SISPRED 2023
XV SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS
BOAS PRÁTICAS, INOVAÇÃO, DESEMPENHO E SUSTENTABILIDADE
19 E 20 DE OUTUBRO DE 2023 - JOINVILLE - SC

ANÁLISE DO POTENCIAL DE DISPERSÃO DE SARS-COV-2 POR MEIO DE AEROSSÓIS DE BACIAS SANITÁRIAS

Analysis of the dispersion potencial of SARS-CoV-2 through aerosols from toilets

Ludmila Souza Vieira [1]; Lúcia Helena de Oliveira[2]; Fernando Akira Kurokawa [3]

Recebido em 11 de junho de 2023, aprovado em 22 de julho de 2023, publicado em 19 de outubro de 2023

Palavras-chave:

Fluidodinâmica computacional

SARS-CoV-2

Bacia sanitária

Keywords:

Computational fluid dynamics

SARS-CoV-2

Toilet

RESUMO: A pandemia da COVID-19, causada pelo vírus SARS-CoV-2, provocou profundas transformações e desafios à ciência e às relações sociais. Embora os primeiros estudos sobre o modo de transmissão da doença apontassem que ela ocorra por meio de gotículas e secreções respiratórias, pesquisadores passaram a levantar a hipótese de que a infecção também poderia ocorrer por via fecal-oral. Evidências da presença do SARS-CoV-2 no esgoto residual recolhido de ambientes cujos usuários foram diagnosticados com a COVID-19 surgiram, especialmente em sanitários de uso público e de locais de assistência à saúde. Esses locais são considerados críticos pelo potencial de disseminação da doença, principalmente devido à dinâmica do acionamento da descarga. Isso se deve ao fato da descarga ser capaz de provocar a suspensão de partículas de aerossóis e gotículas de água que podem conter esse agente infeccioso. Assim, este trabalho analisa o potencial de dispersão do SARS-CoV-2, por meio de bacias sanitárias, empregando os conceitos de fluidodinâmica computacional (CFD). Adota-se um modelo simplificado para representar a geometria de uma bacia sanitária convencional em que foi observado o comportamento do fluxo multifásico para um modelo de turbulência k-ε. Os resultados preliminares indicam a dispersão de aerossóis até a borda da bacia sanitária.

ABSTRACT: The COVID-19 pandemic, caused by the SARS-CoV-2 virus, caused transformations and challenges to science and social relations. Although the first studies on the mode of transmission of the disease indicated that it occurs through droplets and respiratory secretions, researchers began to hypothesize that the infection could also occur through the faecal-oral route. Evidence of the presence of SARS-CoV-2 in wastewater collected from environments whose users have been diagnosed with COVID-19 has emerged, especially in public toilets and healthcare facilities. These locations are considered critical for the potential spread of the disease, mainly due to the dynamics of flushing. This is due to the fact that flushing is capable of causing the suspension of aerosol particles and water droplets that may contain this infectious agent. Thus, this paper analyzes the potential of dispersion of SARS-CoV-2, through toilet flushing, employing the concepts of computational fluid dynamics (CFD). A simplified model is adopted to represent the geometry of a conventional toilet basin in which multiphase flow behaviour has been observed for a k-ε turbulence model. Preliminary results indicate the dispersion of aerosols to the edge of the toilet.

CONTATO DOS AUTORES:

[1] **VIEIRA, Ludmila Souza**: Arquiteta e Urbanista, Mestranda no Programa de Inovação na Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), ludmila.vieira@usp.
[2] **OLIVEIRA, Lúcia Helena de**: Engenheira Civil, Doutora em Ciências, Professora Associada do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), lucia.helena@usp.br.
[3] **KUROKAWA, Fernando Akira**: Bacharel em Matemática, Doutor em Ciências, Professor Associado do Departamento de Engenharia de Construção Civil da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), fernando.kurokawa@usp.br.

XV SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS (SISPRED 2023)

1 INTRODUÇÃO

Pandemias e emergências de saúde pública não são fenômenos raros para a humanidade e desafiam a ciência ao longo do tempo. Historicamente, infecções em larga escala provocaram inúmeras mortes ao redor do mundo, além de perdas financeiras incalculáveis.

Esses tipos de eventos são notoriamente difíceis de estudar, em parte, devido à sua natureza inerentemente transitória e repentina, dificultando o teste de hipóteses e a determinação de estratégias de mitigação verdadeiramente bem-sucedidas (BOUROUIBA, 2021).

Embora os primeiros estudos sobre o modo de transmissão da COVID-19 indicassem a sua ocorrência por meio de gotículas e secreções respiratórias, pesquisadores passaram a levantar a hipótese de que a infecção também poderia ocorrer por via fecal-oral. A suspeita sobre esse novo meio de contaminação começou no início de 2020, após um indivíduo, nos EUA, se apresentar a uma clínica com histórico de náuseas e vômitos por dois dias, além da queixa comum de tosse seca persistente, demonstrando que o vírus poderia estar presente também no sistema gastrointestinal do paciente (HOLSHUE, 2020)

Ressalta-se que um estudo “in vitro” de Wang (2005), identificou a presença do SARS-CoV em água de torneira, sem adição de cloro, em efluentes de hospitais e em esgoto doméstico, verificando que a sua sobrevivência nesses ambientes poderia ser de até dois dias, e a permanência em fezes e em urina de, respectivamente, 3 e 17 dias. Assim, considerando a grande semelhança entre os dois coronavírus, o SARS-CoV e o SARS-CoV-2, verifica-se a hipótese de que ambos tenham o mesmo comportamento no meio.

Um estudo de Weidhaas (2021), relacionou a presença do SARS-CoV-2 no esgoto residual recolhido de áreas cujos usuários foram diagnosticados com a COVID-19, corroborando com a reflexão de que o vírus estaria presente nos aparelhos sanitários.

Desta forma, os banheiros, especialmente os de uso público e de locais de assistência à saúde, como hospitais e ambulatórios, seriam locais críticos pelo enorme potencial de disseminação da doença.

A preocupação se torna ainda maior devido à dinâmica do acionamento da descarga na bacia sanitária, já que a força da água em turbilhão é capaz de provocar a suspensão de partículas de aerossóis que poderiam conter o agente infeccioso.

Surtos da COVID-19 relacionados ao transporte aéreo de aerossóis contendo o coronavírus, em edifícios habitacionais, foram observados em Hong Kong e Guangzhou (WANG et al., 2022).

Para analisar a dinâmica da produção de bioaerossóis, Liu et al. (2020) realizaram uma simulação utilizando como metodologia a dinâmica computacional de fluidos (CFD) e demonstraram que, durante a descarga da bacia sanitária, pode ocorrer o transporte massivo e ascendente de partículas de aerossol, supostamente infectadas com o SARS-CoV-2.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho é analisar o potencial de dispersão do SARS-CoV-2 por meio de aerossóis de bacias sanitárias com o emprego dos conceitos de fluidodinâmica computacional (CFD).

2 MÉTODO NUMÉRICO

É possível simular qualquer escoamento em canais, tubulações e ao redor de um corpo, seja ele rígido ou móvel, por meio do processamento das equações que regem a dinâmica dos fluidos de maneira rápida, proporcionando resultados altamente precisos, com uma margem de erro minimizada e, ainda, simulando cenários fidedignos com a realidade (KUROKAWA, 2019).

Apesar das grandes vantagens da técnica CFD, Kurokawa (2019) também ressalta que existem situações muito complexas de serem modeladas como, por exemplo, o fenômeno da turbulência. McDonough (2007), reitera que a maioria dos escoamentos de fluidos encontrados na prática de engenharia são turbulentos e afirma que seu estudo e compreensão é “um dos problemas mais intrigantes, frustrantes e importantes da física clássica”.

Assumindo-se a hipótese de o escoamento ser incompressível, as equações necessárias para resolver problemas de escoamento de fluidos newtonianos e isotérmicos são as equações de conservação de massa e quantidade de movimento, dadas respectivamente, pelas Equações 1 e 2.

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \qquad \text{(Eq. 1)}$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \nabla(\mathbf{u}\mathbf{u}) = \frac{1}{\rho}\nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u} + F \qquad \text{(Eq. 2)}$$

em que, $\mathbf{u}$ é o vetor velocidade, t é o tempo, ρ é a densidade do fluido, p é a pressão, ν o coeficiente de viscosidade e, F representa as forças externas.

Optou-se, neste artigo, por utilizar a ferramenta de simulação computacional denominada OpenFOAM, em que as equações governantes são resolvidas numericamente no solver do software. A escolha deste software representa uma alternativa de baixo-custo, sobretudo ao levar em conta a sua disponibilidade, em código aberto.

Na ferramenta OpenFOAM estão disponíveis vários modelos de turbulência do tipo RANS (Reynolds Average Navier Stokes) e LES (Large Eddy Simulation). Estes modelos abrangem um conjunto relativamente grande de problemas de escoamento que incluem variáveis dependentes do tempo, interação de fluido-estrutura e transferência de calor.

O modelo de turbulência adotado para realizar as simulações foi o k-ε Padrão (LAUNDER; SPALDING, 1974). Esse modelo é semi-empíricos baseados na modelagem das equações de transporte da energia cinética turbulenta (k) e na taxa de dissipação de energia (ε) dadas respectivamente, pelas Equações 3 e 4.

$$\frac{\partial \kappa}{\partial t} + \nabla \cdot (\kappa \mathbf{u}) = \nabla \left(\left(\mu + \frac{\nu_t}{\sigma_\kappa} \right) \nabla \kappa \right) + P - \varepsilon \quad \text{(Eq. 3)}$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \nabla \cdot (\varepsilon \mathbf{u}) = \nabla \left(\left(\mu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right) + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{\kappa} P - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{\kappa} \quad \text{(Eq. 4)}$$

em que P é o termo de produção de energia cinética turbulenta média, σ_κ e σ_ε são os coeficientes de difusão turbulentos, e $C_{1\varepsilon}$e $C_{2\varepsilon}$ são constantes empíricas. A viscosidade turbulenta, ν_t é calculada pela Equação 5.

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\epsilon} \quad \text{(Eq. 5)}$$

em que C_μ também é uma constante empírica. As demais constantes são obtidas a partir da correlação de dados experimentais de diversos escoamentos turbulentos, sendo dadas por: $C_\mu = 0.09$, $C_{1\varepsilon} = 1.44$, $C_{2\varepsilon} = 1.92$, $\sigma_\kappa = 1.0$ e $\sigma_\varepsilon = 1.3$.

As equações diferenciais de (1) a (4), juntamente com as condições de contorno, são resolvidas numericamente no ambiente *OpenFOAM* usando o método dos volumes finitos (MVF), em que o domínio de interesse é subdividido em um número finito de partes menores, denominadas volumes de controle, e as grandezas de interesse são calculadas de forma aproximada em cada um desses volumes. A solução resultante satisfaz a conservação de quantidades como massa, quantidade de movimento, energia em qualquer volume de controle finito.

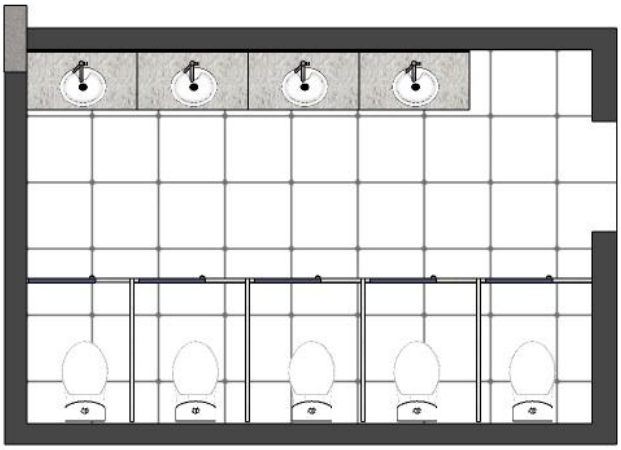
O método de cálculo da solução numérica empregado pela ferramenta é o PISO (Pressure-Implicit with Splitting of Operators) (ISSA, 1986). No entanto, foi realizado uma modificação no solver da ferramenta (pisoFoam) para o cálculo da solução numérica. O objetivo foi de alterar o passo de tempo on-the-fly a partir de condicionantes de estabilidade e convergência, ou seja, reduzir o número de iterações com o ajuste automático do passo de tempo durante o processamento condicionado pela análise do número de Courant (COURANT *et al*., 1967).

O esquema de interpolação adotado para discretização das derivadas temporais de 1ª ordem foi Euler Implícito e, para a discretização dos termos difusivos e advectivos foi adotado o esquema diferenças centrais. No caso da solução do sistema algébrico da variável pressão, foi utilizado o método iterativo *Geometric-algebraic multi-grid* (GAMG) com amortecedor Gauss-Seidel.

3 METODOLOGIA

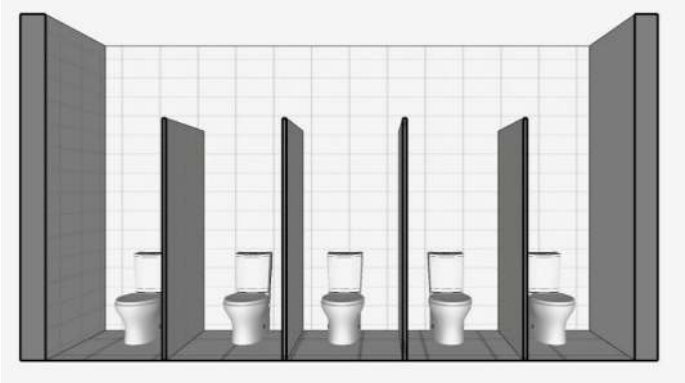
O campo de análise desta pesquisa são banheiros públicos, tendo como elemento-chave bacia sanitária. Na Figura 1 está apresentado um sanitário público e na Figura 2, uma elevação dos boxes das bacias sanitárias.

Figura 1 - Planta de um sanitário público



Fonte: Vieira (2022)

Figura 2 - Vista dos boxes das bacias sanitárias



Fonte: Vieira (2022)

Considera-se que este banheiro esteja localizado na cidade de São Paulo, onde a aceleração gravitacional é de 9,81 m/s² e a temperatura do ar foi assumida de 27 graus Celsius.

O modelo de referência de bacia sanitária adotado possui volume de descarga nominal (VDN) de 6 litros. A água entra na bacia lateralmente, produzindo um fluxo tipo vórtice, potencializando a descarga de resíduos sólidos. É de uma marca consolidada no mercado, com sifão oculto, sendo muito utilizada em estabelecimentos públicos. Nas Figuras 3 e 4 estão ilustradas as vistas e as seções transversal e longitudinal, respectivamente.

Figura 3 - Vistas da bacia sanitária



Fonte: Vieira (2022)

Figura 4 - Seções da bacia sanitária

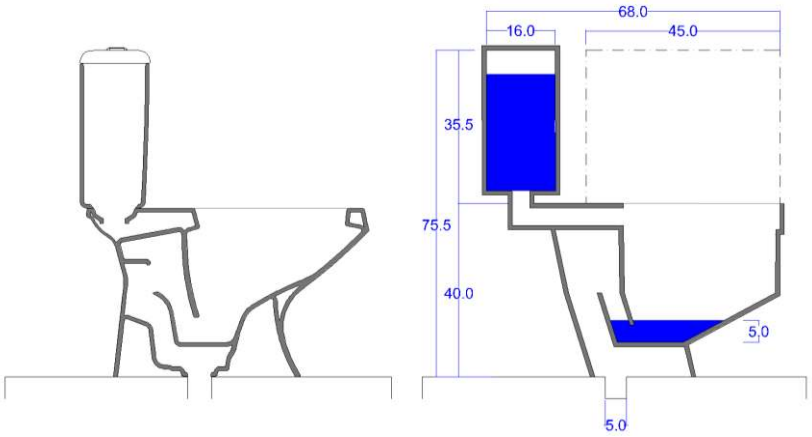


Fonte: Vieira (2022)

Partindo deste referencial de bacia sanitária, Figura 5 (a), para a validação dos parâmetros e das condições da simulação computacional, adotou-se um modelo geométrico simplificado de bacia sanitária, conforme ilustrado na Figura 5 (b), sendo que a região delimitada pela linha tracejada corresponde a área em que avalia-se a possibilidade de dispersão de aerossóis, após o acionamento da descarga.

Figura 5 - Bacia original (a) e bacia simplificada (b)

(a) (b)



Fonte: Vieira (2022)

Com relação aos recursos computacionais, foram utilizados para validação do modelo:

- Notebook com processador Intel Core i5-7200U e função Turbo Boost, placa gráfica NVIDIA GeForce 940MX com 2GB de RAM dedicada e memória 8GB DDR4;
- Versão do software OpenFOAM-v2106, de junho de 2021, instalada em uma máquina virtual com sistema operacional Linux (Ubuntu); e
- Para a etapa de pós-processamento, utilizou-se o software Paraview (que já vem acoplado no pacote OpenFOAM), na versão 5.4.1., que permite a visualização interativa dos resultados.

Simular fluxos multifásicos também não é uma tarefa fácil. A natureza complexa dos fluxos multifásicos se deve à natureza transitória dos fluxos; à existência de interfaces que mudam dinamicamente; às descontinuidades; às interações de estruturas de pequena escala tais

como bolhas e partículas; às interações partícula-partícula; à transferência de massa e mudança de fase; à turbulência; dentre outros fatores (BERLEMONT, 1995).

Neste estudo, para avaliar a interface entre as duas fases é utilizado o Método de Volume de Fluido (Volume of Fluid - VOF), desenvolvido por Hirt e Nichols (1981), em que as fases de um sistema multifásico são matematicamente tratadas como contínuas e interpenetrantes, na qual o volume de cada fase não pode ocupar o volume de outra fase, introduzindo, assim, o conceito de fração volumétrica de fases (α – alpha), utilizando uma função indicadora escalar, que varia de zero (sem material) a um (completamente preenchido com material), conforme a seguir:

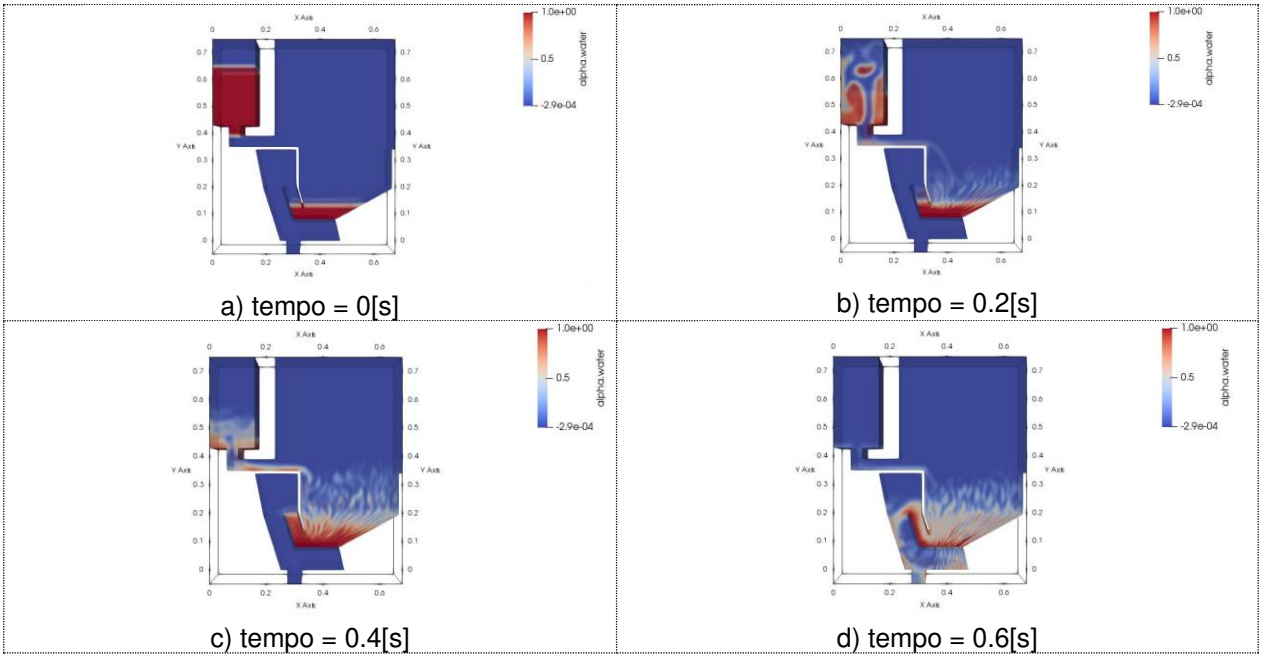
αq =0: sem fluido;
0 > αq > 1 interface; e
αq =1 com fluido.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Considera-se, para esta simulação computacional, a análise de um sistema multifásico, já que se verifica a presença de duas fases: água em estado líquido e o ar. No modelo não é considerada a presença de sólidos.

A solução do sistema de equações composto das equações da fração volumétrica de cada fase combinadas a uma única equação da quantidade de movimento, são todas integradas em cada célula da malha do modelo. Utilizando recursos computacionais convencionais, a malha deste modelo foi gerada com refinamento de aproximadamente 67.000 células. Como apresentado na Figura 6, foram visualizados os seguintes comportamentos dos fluidos para cada um dos tempos da simulação identificados a seguir.

Figura 6 – Resultados visualizados no Paraview



Na Figura 6 (c), observa-se a presença de aerossóis até o nível da borda da bacia sanitária. Ressalta-se que o estudo está em sua fase inicial e que na próxima etapa serão propostos

outros tipos de escoamento propiciados pelas descargas nas bacias sanitárias para analisar se os aerossóis vão além da borda da bacia sanitária.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando o resultado da simulação, embora tenha sido adotada uma geometria simplificada e uma malha grosseira, conclui-se que, após o acionamento da descarga de bacias sanitárias, existe a possibilidade de suspensão de aerossóis além dos limites do assento da bacia sanitária, situação que pode representar novo potencial de disseminação de doenças por meio de aerossóis.

Assim, se houver SARS-Cov-2 presentes na bacia sanitária pode-se afirmar que há um grande potencial de disseminar a Covid-19 nos usuários do sanitário.

REFERÊNCIAS

BERLEMONT, Alain; GRANCHER, M. S.; GOUESBET, Gérard. Heat and mass transfer coupling between vaporizing droplets and turbulence using a Lagrangian approach. **International journal of heat and mass transfer**, v. 38, n. 16, p. 3023-3034, 1995.

BOUROUIBA, L. The fluid dynamics of disease transmission. **Annual Review of Fluid Mechanics**, v. 53, p. 473-508, 2021.

COURANT, R..; FRIEDRICHS K.; LEWY, H. On the partial differential equations of mathematical physics. **IBM Journal Research and Development**, v.11, p. 215-234, 1967.

HIRT, Cyril W.; NICHOLS, Billy D. Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. **Journal of computational physics**, v. 39, n. 1, p. 201-225, 1981.

HOLSHUE, Michelle L. et al. First case of 2019 novel coronavirus in the United States. **New England Journal of Medicine**, 2020.

ISSA, R. I. Solution of the Implicitly Discretised Fluid Flow Equations by Operator-Splitting. J. **Comput. Phys.**, v. 62, p. 40–65, 1986.

KUROKAWA, F.A. Contribuições das investigações de técnicas numéricas para o desenvolvimento de modelagens em CFD para problemas de engenharia civil. 2019. **Tese de Livre Docência.** Universidade de São Paulo.

LAUNDER, Brian Edward; SPALDING, Dudley Brian. The numerical computation of turbulent flows, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering. 1974. p. 269-289.

LIU, Yuan et al. Aerodynamic analysis of SARS-CoV-2 in two Wuhan hospitals. **Nature**, v. 582, n. 7813, p. 557-560, 2020.

MCDONOUGH, J.M. Introductory lectures on turbulence: physics, mathematics and modeling. 2007.

WANG, Qun et al. Aerosol transmission of SARS-CoV-2 due to the chimney effect in two high-rise housing drainage stacks. **Journal of hazardous materials**, v. 421, p. 126799, 2022.

WANG, Xin-Wei et al. Concentration and detection of SARS coronavirus in sewage from Xiao Tang Shan Hospital and the 309th Hospital. **Journal of virological methods**, v. 128, n. 1-2, p. 156-161, 2005.

WEIDHAAS, Jennifer et al. Correlation of SARS-CoV-2 RNA in wastewater with COVID-19 disease burden in sewersheds. **Science of the Total Environment**, v. 775, p. 145790, 2021.