et al. (2005a) avaliaram a persistência do vírus SARS-CoV a 20 °C e a 4 °C em três fontes diferentes: efluente hospitalar, esgoto doméstico e água de torneira desclorada. Os pesquisadores concluíram que a matriz aquática não foi relevante para a persistência do vírus, pois em todas as amostras selecionadas a sobrevivência do vírus a 20 °C foi 2 dias e a 4 °C foi de 14 dias. Contudo, em amostras de fezes e urina a resistência do vírus foi superior à encontrada nos experimentos anteriores. Em especial, para amostras de urina onde o vírus sobreviveu por 17 dias a 20 °C.

O estudo realizado por Wang et al. (2005b) comparou efluentes hospitalares com efluentes do esgoto doméstico e com água de torneira desclorada. Embora fosse esperada uma persistência na carga viral encontrada nos efluentes hospitalares, observaram uma semelhança em todos os efluentes analisados. No entanto, a permanência do vírus em amostras clínicas, como fezes e urina, dos pacientes dos hospitais estudados foi superior à observada nas águas de esgoto.

Wang et al. (2018) analisaram a presença de diversos vírus envelopados em águas provindas do esgoto domiciliar. Neste trabalho os autores coletaram amostras em três situações distintas do efluente: após tratamento convencional em ETE, após procedimento de ozonização e depois do processo de barragem em uma planta de tratamento em escala real. Quando comparadas, notaram que o processo convencional em ETE foi capaz de reduzir a carga viral entre 1 e 4 log<sub>10</sub>, entretanto, foi menos eficiente para as espécies adenovírus e parvovírus.

Zhang et al. (2020) estudaram o processo de tratamento de um hospital temporário criado em Wuhan na China a fim de avaliar a persistência do SARS-CoV-2 após a primeira etapa de desinfecção com hipoclorito de sódio. Os pesquisadores avaliaram o efluente que saía originalmente dos banheiros e chuveiros do hospital e eram encaminhados para um tratamento preliminar e posteriormente um tratamento secundário em fossas sépticas. O estudo observou que após a desinfecção com 800 g/m<sup>3</sup> de hipoclorito de sódio havia entre 0,5 e 18,7 x 10<sup>3</sup> cópias/L de RNA viral SARS-CoV-2. Isso pode estar relacionado ao fato de o efluente possuir uma elevada carga viral, o que dificultou a eliminação completa.

A partir do exposto pelos autores, observou-se que apesar do tipo de fonte que advém os vírus o tratamento convencional de efluentes permitiu a remoção parcial dos patógenos. Entretanto, parte dos microrganismos patogênicos poderiam permanecer na água após despejo em curso hídrico, o que representa riscos à saúde humana. Além disso, observou-se

que a permanência do coronavírus em espécimes clínicas provenientes de pacientes infectados foi superior à encontrada em efluentes domésticos e hospitalares, sugerindo que a carga viral está relacionada ao tempo de sobrevivência dos vírus em matrizes aquáticas.

### 4.3 Influência do método de eliminação do vírus

A análise do método de eliminação do vírus é crucial para verificar a eficácia e possibilidade de implementação dos tratamentos. Dentre os principais estão o tratamento térmico, desinfecção química, radiação UV e ozônio, listados na Tabela 3.

Burton et al. (2021) estudaram a estabilidade do SARS-CoV-2 sob cinco diferentes temperaturas (56, 60, 80 e 95 °C). Observaram que os testes de tratamento térmico possuem grande variabilidade para atingir a inativação completa. Estudos com os vírus MHV e TGEV mostram que há uma redução significativa, em torno de 99%, da carga viral em temperatura ambiente, todavia, para tanto são necessários 10 a 13 dias (Casanova et al., 2009). Um levantamento feito por Kampf et al. (2020) mostrou que o aumento da temperatura reduz o tempo de contato necessário para desinfecção. Entretanto, os resultados obtidos da literatura revelam que existe uma grande variabilidade na eficácia de inativação utilizando esta técnica nas amostras estudadas. Além disso, outros fatores podem influenciar o procedimento, como: o tipo de amostra que está sendo estudada, a fonte de calor fornecida e especificações dos instrumentos utilizados nos ensaios, como formato e material do recipiente que será aplicado o calor. Portanto, os protocolos para sua operação requerem mais estudos para sua validação, pois não há uma definição padrão da sistemática, apenas orientação, segundo o padrão britânico, com redução de no mínimo 4-log na titulação viral. (Burton et al., 2021).

Gundy et al. (2009) compararam a sobrevivência do PV-1 com os vírus HCoV-229E e FIPV sob as mesmas condições de temperatura. A pesquisa demonstrou que a sobrevivência dos coronavírus foi inferior à apresentada pelo vírus sem envelope em todas as matrizes analisadas. Os coronavírus são altamente suscetíveis à temperatura em comparação ao PV-1 e apresentam influência da quantidade de matéria orgânica e da existência de bactérias diversas. Além disso, os coronavírus por serem vírus envelopados são menos estáveis no meio ambiente que o PV-1 que são entéricos.

Sizun et. al (2020) estudaram o uso de hipoclorito de sódio, sabão, etanol e iodopovidona na inativação dos vírus HCoV-229E e HCoV-OC43. Após o contato por cerca de 5 minutos observou-se uma redução de 1-log<sub>10</sub> no título de vírus. Zhang et al. (2020) analisaram a desinfecção com hipoclorito de sódio em efluentes hospitalares. Os pesquisadores concluíram que a dosagem de 6700 g/m<sup>3</sup> para a segunda etapa na fossa séptica era capaz de inativar o vírus. O que não foi observado para a dosagem de 800 g/m<sup>3</sup> em ambas as etapas do tratamento antes do descarregamento para a ETE. Ainda que os estudos apontem a eficácia do uso de desinfetantes químicos na eliminação viral, esta técnica pode representar um risco ecológico, em virtude do alto nível de resíduos e subprodutos gerados.

Em contrapartida, a radiação ultravioleta para a eliminação de patógenos propicia uma alternativa menos nociva ao meio ambiente. Nesse sentido, Heilingloh et al. (2020) e Biasin et al. (2021) estudaram a remoção do vírus da Covid-19 em amostras clínicas e cultura de células

com incidência de ultravioleta, concluindo ser uma técnica promissora. Entretanto, o uso apenas de UVA não alcançou uma eficiência semelhante da obtida quando combinado com UVC no mesmo tempo de contato, obtendo uma redução de apenas 1-log<sub>10</sub> da carga viral (Heilingloh et al., 2020). Quando aplicado a radiação UVC, Biasin et al. (2021) notaram uma inativação satisfatória mesmo em doses menores. Contudo, percebeu-se um aumento no número de cópias virais representando uma reinfecção das células após 72h, o que não foi observado em amostras com UVC a 16,9 mJ/cm<sup>2</sup>.

Ciejka et al. (2017) estudaram a remoção dos coronavírus através da adsorção de nano e microesferas de N-(2-hidroxiopropil)-3-trimetilquitosana (HTCC-NS/MS). Este biopolímero é obtido através da reticulação da quitosana com genipina, um composto atóxico de origem vegetal. A capacidade de adsorção do biopolímero está relacionada com a atividade antiviral do composto que constitui o material. O adsorvente foi eficiente para o vírus HCoV-ONL63, porém não demonstrou resultados satisfatórios para o vírus HCoV-OC43. A pesquisa verificou que a eficiência da adsorção está relacionada com o grau de cationização da superfície do adsorvente, visto que os testes com alta modificação nas partículas de quitosana obtiveram uma remoção viral aproximadamente dez vezes maior em comparação com os testes sem modificação.

O processo de ozonização foi proposto por Wang et al. (2018) como processo complementar ao tratamento usual de efluentes. Os autores identificaram uma redução adicional de 1 a 2 log<sub>10</sub> na carga viral, com exceção do adenovírus que houve maior resistência para inativação. Murata et al. (2021) também sugeriram o uso do ozônio como possível desinfetante de matrizes aquosas e analisaram a remoção do vírus SARS-CoV-2 em cultura de células. A pesquisa mostrou que para o gás ozônio a umidade torna-se um ponto importante para reduzir a infectividade do vírus, sendo mais efetiva conforme a umidade era maior.

Além dos trabalhos relacionados na Tabela 3, pesquisadores como Lee et al. (2021), Clavo et al. (2020) e van Doremalen et al. (2013) avaliaram a remoção de microrganismos virais presentes em superfícies plásticas e equipamentos de proteção individual (EPIs). van Doremalen et al. (2013) analisaram a inativação do vírus MERS-CoV em plásticos e observaram a redução de 5-log<sub>10</sub> do vírus a 20 °C no período de 72 horas. Máscaras faciais contaminadas com vírus SARS-CoV-2 foram desinfetadas em apenas 1 minuto de contato com gás de ozônio (Lee et al. 2021). Clavo et al. (2020) investigaram a presença do vírus SARS-CoV-2 em materiais de EPI e concluíram que a completa inativação do vírus em concentrações de ozônio a 10.000 ppm (20 g/m<sup>3</sup>) ocorreu em 0,5 minutos. Já para concentrações mais baixas, de 4 a 12 ppm (0,008 a 0,024 g/m<sup>3</sup>) os efeitos foram altamente dependentes das condições de umidade relativa.

Com base nos trabalhos analisados, pode-se afirmar que todos os métodos avançados corroboram para a completa inativação viral em águas diversas e são importantes mecanismos adicionais para o tratamento de efluentes. Entretanto, cada método possui vantagens e desvantagens que devem ser examinadas. Os métodos que utilizam desinfecção química, em geral apresentam alta eficiência e baixo consumo de energia. Porém, por se tratar de substâncias perigosas, requerem cuidados de armazenamento e geram subprodutos poluidores. A radiação ultravioleta, embora necessite de baixo investimento e custo de operação, ocasiona riscos à saúde dos trabalhadores. O tratamento com ozônio possui rapidez na inativação em relação aos demais, todavia, possui alto custo operacional e pode gerar

subprodutos perigosos (Wang et al., 2021). Por fim, a adsorção é um dos métodos mais econômicos, altamente eficientes e sem problemas ecológicos associados. Apesar disso, gera um resíduo após o processo que necessita de destino apropriado e requer mão de obra qualificada, o que dificulta sua implementação (Teymoorian et al., 2021).

## 5 Conclusões e Trabalhos Futuros

A partir da análise realizada no presente trabalho foi possível concluir que a avaliação da presença de patógenos virais em águas de esgoto doméstico e hospitalares têm relevância para o monitoramento de infecções e controle pandêmico. Os estudos mostram que pessoas contaminadas liberam o vírus em urina e fezes, portanto, mais estudos neste sentido devem ser desenvolvidos a fim de avaliar os riscos associados a essa contaminação da água.

Os fármacos utilizados para tratamento da Covid-19 foram administrados em quantidades maiores das usuais, tornando-se possíveis poluidores de corpos hídricos. Esses medicamentos devem ser monitorados para que as medidas cabíveis possam ser implementadas e tratamentos alternativos possam ser sugeridos.

Ao longo deste estudo, avaliou-se a fonte do efluente contaminado e os métodos de eliminação do vírus considerando em especial os vírus da família *Coronaviridae*. A origem do efluente revelou que o tratamento convencional em ETE é capaz de eliminar boa parte dos patógenos virais. A sobrevivência dos vírus em amostras clínicas retiradas de pacientes contaminados com coronavírus foi superior à encontrada em amostras de águas de esgoto e torneira. Isso sugere que a carga viral presente no efluente está relacionada a permanência do vírus na matriz de origem.

Os métodos de eliminação relatados neste trabalho se mostraram eficazes na inativação/remoção dos vírus. O tratamento de desinfecção química é bastante utilizado para inativação de microrganismos, porém gera subprodutos prejudiciais ao meio ambiente. A técnica com radiação ultravioleta exige cuidados à saúde dos trabalhadores, devido a exposição à radiação. Os estudos com ozônio são, em sua maioria, para a eliminação de vírus entéricos, portanto requerem maior investigação para vírus com envelope como os coronavírus. Assim, o processo de inativação viral via adsorção torna-se a técnica com melhor custo-benefício. Este método apresenta-se como uma excelente alternativa, reforçando a necessidade de treinamento e capacitação aos operadores. No entanto, necessita de mais estudos e investimentos para se tornar uma alternativa viável de tratamento adicional para remoção dos vírus.

Recomenda-se para trabalhos futuros:

- Análise comparativa dos tipos de vírus e semelhanças encontradas para inativação.
- Estudo dedicado às condições operacionais das técnicas e suas influências para a eficiência do processo (pressão, temperatura e umidade).
- Avaliação de outros métodos de eliminação de vírus não abordados neste trabalho (tratamento térmico através de luz solar, adsorção utilizando outros polímeros adsorventes).
- Estudo experimental para complementar os resultados obtidos nesta revisão.

## REFERÊNCIAS

AHMED, W.; ANGEL, N.; EDSON, J.; BIBBY, K.; BIVINS, A.; O'BRIEN, J. W.; CHOI, P. M.; KITAJIMA, M.; SIMPSON, S. L.; LI, J.; TSCHARKE, B.; VERHAGEN, R.; SMITH, W. J. M.; ZAUGG, J.; DIERENS, L.; HUGENHOLTZ, P.; THOMAS, K. V.; MUELLER, J. F. First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community. **Science of the Total Environment**, v. 728, p.1-8, 2020.

AL HURAIMEL, K.; ALHOSANI, M.; KUNHABDULLA, S.; STIETIYA, M. H. SARS-CoV-2 in the environment: Modes of transmission, early detection and potential role of pollutions. **Science of the Total Environment**, v. 744, p.1-10, 2020.

ARIAS-DE LA TORRE J.; ALONSO, J.; MARTÍN, V.; VALDERAS, J. M. Hospital-at-Home as an Alternative to Release the Overload of Healthcare Systems During the Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) Pandemic. **Journal of the American Medical Directors Association**, v. 21, n. 7, p.990-991, 2020.

ASADI, S.; BOUVIER, N.; WEXLER, A. S.; RISTENPART, W. D. The coronavirus pandemic and aerosols: Does COVID-19 transmit via expiratory particles? **Aerosol Science and Technology**, v. 54, n. 6, p.635-638, 2020.

BIASIN, M.; BIANCO, A.; PARESCHI, G.; CAVALLERI, A.; CAVATORTA, C.; FENIZIA, C.; GALLI, P.; LESSIO, L.; LUALDI, M.; TOMBETTI, E.; AMBROSI, A.; REDAELLI, E. M. A.; SAULLE, I.; TRABATTONI, D.; ZANUTTA, A.; CLERICI M. UV-C irradiation is highly effective in inactivating SARS-CoV-2 replication. **Scientific Reports**, v. 11, n.1, p. 1-7, 2021.

BUONERBA, A.; CORPUZ, M. V. A.; BALLESTEROS, F.; CHOO, K. H.; HASAN, S. W.; KORSHIN, G. V.; BELGIORNO, V.; BARCELÓ, D.; NADDEO, V. Coronavirus in water media: Analysis, fate, disinfection and epidemiological applications. **Journal of Hazardous Materials**, v. 415, p. 1-29, 2021.

BURTON, J.; LOVE, H.; RICHARDS, K.; BURTON, C.; SUMMERS, S.; PITMAN, J.; EASTERBROOK, L.; DAVIES, K.; SPENCER, P.; KILLIP, M.; CANE, P.; BRUCE, C.; ROBERTS, A. D. G. The effect of heat-treatment on SARS-CoV-2 viability and detection. **Journal of Virological Methods**, v. 290, p. 1-5, 2021.

CARDUCCI, A.; FEDERIGI, I.; DASHENG, L.; THOMPSON, J. R.; MARCO, V. Metropolitan wastewater analysis for COVID-19 epidemiological surveillance. **Water Research**, v. 179, p.1-9, 2020.

CARRATURO, F.; DEL GIUDICE, C.; MORELLI, M.; CERULLO, V.; LIBRALATO, G.; GALDIERO, E.; GUIDA, M. Persistence of SARS-CoV-2 in the environment and COVID-19 transmission risk from environmental matrices and surfaces. **Environmental Pollution**, v. 265, p.1-6, 2020.

CASANOVA, L.; RUTALA, W.; WEBER, D.; SOBSEY, M. Disinfection technology of hospital wastes and wastewater: Survival of surrogate coronaviruses in water. **Water Research**, v. 43, n. 7, p.1893-1898, 2009.

CHALMERS, R.; GRAY, N. F.; WILLIAMS, D. W.; PERCIVAL, S. L.; YATES, M. V. Pathogen Control in Drinking Water. Free and Combined Chlorine. Chlorine Dioxide. Ozone Disinfection. *In: Microbiology of Waterborne Diseases: Microbiological Aspects and Risks*. 2. ed. Amsterdam: Academic Press, 2014. cap. 30-33, p. 537-615.

CHAN, P. K. S.; TO, W.K.; NG, K. C.; LAM, R. K. Y.; NG, T. K.; CHAN, R. C. W.; YU, W. C.; LEE, N.; HUI, D. S. C.; LAI, S. T.; HON, E. K. L.; LI, C. K.; SUNG, J. J. Y.; TAM, J. S. Laboratory Diagnosis of SARS. **Emerging Infectious Diseases**, v. 10, n. 5, p. 825–831, 2004.

CHEN, N.; ZHOU, M.; DONG, X.; QU, J.; GONG, F.; HAN, Y.; QIU, Y.; WANG, J.; LIU, Y.; WEI, Y.; XIA, J.; YU, T.; ZHANG, X.; ZHANG, L. Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study. **The Lancet**, v. 395, p.507-513, 2020.

CIEJKA, J.; WOLSKI, K.; NOWAKOWSKA, M.; PYRC, K.; SZCZUBIAŁKA, K. Biopolymeric nano/microspheres for selective and reversible adsorption of coronaviruses. **Materials Science and Engineering C**, v. 76, p.735-742, 2017.

CLAVO, B; ELIZABETH, C. Effects of Ozone Treatment on Personal Protective Equipment Contaminated with SARS-CoV-2. **Antioxidants**, v. 9, p. 1-10, 2020.

CNES. **1 em cada 3 pessoas no mundo não tem acesso a água potável, dizem o UNICEF e a OMS**. 08 mar. 2021. Disponível em: [http://cnes2.datasus.gov.br/Mod\\_Ind\\_Tipo\\_Leito.asp](http://cnes2.datasus.gov.br/Mod_Ind_Tipo_Leito.asp). Acesso em: 27 out. 2021.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Diário Oficial da União**. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Diário Oficial da União**. Resolução nº 397, de 3 de Abril de 2008.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. **Diário Oficial da União**. Resolução nº 498, de 19 de Agosto de 2020.

CORDINGLEY, M. G. Viruses, Genes, and Ecosystems. *In: Viruses: Agents of Evolutionary Invention*. 8.ed. Massachusetts: Harvard University Press, 2017. cap. 2.1, p. 23-27.

DA LUZ, T. M.; ARAÚJO, A. P. C.; ESTRELA, F. N.; BRAZ, H. L. B.; JORGE, R. J. B.; CHARLIE-SILVA, I.; MALAFAIA, G. Can use of hydroxychloroquine and azithromycin as a treatment of COVID-19 affect aquatic wildlife? A study conducted with neotropical tadpole. **Science of the Total Environment**, v. 780, p.1-11, 2021.

DOREMALEN, N. V.; BUSHMAKER, T.; MUNSTER, V. J. Stability of middle east respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) under different environmental conditions. **Eurosurveillance**, v. 18, n.38, p.1-4, 2013.

DUAN, L.; ZHANG, Y.; WANG, B.; CAGNETTA, G.; DENG, S.; HUANG, J.; WANG, Y.; YU, G. Characteristics of pharmaceutically active compounds in surface water in Beijing, China: Occurrence, spatial distribution and biennial variation from 2013 to 2017. **Environmental Pollution**, v. 264, p.1-8, 2020.

FEHR, A. R.; PERLMAN, S. Coronaviruses: An Overview of Their Replication and Pathogenesis. *In*: MAIER, H. J.; BICKERTON, E.; BRITTON, P. **Coronaviruses: Methods and Protocols - Methods in Molecular Biology**. New York. ed. [S. l.: s. n.], 2015. v. 1282, cap. 1, p. 1-23.

FISMAN, D. Seasonality of viral infections: Mechanisms and unknowns, **Clinical Microbiology and Infection**, v. 18, n. 10, p.946-954, 2012.

FOLADORI, P.; CUTRUPI, F.; SEGATA, N.; MANARA, S.; PINTO, F.; MALPEI, F.; BRUNI, L.; LA ROSA, G. SARS-CoV-2 from faces to wastewater treatment: What do we know? A review. **Science of the Total Environment**, v. 743, p.1-12, 2020.

GERBA, C. P. Virus Occurrence and Survival in the Environmental Waters. *In*: BOSCH, A. **Human Viruses in Water: Perspectives in Medical Virology**. 1. ed. Amsterdam: Elsevier Science, 2007. v. 17, cap. 5, p. 91-96.

GONÇALVES, J.; KORITNIK, T.; MIOČ, V.; TRKOV, M.; BOLJEŠIČ, M.; BERGINC, N.; PROSENC, K.; KOTAR, T.; PARAGI, M. Detection of SARS-CoV-2 RNA in hospital wastewater from a low COVID-19 disease prevalence area. **Science of the Total Environment**, v. 755, p.1-7, 2021.

GORMLEY, M.; ASPRAY, T.; KELLY, D. COVID-19: mitigating transmission via wastewater plumbing systems. **The Lancet Global Health**, v. 8, n. 5, p.e643, 2020.

GUNDY, P. M.; GERBA, C. P.; PEPPER, I. I. Survival of Coronaviruses in Water and Wastewater. **Food and Environmental Virology**, v. 1, p. 10-14, 2009.

GUPTA, S.; PARKER, J.; SMITS, S.; UNDERWOOD, J.; DOLWANI, S. Persistent viral shedding of SARS-CoV-2 in faeces—a rapid review. **Colorectal Disease**, v. 22, n.6, p. 611-620, 2020.

GUYADER, F. S. L.; ATMAR, R. L. Viruses: Structure, Function, and Uses. *In*: & BOSCH, A.; CLIVER, D. O.; KOOPMANS, M. P. G. **Food-Borne Viruses: Progress and Challenges**. 8. ed. Washington, D.C: ASM Press, 2008. cap. 8, p. 189-208.

GWENZI, W. Leaving no stone unturned in light of the COVID-19 faecal-oral hypothesis? A water, sanitation and hygiene (WASH) perspective targeting low-income countries. **Science of the Total Environment**, v. 753, p.1-17, 2021.

HEILINGLOH, C. S.; AUFDERHORST, U. W.; SCHIPPER, L.; DITTMER, U.; WITZKE, O.; YANG, D.; ZHENG, X.; SUTTER, K.; TRILLING, M.; ALT, M.; STEINMANN, E.; KRAWCZYK, A. Biopolymeric nano/microspheres for selective and reversible adsorption of coronaviruses. **American Journal of Infection Control**, v. 48, n. 10, p.1273-1275, 2020.

IAKOVIDES, I. C.; MANOLI, K.; KARAOLIA, P.; MICHAEL-KORDATOU, I.; MANAIA, C. M.; FATTA-KASSINOS, D. Reduction of antibiotic resistance determinants in urban wastewater by ozone: Emphasis on the impact of wastewater matrix towards the inactivation kinetics, toxicity and bacterial regrowth. **Journal of Hazardous Materials**, v. 420, p. 1-13, 2021.

JIANG, X.; PAN, W.; XIONG, Z.; ZHANG, Y.; ZHAO, L. Facile synthesis of layer-by-layer decorated graphene oxide based magnetic nanocomposites for  $\beta$ -agonists/dyes adsorption removal and bacterial inactivation in wastewater. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 870, p. 1-12, 2021.

KAHLER, A.; CROMEANS, T.; ROBERTS, J.; HILL, V. Effects of source water quality on chlorine inactivation of adenovirus, coxsackievirus, echovirus, and murine norovirus. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 76, n. 15, p. 5159-5164, 2010.

KILLERBY, M. E.; BIGGS H. M.; HAYNES A.; DAHL R. M.; MUSTAQUIM D.; GERBER S. I.; WATSON J. T. Human coronavirus circulation in the United States 2014–2017☆. **Journal of Clinical Virology**, v. 101, p. 52–56, 2018.

KING, T.; SCHMIDT, S.; ESSACK, S. Antibiotic resistant *Klebsiella* spp. from a hospital, hospital effluents and wastewater treatment plants in the uMgungundlovu District, KwaZulu-Natal, South Africa. **Science of the Total Environment**, v. 712, p. 1-8, 2020.

KUMAR, M.; MAZUMDER, P.; MOHAPATRA, S.; THAKUR, A. K.; DHANGAR, K.; TAKI, K.; MUKHERJEE, S.; PATEL, A. K.; BHATTACHARYA, P.; MOHAPATRA, P.; RINKLEBE, J.; KITAJIMA, M.; HAI, F. I.; KHURSHEED, A.; FURUMAI, H.; SONNE, C.; KURODA, K. A chronicle of SARS-CoV-2: Seasonality, environmental fate, transport, inactivation, and antiviral drug resistance. **Journal of Hazardous Materials**, v. 405, n.336, p.1-17, 2021.

LANDES, M. B.; NEIL, R. B.; McCOOL, S. S.; MASON, B. P.; WORON, A. M.; GARMAN, R. L.; SMALLEY, D. L. The frequency and seasonality of influenza and other respiratory viruses in Tennessee: Two influenza seasons of surveillance data, 2010-2012. **Influenza and other Respiratory Viruses**, v. 7, n. 6, p. 1122–1127, 2013.

LANGONE, M.; PETTA, L.; CELLAMARE, C.; FERRARIS, M.; GUZZINATI, R.; MATTIOLI, D.; SABIA, G. SARS-CoV-2 in water services: Presence and impacts\*. **Environmental Pollution**, v. 268, p.1-13, 2021.

LA ROSA, G.; BONADONNA, L.; LUCENTINI, L.; KENMOE, S.; SUFFREDINI, E. Coronavirus in water environments: Occurrence, persistence and concentration methods - A scoping review. **Water Research**, v. 179, p. 1-11, 2020.

LEE, J.; BONG, C.; LIM, W.; BAE, P.; ABAFOGI, A.; BAEK, S.; SHIN, Y.; BAK, M.; PARK, S. Fast and Easy Disinfection of Coronavirus-Contaminated Face Masks Using Ozone Gas Produced by a Dielectric Barrier Discharge Plasma Generator. **Environmental Science and Technology Letters**, v. 8, n. 4, p.339-344, 2021.

LIEBIG, M.; FERNANDEZ, Á.; BLÜBAUM-GRONAU, E.; BOXALL, A.; BRINKE, M.; CARBONELL, G.; EGELER, H.; FENNER, K.; FERNANDEZ, C.; FINK, G.; GARRIC, J.; HALLING-SØRENSEN, B.; KNACKER, T.; KROGH, K.; KÜSTER, A.; DIRK, L.; COTS, M.; POPE, L.; PRASSE, C.; RÖMBKE, J.;

RÖNNEFAHRT, I.; SCHNEIDER, M.; SCHWEITZER, N.; TARAZONA, J.; TERNES, T.; TRAUNSPURGER, W.; WEHRHAN, A.; DUISY, K. Environmental risk assessment of ivermectin: A case study. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 6, suppl. 1, p. 567–587, 2010.

LODDER, W.; HUSMAN, A. M. R. SARS-CoV-2 in wastewater: potential health risk, but also data source. **CORRESPONDENCE**, v. 5, n.6, p. 533-534, 2020.

LODISH, H.; BERK, A.; ZIPURSKY, S. L; MATSUDAIRA, P.; BALTIMORE, D.; DARNELL, J. Viruses: Structure, Function, and Uses. *In: Molecular Cell Biology*. 4. ed. New York, 2000. cap. 6.3, p. 1-8.

MAJUMDER, A.; GUPTA, A. K.; GHOSAL, P. S.; VARMA, M. A review on hospital wastewater treatment: A special emphasis on occurrence and removal of pharmaceutically active compounds, resistant microorganisms, and SARS-CoV-2. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n.2, p. 1-20, 2021.

MANDAL, P.; GUPTA, A.; DUBEY, B. A review on presence, survival, disinfection/removal methods of coronavirus in wastewater and progress of wastewater-based epidemiology. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8, n. 5, p. 1-10, 2020.

MIDGLEY, M. C.; HAYNES, A. K.; BUMGARDNER, J. L.; CHOMMANARD, C.; DEMAS, S. W.; PRILL, M. M.; ABEDI G. R.; CURNS, A. T.; WATSON, J.T.; GERBER S. I. Determining the seasonality of respiratory syncytial virus in the United States: The impact of increased molecular testing. **Journal of Infectious Diseases**, v. 216, n. 3, p. 345–355, 2017.

MONTO, A. S. Epidemiology of Viral Respiratory Infections. **The American Journal of Medicine**, v. 112, p. 4S-12S, 2002.

MORAWSKA, L.; CAO, J. Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. **Environment International**, v. 139 p. 1–3, 2020.

MORIKAWA, S.; KOHDERA, U.; HOSAKA, T.; ISHII, K.; AKAGAWA, S.; SATOSHI, H.; TETSUO, K. Seasonal variations of respiratory viruses and etiology of human rhinovirus infection in children. **Journal of Clinical Virology**, v. 73 p. 14–19, 2015.

MURATA, T.; KOMOTO, S.; IWAHORI, S.; SASAKI, J.; NISHITSUJI, H.; HASEBE, T.; HOSHINAGA, K.; YUZAWA, Y. Reduction of severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 infectivity by admissible concentration of ozone gas and water. **Microbiology and Immunology**, v. 65, n. 1, p. 1-7, 2021.

OFORI, I.; MADDILA, S.; LIN, J.; JONNALAGADDA, S. B. Chlorine dioxide inactivation of *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus* in water: The kinetics and mechanism. **Journal of Water Process Engineering**, v. 26, p. 46-54, 2018.

ORONA-NÁVAR, C.; LEVCHUK, I.; MORENO-ANDRÉS, J.; PARK, Y.; MIKOLA, A.; MAHLKNECHT, J.; SILLANPÄÄ, M.; ORNELAS-SOTO, N. Removal of pharmaceutically active compounds

(PhACs) and bacteria inactivation from urban wastewater effluents by UVA-LED photocatalysis with  $Gd^{3+}$  doped  $BiVO_4$ . **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8, n.6, p. 1-12, 2020.

OUR WORLD IN DATA. **Coronavirus Pandemic (COVID-19): Explore the global data on confirmed COVID-19 cases**. Disponível em: <https://ourworldindata.org/covid-cases>. Acesso em: 27 out. 2021.

PAI, C. W.; LEONG, D.; CHEN, C. Y.; WANG, G. S. Occurrences of pharmaceuticals and personal care products in the drinking water of Taiwan and their removal in conventional water treatment processes. **Chemosphere**, v. 256, p. 1-9, 2020.

PASTORINO, B.; TOURET, F.; GILLES, M.; LAMBALLERIE, X.; CHARREL, R. N. Evaluation of Chemical Protocols for Inactivating SARS-CoV-2 Infectious Samples. **Viruses**, v. 12, n. 624, p. 1-6, 2020.

PATEL, M.; CHAUBEY, A.; PITTMAN, C.; MLSNA, T.; MOHAN, D. Coronavirus (SARS-CoV-2) in the environment: Occurrence, persistence, analysis in aquatic systems and possible management. **Science of the Total Environment**, v. 765, p.1-18, 2021.

PATEL, M. KUMAR, R.; KISHOR, K.; MLSNA, T.; PITTMAN Jr, C.U; MOHAN, D. Pharmaceuticals of emerging concern in aquatic systems: Chemistry, occurrence, effects, and removal methods. **Chemical Reviews**, v. 119, n. 6, p.3510-3673, 2019.

QIU, Y.; LI, Q.; LEE, B. E.; RUECKER, N. J.; NEUMANN, N. F.; ASHBOLT, N. J.; PANG, X. UV inactivation of human infectious viruses at two full-scale wastewater treatment plants in Canada. **Water Research**, v. 143, p. 73-81, 2018.

RANDAZZO, W.; CUEVAS-FERRANDO, E.; SANJUÁN, R.; DOMINGO-CALAP, P.; SÁNCHEZ, G. Metropolitan wastewater analysis for COVID-19 epidemiological surveillance. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 230, p.1-4, 2020.

ROLLEMBERG, S. L. S; BARROS, A. N.; LIMA, J. P. Avaliação da contaminação, sobrevivência e remoção do coronavírus em sistemas de tratamento de esgoto sanitário. **Revista Tecnologia**, v. 41, n. 1, p. 1-15, 2020.

SAAWARN, B.; HAIT, S. Occurrence, fate and removal of SARS-CoV-2 in wastewater: Current knowledge and future perspectives. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 1, p.1-14, 2021.

SCIENTIFIC ANIMATIONS. **3D medical animation still shot showing coronavirus structure**. Disponível em: <https://www.scientificanimations.com/3d-medical-animation-still-shot-showing-coronavirus-structure/>. Acesso em: 06 nov. 2021.

SELLAOUI, L.; BADAWI, M.; MONARI, A.; TATARCHUK, T.; JEMLI, S.; DOTTO, G. L.; BONILLA-PETRICIOLET, A.; CHEN, Z. Make it clean, make it safe: A review on virus elimination via adsorption. **Chemical Engineering Journal**, v. 412, p.1-18, 2021.

SES RS. **Painel Coronavírus RS**. Disponível em: <https://ti.saude.rs.gov.br/covid19/>. Acesso em: 25 out. 2021.

SIZUN, J.; YU, M.; TALBOT, P. Survival of human coronaviruses 229E and OC43 in suspension and after drying on surfaces: A possible source of hospital-acquired infections. **Journal of Hospital Infection**, v. 46, n. 1, p.55-60, 2000.

SNIS. **Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento - 2019**. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/painel-setor-saneamento>. Acesso em: 27 out. 2021.

TARAZONA, J. V.; MARTÍNEZ, M.; MARTÍNEZ, M.; ANADÓN, A. Environmental impact assessment of COVID-19 therapeutic solutions. A prospective analysis. **Science of the Total Environment**, v. 778, p.1-9, 2021.

TEYMOORIAN, T.; HASHEMI, N.; MOUSAZADEH, M. H.; ENTEZARIAN, Z. N, S doped carbon quantum dots inside mesoporous silica for effective adsorption of methylene blue dye. **SN Applied Sciences**, v. 3, n. 3, 2021.

UNICEF. **1 em cada 3 pessoas no mundo não tem acesso a água potável, dizem o UNICEF e a OMS**. 18 jun. 2019. Disponível em: <https://www.unicef.org/brazil/comunicados-de-imprensa/1-em-cada-3-pessoas-no-mundo-nao-tem-acesso-agua-potavel-dizem-unicef-oms>. Acesso em: 27 out. 2021.

VERLICCHI, P.; AL AUKIDY, M.; ZAMBELLO, E. What have we learned from worldwide experiences on the management and treatment of hospital effluent? - An overview and a discussion on perspectives. **Science of the Total Environment**, v. 514, p.467-514, 2015.

WANG, H.; SIKORA, P.; RUTGERSSON, C.; LINDH, M.; BRODIN, T.; BJÖRLENIUS, B.; LARSSON, D. G. J. HELÉNE, N. Differential removal of human pathogenic viruses from sewage by conventional and ozone treatments. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 221, n. 3 p. 479-488, 2018.

WANG, J.; SHEN, J.; YE, D.; YAN, X.; ZHANG, Y.; YANG, W.; LI, X.; WANG, J.; ZHANG, L.; PAN, L. Disinfection technology of hospital wastes and wastewater: Suggestions for disinfection strategy during coronavirus Disease 2019 (COVID-19) pandemic in China. **Environmental Pollution**, v. 262, p.1-10, 2020.

WANG, X. W.; LI, J. S.; GUO, T.; ZHEN, B.; KONG, Q.; YI, B.; LI, Z.; SONG, N.; JIN, M.; XIAO, W.; ZHU, X.; GU, C.; YIN, J.; WEI, W.; YAO, W.; LIU, C.; LI, J.; OU, G.; WANG, M.; FANG, T.; WANG, G.; QIU, Y.; WU, H.; CHAO, F.; LI, J. Concentration and detection of SARS coronavirus in sewage from Xiao Tang Shan Hospital and the 309th Hospital. **Journal of Virological Methods**, v. 128, p.156-161, 2005b.

WANG, X. W.; LI, J. S.; JIN, M.; ZHEN, B.; KONG, Q. X.; SONG, N.; XIAO, W. J.; YIN, J.; WEI, W.; WANG, G. J.; SI, B. Y.; GUO, B. Z.; LIU, C.; OU, G. R.; WANG, M. N.; FANG, T. Y.; CHAO, F. H.; LI, J. W. Study on the resistance of severe acute respiratory syndrome-associated coronavirus. **Journal of Virological Methods**, v. 126, p. 171-177, 2005a.

WANG, Y.; WU, X.; WANG, Y.; LI, B.; ZHOU, H.; YUAN, G.; FU, Y.; LUO, Y. Low Stability of Nucleocapsid Protein in SARS Virus. **Biochemistry**, v. 43, n. 34, p. 11103-11108, 2004.

WANG, Y.; XUE, Q. The implications of COVID-19 in the ambient environment and psychological conditions. **NanoImpact**, v. 21, p. 1-18, 2021.

YEO, C.; KAUSHAL, S.; YEO, D. Enteric involvement of coronaviruses: is faecal–oral transmission of SARS-CoV-2 possible? **The Lancet Gastroenterology and Hepatology**, v. 5, n. 4, p.335-337, 2020.

YE, Y.; ELLENBERG, R.; GRAHAM, K.; WIGGINTON, K. Survivability, Partitioning, and Recovery of Enveloped Viruses in Untreated Municipal Wastewater. **Environmental Science and Technology**, v. 50, n. 10, p.5077-5085, 2016.

ZHANG, D.; LING, H.; HUANG, X.; LI, J.; LI, W.; YI, C.; ZHANG, T.; JIANG, Y.; HE, Y.; DENG, S.; ZHANG, X.; WANG, X.; LIU, Y.; LI, G.; QU, J. Potential spreading risks and disinfection challenges of medical wastewater by the presence of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) viral RNA in septic tanks of Fangcang Hospital. **Science of the Total Environment**, v. 741, p.1-5, 2020.

ZHAN, S.; YANG, Y.; SHEN, Z.; SHAN, J.; LI, Y.; YANG, S.; ZHU, D. Efficient removal of pathogenic bacteria and viruses by multifunctional amine-modified magnetic nanoparticles. **Journal of Hazardous Materials**, v. 274, p. 115-123, 2014.