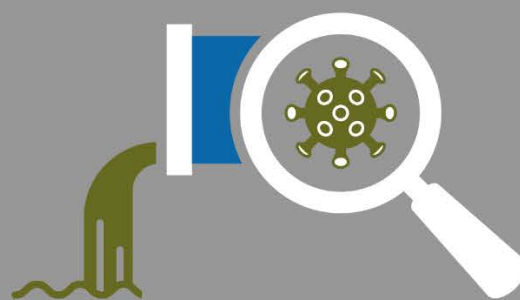


BOLETIM TEMÁTICO Nº 6

Monitoramento do SARS-CoV-2 em águas superficiais urbanas de Belo Horizonte como ferramenta epidemiológica para populações desprovidas de coleta e tratamento de esgotos



MONITORAMENTO
COVID ESGOTOS



Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia – INCT ETEs Sustentáveis

etes-sustentaveis.org

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA

www.ana.gov.br

Companhia de Saneamento de Minas Gerais – COPASA

www.copasa.com.br

Secretaria de Estado da Saúde de Minas Gerais – SES

www.saude.mg.gov.br

Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM

www.igam.mg.gov.br

Equipe Técnica

ANA

Supervisão do Projeto

Flávio Tröger

Sérgio Ayrimoraes

Equipe Técnica

Carlos Perdigão

Diana Leite

Marcus Fuckner

Raylton Alves

Thamiris Lima

Thiago Fontenelle

INCT ETEs Sustentáveis

Coordenação Geral

Carlos Chernicharo

Coordenação Executiva

Juliana Calábria

Cesar Mota

Equipe Técnica

Alyne Duarte

Andrés Felipe Torres

Ayana Lemos

Bernardo de Lima

Bruna Coelho

Gabriel Tadeu

Izabel Chiodi

Lariza Azevedo

Lívia Lobato

Lucas Chamhum

Lucas Vassale

Matheus Pascoal

Rafael Pessoa

Thiago Bressani

Thiago Morandi

Vera Tainá Mota

Equipe de Laboratório

Cíntia Leal

Deborah Leroy

Elayne Machado

Luyara Fernandes

Maria Fernanda Espinosa

Thiago Leão

COPASA

Supervisão do Projeto

Marcus Tullius

Equipe Técnica

David Bichara

Jorge Luiz Borges

Gilberto Gomes

Ronaldo de Melo

Sérgio Neves

Solange da Costa

SES

Supervisão do Projeto

Filipe Laguardia

Equipe Técnica

Beatriz Carvalho

Dario Ramalho

SEMAD

Supervisão do Projeto

Marília Melo

Equipe Técnica

Katiane Cristina Almeida

Valquíria Moreira

IGAM

Marcelo da Fonseca

Equipe Editorial

Supervisão editorial

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

Elaboração dos originais

INCT ETEs Sustentáveis

Revisão dos originais

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

Projeto gráfico, editoração e capa

Monumenta Comunicação e Estratégias Sociais

Mapas temáticos

INCT ETEs Sustentáveis

O projeto piloto: *Deteção e quantificação do novo coronavírus em amostras de esgoto nas cidades de Belo Horizonte e Contagem - Monitoramento COVID Esgotos* - é coordenado e executado pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Estações de Tratamento de Esgotos Sustentáveis (INCT ETEs Sustentáveis) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), com o apoio técnico e financeiro da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e apoio técnico da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), da

Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais (SES) e do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). Gestão Financeira: Fundação Christiano Ottoni.

As ilustrações, tabelas e gráficos sem indicação da fonte foram elaborados pelo INCT ETEs Sustentáveis. Todos os direitos reservados. É permitida a reprodução deste texto e dos dados nele contidos, desde que citada a fonte. Reproduções para fins comerciais são proibidas. Disponível também em: <http://www.ana.gov.br>.

APRESENTAÇÃO

O plano de comunicação estabelecido no âmbito do Projeto-piloto: Detecção e quantificação do novo coronavírus em amostras de esgoto nas cidades de Belo Horizonte e Contagem, previu além de outras iniciativas, a publicação de dois tipos de Boletins, os de Acompanhamento e os Temáticos. Enquanto os Boletins de Acompanhamento têm por objetivo a divulgação regular dos resultados de monitoramento do SARS-CoV-2 nas amostras de esgoto coletadas em diferentes pontos do sistema de esgotamento sanitário de Belo Horizonte e parte de Contagem, os Boletins Temáticos buscam abordar, em maior profundidade, outros aspectos do estudo.

O Projeto-Piloto é uma iniciativa conjunta da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Estações Sustentáveis de Tratamento de Esgotos (INCT ETEs Sustentáveis – UFMG), em parceria com a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (Copasa), o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e a Secretaria de Estado de Saúde de Minas Gerais (SES).

Este **Boletim Temático nº 6** tem o intuito de monitorar o SARS-CoV-2 em águas superficiais urbanas de Belo Horizonte como ferramenta epidemiológica para populações desprovidas de coleta e tratamento de esgotos nas sub-bacias dos ribeirões Onça e Arrudas durante as semanas epidemiológicas 32 a 48 (agosto a novembro) de 2020.

CONTEXTUALIZAÇÃO

A vigilância ambiental de patógenos de interesse realizada via monitoramento de esgotos domésticos é uma ferramenta de saúde pública conhecida e recomendada pela Organização Mundial de Saúde (OMS, 2020). No contexto da pandemia COVID-19, a vigilância ambiental do SARS-CoV-2 por meio da quantificação do material genético do SARS-CoV-2 em esgoto doméstico tem sido uma importante ferramenta epidemiológica no Brasil e no mundo, que tem gerado informações complementares aos testes clínicos, incluindo a identificação de tendências na disseminação e circulação do vírus na população, podendo ter papel fundamental nas decisões de controle e enfrentamento da pandemia. O monitoramento do esgoto doméstico pode ser, portanto, considerado um elemento chave para o conhecimento da condição de saúde da população atendida pela rede de coleta e tratamento. O uso do monitoramento do esgoto para tal fim denomina-se vigilância epidemiológica baseada em esgotos (em inglês: Wastewater-Based Epidemiology, ou WBE).

Entretanto, na maioria das cidades de países em desenvolvimento, incluindo Belo Horizonte, as redes de coleta e tratamento de esgotos não atendem 100% da população. Segundo o diagnóstico realizado em 2019 pelo Ministério do Desenvolvimento brasileiro (SNIS, 2020), estima-se que apenas 49% do total dos esgotos domésticos gerados no território brasileiro é tratado, o restante é usualmente lançado

em corpos d'água de maneira difusa, sem nenhum tipo de tratamento. A ausência de rede coletora e interceptores capazes de receber todo o esgoto doméstico de uma determinada população, além de gerar sérios riscos à saúde pública, também gera desafios para a vigilância epidemiológica baseada em esgotos, principalmente com relação à representatividade da população atendida. Portanto, em cidades com deficiências nas coberturas de coleta e tratamento de esgoto, o monitoramento das águas superficiais locais pode gerar informações valiosas sobre a circulação do SARS-CoV-2 em populações desprovidas de rede e tratamento de esgoto. A grande maioria das pessoas desprovidas desses serviços essenciais vive em condições de maior vulnerabilidade social, sanitária e ambiental, e têm, portanto, acesso reduzido aos serviços de cuidado da saúde, têm menor representatividade nos testes clínicos para COVID-19, vivem em domicílios com menor área e maior número de moradores e são usuários de serviços públicos de transporte. Todos esses fatores elevam expressivamente os riscos dessas pessoas de contrair a COVID-19.

O RNA do SARS-CoV-2 foi detectado em águas superficiais de bacias hidrográficas com baixa cobertura de tratamento de esgotos em São Paulo (RAZZOLINI *et al.*, 2021), Equador (GUERRERO-LATORRE *et al.*, 2020) e no México (ROSILES-GONZÁLEZ *et al.*, 2021), e em águas superficiais em locais com elevada cobertura de tratamento de esgotos, como na Itália (Rimoldi *et al.*, 2020). Em um estudo no Japão (HARAMOTO *et al.*, 2020), o SARS-CoV-2 não foi detectado em águas superficiais em local com elevada cobertura de rede e tratamento de esgoto. Ainda há poucos estudos disponíveis relacionados ao monitoramento do SARS-CoV-2 em águas superficiais.

É importante salientar que o presente Boletim não aborda questões relacionadas à possibilidade de transmissão da COVID-19 por águas contaminadas, seja via aerossóis ou rotas feco-orais. Este tema é relevante, tem sido discutido (HELLER, MOTA e GRECO, 2020) e continua sendo objeto de investigações. Porém, até o presente momento, não há nenhuma evidência de transmissão da COVID-19 por águas contaminadas. O presente estudo focou na quantificação do RNA do SARS-CoV-2 em águas superficiais, principalmente para fins de vigilância epidemiológica de populações desprovidas de rede e tratamento de esgoto.

É importante distinguir entre a detecção do RNA e do vírion do SARS-CoV-2. O RNA do vírus é seu material genético, que contém todas as informações necessárias para sua replicação. Porém, o RNA do vírus é incapaz de causar infecção. O vírion é a forma infectante do vírus (Figura 1A) e possui toda sua estrutura íntegra (envelope, capsídeo e material genético - RNA). Apesar do vírion ter tropismo pelo sistema respiratório, ele também pode infectar células do sistema digestivo. Por esse motivo, alguns estudos conseguiram isolar o vírion em fezes (XIAO *et al.*, 2020) e urina (SUN *et al.*, 2020) de pessoas infectadas e, a partir daí, levantou-se a possibilidade de transmissão via feco-oral. Entretanto, mesmo com o avançar da epidemia da COVID-19, até o presente momento, não existem registros do isolamento do vírion em matrizes ambientais como esgotos domésticos, águas superficiais ou subterrâneas (HAAS *et al.*, 2021). Essa ausência de trabalhos científicos pode ser um forte indicativo de que o vírion do SARS-CoV-2 quando eliminado via fezes, urina e secreções é rapidamente degradado, possivelmente pela presença de detergentes e desinfetantes presentes no esgoto doméstico. Isso significa que, provavelmente, o vírion se encontra na sua forma defectiva e/ou degradada (Fig 1) nessas matrizes, impossibilitando-o de causar infecção.

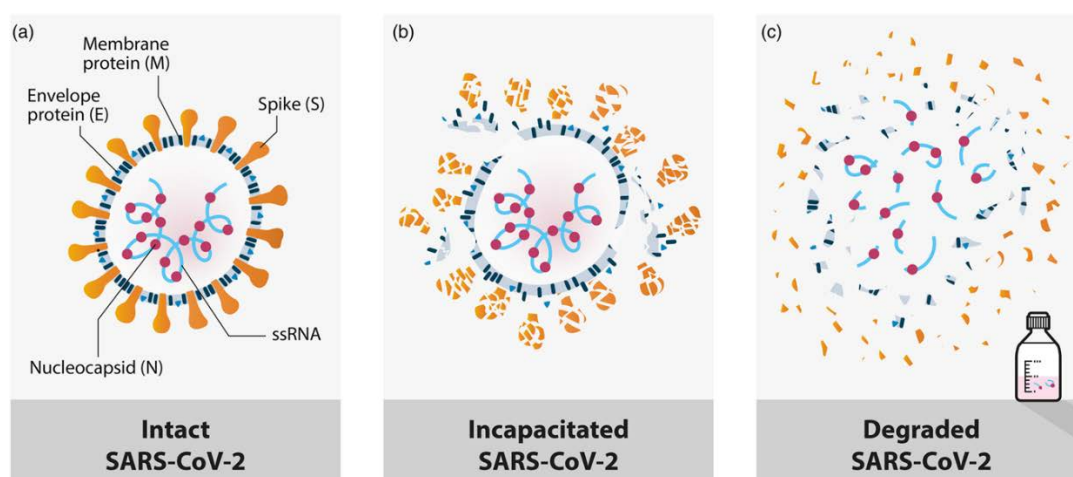


Figura 1 Formas estruturais do vírion (A), vírus defeituoso (B) e vírus degradado (C) Adaptado (HILL et al., 2021)

O presente estudo teve como base as seguintes perguntas norteadoras e informações complementares:

Tabela 1. Perguntas norteadoras e informações complementares que serviram de base para o presente estudo.

Perguntas norteadoras	Informações complementares
1) O RNA do SARS-CoV-2 pode ser detectado nas águas superficiais urbanas de Belo Horizonte durante a pandemia COVID-19?	Estima-se que aproximadamente 12% da população de Belo Horizonte lança seu esgoto nos córregos e rios da cidade sem nenhum tratamento (PMS-BH 2020-2023)
2) Qual é a contribuição das cargas de SARS-CoV-2 nos ribeirões e rios de Belo Horizonte advindas do descarte de esgotos tratados nas estações de tratamento e como essas cargas se comparam às cargas de SARS-CoV-2 já presentes nesses corpos hídricos (advindas do aporte de esgoto bruto de populações desprovidas de coleta e tratamento de esgoto)?	As ETEs de Belo Horizonte (ETE Arrudas e ETE Onça) não contam com unidades de tratamento projetadas e operadas especificamente para a remoção de SARS-CoV-2 e outros patógenos, sejam eles bacterianos ou virais. Porém, ambas ETEs podem atingir remoções passivas de partículas virais presentes no esgoto bruto
3) Qual é a contribuição das cargas de SARS-CoV-2 no Rio das Velhas advindas dos ribeirões Arrudas e Onça?	O Rio das Velhas é um dos mais importantes rios da região, fonte de água para abastecimento de milhões de pessoas (principalmente a montante da confluência com os ribeirões Arrudas e Onça), tributário do Rio São Francisco
4) Com base no monitoramento do SARS-CoV-2 em águas superficiais de Belo Horizonte, como foi a dinâmica epidemiológica da COVID-19 em populações desprovidas de rede e tratamento de esgoto comparada às populações que contam com ambos os serviços básicos de saneamento, avaliada com base no monitoramento do SARS-CoV-2 no esgoto afluente às ETEs de BH?	A grande maioria das pessoas desprovidas de coleta e tratamento de esgoto vive em condições de maior vulnerabilidade social, sanitária e ambiental, e têm, portanto, maior risco de contrair a COVID-19. Além disso, essas pessoas têm menor acesso a serviços de saúde e menor representatividade nos testes clínicos para COVID-19. O monitoramento do SARS-CoV-2 em águas superficiais pode gerar informações valiosas sobre a circulação do vírus em populações vulneráveis, que contribuem com esgoto bruto às águas superficiais

METODOLOGIA

1. Identificação dos pontos de amostragem

A cidade de Belo Horizonte está inserida na região do Alto Rio das Velhas e subdivida em quatro regiões fisiográficas: Onça, Isidoro, Arrudas e Velhas (Figura 2). Os pontos de amostragem de águas superficiais escolhidos para o monitoramento da população sem tratamento de esgoto estão representados no mapa da Figura 2. Na Tabela 2, apresenta-se a identificação e localização geográfica de cada ponto.

Tabela 2 Identificação e características dos pontos de amostragem contemplados no estudo

Identificação	Descrição	Latitude (S)	Longitude (W)
RV-1	Rio das Velhas, a montante da foz Ribeirão Arrudas	-19°53'22"	-43°49'48"
RA-M-ETE	Montante ETE Arrudas, ribeirão Arrudas	-19°54'19"	-43°43'11"
RA-J-ETE	Jusante ETE Arrudas, Ribeirão Arrudas próximo de sua foz no Rio das Velhas	-19°53'42"	-43°51'43"
RV-2	Rio das Velhas, a jusante da foz do Ribeirão Arrudas	-19°52'05"	-43°52'13"
RV-3	Rio das Velhas, a jusante da foz do Ribeirão do Onça	-19°46'14"	-43°52'02"
RO-M-ETE	Ribeirão do Onça, a montante da ETE Onça e a jusante da confluência com o córrego do Isidoro	-19°49'15"	-43°54'03"
RO-J-ETE	Ribeirão do Onça, a jusante da ETE Onça e próximo da foz do Ribeirão Onça no Rio das Velhas	-19°48'44"	-43°53'28"
CI-M-ETE	Córrego Isidoro, próximo à sua foz no Ribeirão Onça	-19°49'18"	-43°54'03"
RO-M-CI	Ribeirão do Onça, a montante da Confluência com o Córrego do Isidoro	-19°50'02"	-43°54'20"
A-ETE-A/ E-ETE-A	Afluente (esgoto bruto) e Efluente (esgoto tratado) da ETE Arrudas	-19°53'45"	-43°52'49"
A-ETE-O/ E-ETE-O	Afluente (esgoto bruto) e Efluente (esgoto tratado) da ETE Onça	-19°49'26"	-43°53'36"

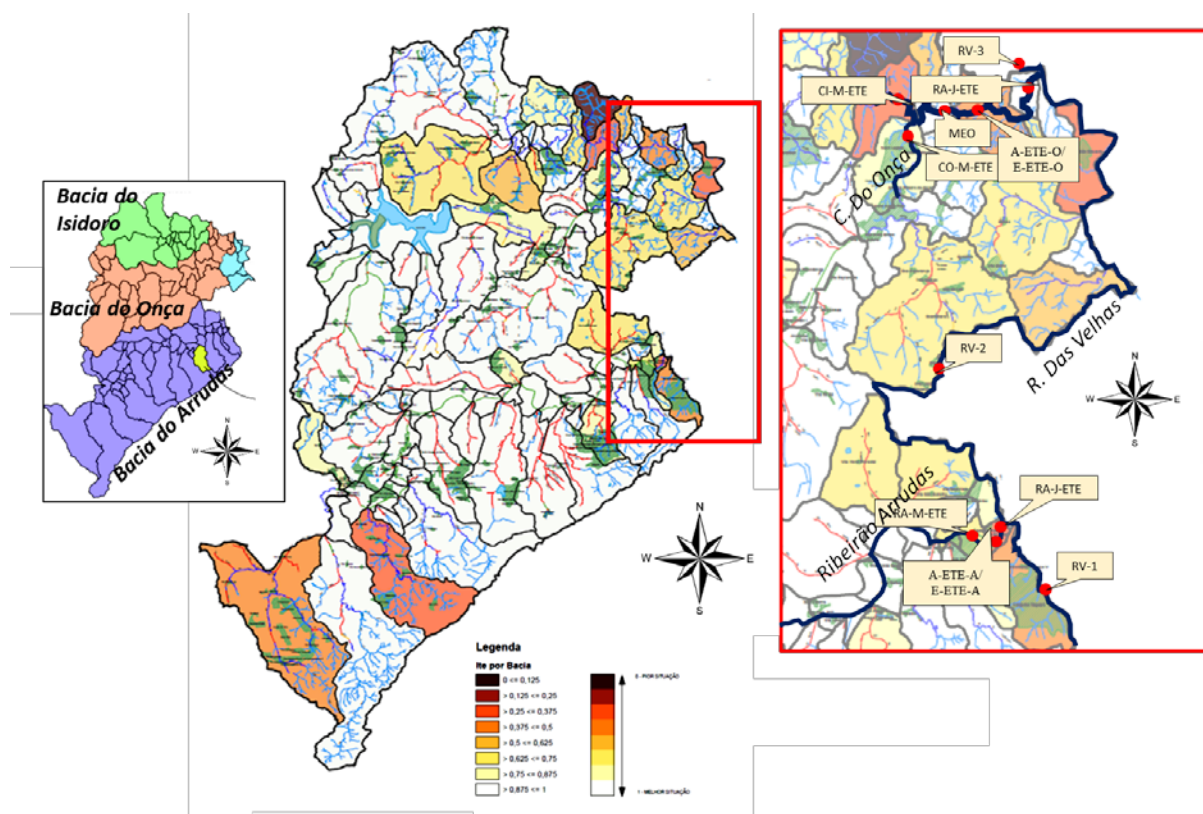


Figura 2 Identificação dos pontos de amostragem de águas superficiais.

2. Informações sobre atendimento por coleta de esgoto nas populações residentes nas sub-bacias monitoradas

Os dados de população total, área e população sem coleta de esgoto foram tomados a partir do Plano Municipal de Saneamento da Prefeitura de BH e são apresentados na Tabela 3. A Figura 3 apresenta o mapeamento do Índice de Tratamento de Esgoto nas diferentes sub-bacias de Belo Horizonte. A Tabela 4 apresenta as sub-bacias com baixo índice de tratamento de Esgoto (<0.7) apresenta as sub-bacias com baixo índice de tratamento de Esgoto (<0.7) segundo o PMS-BH 2020-2023.

Tabela 3. Informações sobre as populações de Belo Horizonte servidas e não servidas por coleta de esgoto nas diferentes sub-bacias monitoradas

Sub-bacia	Área (m ²)	População total (hab)	População sem coleta de esgoto (hab)	% População sem coleta de esgoto
Arrudas ⁽¹⁾	16.318	1.298.212	131.119	10,1%
Onça ⁽²⁾	10.215	730.102	67.169	9,2%
Isidoro ⁽³⁾	5.511	445.554	91.339	20,5%
R. das Velhas	963	38.202	13.715	35,9%
Total	33.007	2.512.070	303.342	12,1%

⁽¹⁾População de Belo Horizonte que contribui com esgoto para a ETE Arrudas: 1.160.488

⁽²⁾População de Belo Horizonte que contribui com esgoto para a ETE Onça: 1.084.779

⁽³⁾A população residente na bacia do Isidoro que tem serviço de coleta e tratamento de esgoto, tem seu esgoto tratado na ETE Onça. Portanto, a população total desprovida de coleta de esgoto na sub-bacia do Onça é estimada em 158.508 (13,5% da população total da sub-bacia)

Tabela 4. Sub-bacias com baixo índice de tratamento de Esgoto (<0.7) (PMS-BH, 2020-2023).

Subsistema	Sub-bacia	População residente na sub-bacia (hab)	ITE
Arrudas	Bonsucesso	50376	0.323
	Av. Andradas (Caetano Furquim)	1417	0.360
	Jatobá	168717	0.435
	Córrego Olaria (Taquaril)	21031	0.466
	Av. Andradas (Vera Cruz)	7975	0.637
	Itaituba	29725	0.652
	Santa Inês (R. Concei. Pará)	17777	0.656
Isidoro	Córrego do Sumidouro	1577	0.363
	Córrego dos Macacos	7638	0.014
	Embira	37589	0.520
	Córrego do Nado	123380	0.635
	Córrego do Caixeta	9036	0.695
Onça	Cór. J. Correia c/ Tamanduá	4999	0.448
	Córrego do Angu	292	0.510
	Gorduras (Av. Belmonte)	72328	0.640
	Cebola	397	0.656
Velhas	Conjunto Capitão Eduardo	4395	0.259
	Córrego do Espia	4851	0.511

3. Amostragem e processamento das amostras

O período amostral ocorreu entre agosto e novembro de 2020. As coletas de águas superficiais foram realizadas semanalmente nas segundas-feiras em quatro pontos na bacia Ribeirão Arrudas (MEA, JEA, RV-1 e RV-2). Nas quartas-feiras foram coletadas amostras de águas superficiais em seis pontos na bacia do Ribeirão Onça (CI-M-ETE, RO-M-CI, RO-M-ETE, RO-J-ETE, RV-2 e RV-3). As amostras de águas superficiais foram manualmente coletadas no período da manhã, de forma composta em 7 frascos de vidro âmbar de 1 L, totalizando um volume de 7 litros ao final da amostragem. A composição das amostras foi realizada tomando uma alíquota de 1 L a cada 30 minutos entre 9hrs e 12hrs. As amostras foram conservadas em gelo até seu processamento no Laboratório de Microbiologia do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais. A temperatura da água e o pH foram medidos *in loco*. As amostras de afluente (esgoto bruto, A-ETE-A e A-ETE-O) e efluente (esgoto tratado, E-ETE-A e E-ETE-O) das ETEs Arrudas e Onça foram monitoradas pelo Projeto Piloto, tomando amostras compostas em 24 h, utilizando amostradores automáticos.

No laboratório, as amostras foram submetidas à análise para detecção e quantificação do SARS-CoV-2 (utilizando a região alvo N1) por RT-qPCR, seguindo a metodologia descrita na nota técnica *Metodologia para concentração do novo coronavírus em amostras de água e esgoto por técnicas moleculares* (<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/acontece-na-ana/monitoramento-covid-esgotos/boletins-monitoramento-covid-esgotos/nota-tecnica-no-022020.pdf>)

4. Determinação das vazões dos corpos hídricos

As vazões dos corpos hídricos foram medidas em campo por equipe do Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM) em campanha realizada no mês de agosto de 2020. As vazões dos córregos e rios medidas em campo e as vazões medidas nas ETEs Arrudas e Onça (fornecidas pela COPASA) usadas para o cálculo das cargas virais são apresentadas nas Tabelas 5 e 6, respectivamente. Análise de dados

históricos de vazão coletados pela Prefeitura de Belo Horizonte revelou que as variações de vazão nos ribeirões Arrudas e Onça são muito baixas (<8%) entre os meses de agosto (mês em que foi realizada a campanha de medição de vazões em campo) e novembro (término do período de amostragem do presente estudo).

Tabela 5. Vazões (L/s) medidas em campo

Data	27/08/20	27/08/20	28/08/20	28/08/20	31/08/20	31/08/20
Ponto	RA-J-ETE	RV-1	RV-2	RV-3	CI-M-ETE	RO-J-ETE
Q (L/s)	3515	14948	15307	22357	856	5200

Tabela 6. Vazões (L/s) usadas para a estimativa das cargas virais

Semana epidemiológica	Data	A-ETE-A ⁽¹⁾	RA-J-ETE ⁽²⁾	RA-M-ETE ⁽³⁾	A-ETE-O ⁽¹⁾	RO-J-ETE ⁽⁴⁾	RO-M-ETE ⁽⁵⁾	CI-M-ETE	RO-M-CI ⁽⁶⁾	RV-1	RV-1	RV-1
33	10/08/2020	1904	3510	1606	1691	7050	5359	850	4509	11790	15300	22350
34	17/08/2020	1904	3510	1606	1691	7050	5359	850	4509	11790	15300	22350
35	24/08/2020	1894	3510	1616	1704	7050	5346	850	4496	11790	15300	22350
36	31/08/2020	2385	3510	1125	1713	7050	5337	850	4487	11790	15300	22350
37	07/09/2020	1899	3510	1611	1597	7050	5453	850	4603	11790	15300	22350
38	15/09/2020	2016	3510	1494	1718	7050	5332	850	4482	11790	15300	22350
39	21/09/2020	2020	3510	1490	1797	7050	5253	850	4403	11790	15300	22350
40	28/09/2020	1729	3510	1781	1795	7050	5255	850	4405	11790	15300	22350
41	05/10/2020	1819	3510	1691	1710	7050	5340	850	4490	11790	15300	22350
43	19/10/2020	1997	3510	1513	1701	7050	5349	850	4499	11790	15300	22350
45	03/11/2020	2202	3510	1309	1701	7050	5349	850	4499	11790	15300	22350
48	23/11/2020	1887	3510	1623	1701	7050	5349	850	4499	11790	15300	22350

⁽¹⁾ Vazão medida na ETE.

⁽²⁾ Usada a vazão medida em campo na campanha de agosto/2020.

⁽³⁾ Calculada como $Q_{RA-M-ETE-A} = 3510 - Q_{A-ETE-A}$.

⁽⁴⁾ Calculada como $Q_{RO-J-ETE} = Q_{RV-3} - Q_{RV-2}$.

⁽⁵⁾ Calculada como $Q_{RO-M-ETE} = Q_{RO-J-ETE} - Q_{A-ETE-O}$.

⁽⁶⁾ Calculada como $Q_{RO-M-CI} = Q_{RO-M-ETE} - Q_{CI-M-ETE}$.

5. Análise estatística dos resultados

Para a análise dos dados e comparação entre as concentrações de SARS-CoV-2 nos pontos de coleta foi realizado o teste de normalidade (Teste Shapiro-Wilk) a um nível de significância de 5%. Somente as medições nos pontos de coleta RA-M-ETE, RA-J-ETE, RV-1 e RV-3 apresentaram distribuição normal ($p > 0.05$), pelo qual foi aplicado um teste não paramétrico (H - Kruskal-Wallis) seguido de uma comparação por pares (Post-hoc de Dunn) para avaliar a existência de diferenças significativas ($p < 0.05$) entre os pontos de amostragem. As análises estatísticas foram realizadas utilizando a plataforma R (<https://www.r-project.org>).

RESULTADOS

1. Concentrações e cargas do SARS-CoV-2 no ribeirão Arrudas

Dentre as 12 amostras coletadas na bacia do Arrudas, os percentuais de amostras positivas para SARS-CoV-2 foram de 92% em RA-M-ETE (montante ETE Arrudas) e 75% em RA-J-ETE (jusante ETE Arrudas). O efluente da ETE Arrudas (E-ETE-A), monitorado pelo Projeto Piloto, apresentou 58% de amostras positivas durante as mesmas semanas.

As concentrações de SARS-CoV-2 detectadas em RA-M-ETE e RA-J-ETE apresentaram médias entre 0 (não detectado) e 30,8 cópias/mL (Figuras 4a, 4b) entre as semanas 33 e 48 de 2020, com diferenças significativas entre os pontos monitorados ($H=10,53$; $p=0,004$), entre os quais o ponto RA-M-ETE apresentou as maiores concentrações (teste Post-hoc de Dunn). Em relação às cargas virais (Figura 4c), o aporte de cargas de SARS-CoV-2 da população desprovida de rede e tratamento no ribeirão (RA-M-ETE) foi significativamente maior que as cargas de SARS-CoV-2 do efluente da ETE RA-J-ETE ($H=10,31$; $p=0,005$), salientando o importante papel da ETE na remoção de cargas de SARS-CoV-2, mesmo na ausência de unidades de tratamento projetadas e operadas para a remoção de patógenos.

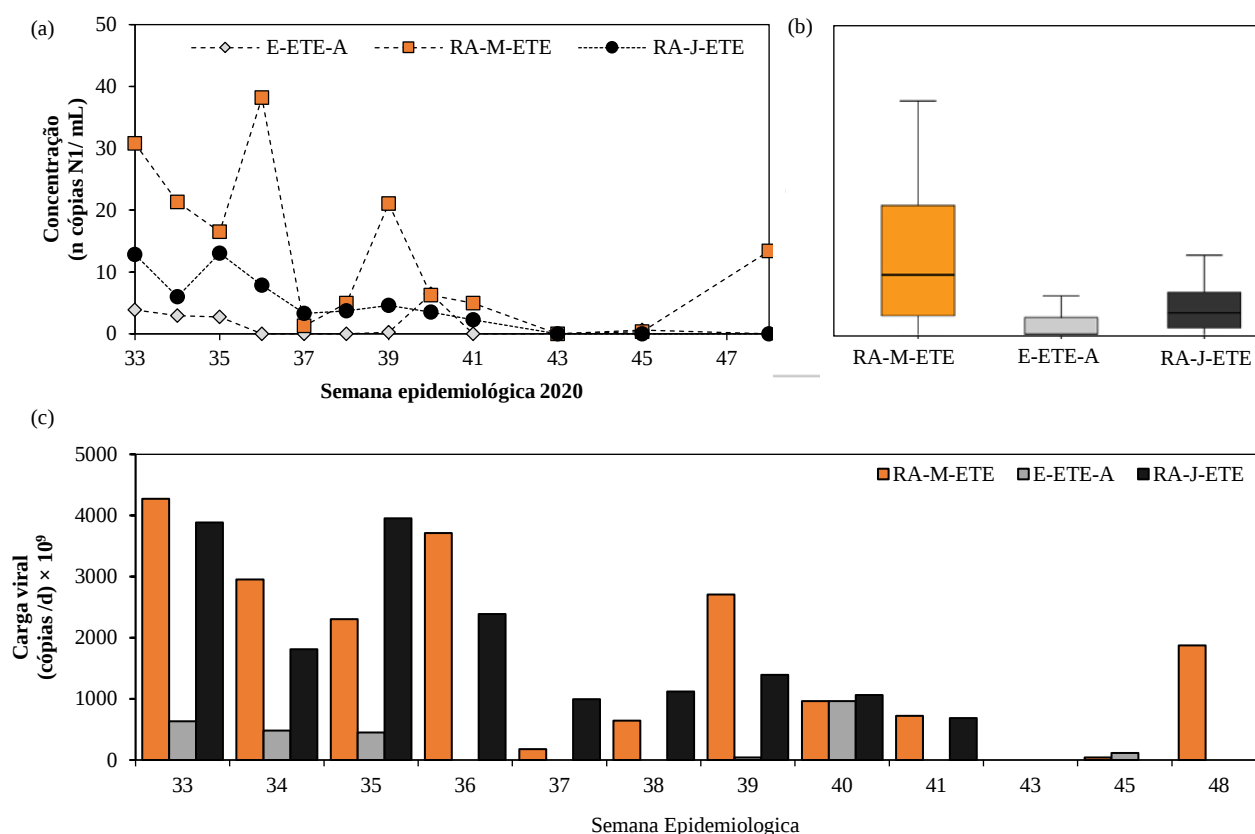


Figura 4 – (a) Série temporal e (b) Boxplots de concentrações do SARS-CoV-2 (cópias/mL) e (c) cargas virais medidas nos pontos de coleta localizados na sub-bacia do ribeirão Arrudas durante as semanas 32 e 48 de 2020

Durante todo o período de monitoramento, o Ribeirão Arrudas apresentou uma carga viral média de 1.7×10^{12} cópias/d no ponto a montante da ETE (RA-M-ETE), valor menor que a carga média medida no efluente da ETE Arrudas (1.4×10^{12} cópias/d, E-ETE-A) indicando que a população desprovida de coleta e tratamento de esgoto, apesar de representar somente 10% da população da sub-bacia do Arrudas, contribuiu com uma parte significativa da carga viral lançada ao Ribeirão Arrudas e ressaltando a importância de atingir uma maior cobertura de serviços de coleta e tratamento de esgoto para garantir uma melhor qualidade microbiológica de águas superficiais urbanas.

2. Concentrações e cargas do SARS-CoV-2 no ribeirão Onça

Os percentuais de amostras positivas para SARS-CoV-2 nos pontos à montante da ETE Onça foram de 83% no Ribeirão do Onça antes da confluência com o Córrego do Isidoro (RO-M-CI), 92% no C. do Isidoro (CI-M-ETE) e 83% no Ribeirão do Onça após a confluência com o Córrego do Isidoro (RO-M-ETE). Já no ponto a Jusante da ETE (RO-J-ETE), 83% das amostras testaram positivo, enquanto 100% das amostras do efluente da ETE Onça (E-ETE-O) testaram positivo durante o mesmo período. As concentrações detectadas nos diferentes pontos monitorados na sub-bacia do ribeirão Onça apresentaram médias entre 7 e 52 cópias/mL (Figura 5a e 5b). Não houve diferenças significativas nas concentrações determinadas para os pontos monitorados na bacia do Onça ($H = 6,81$; $p = 0,145$).

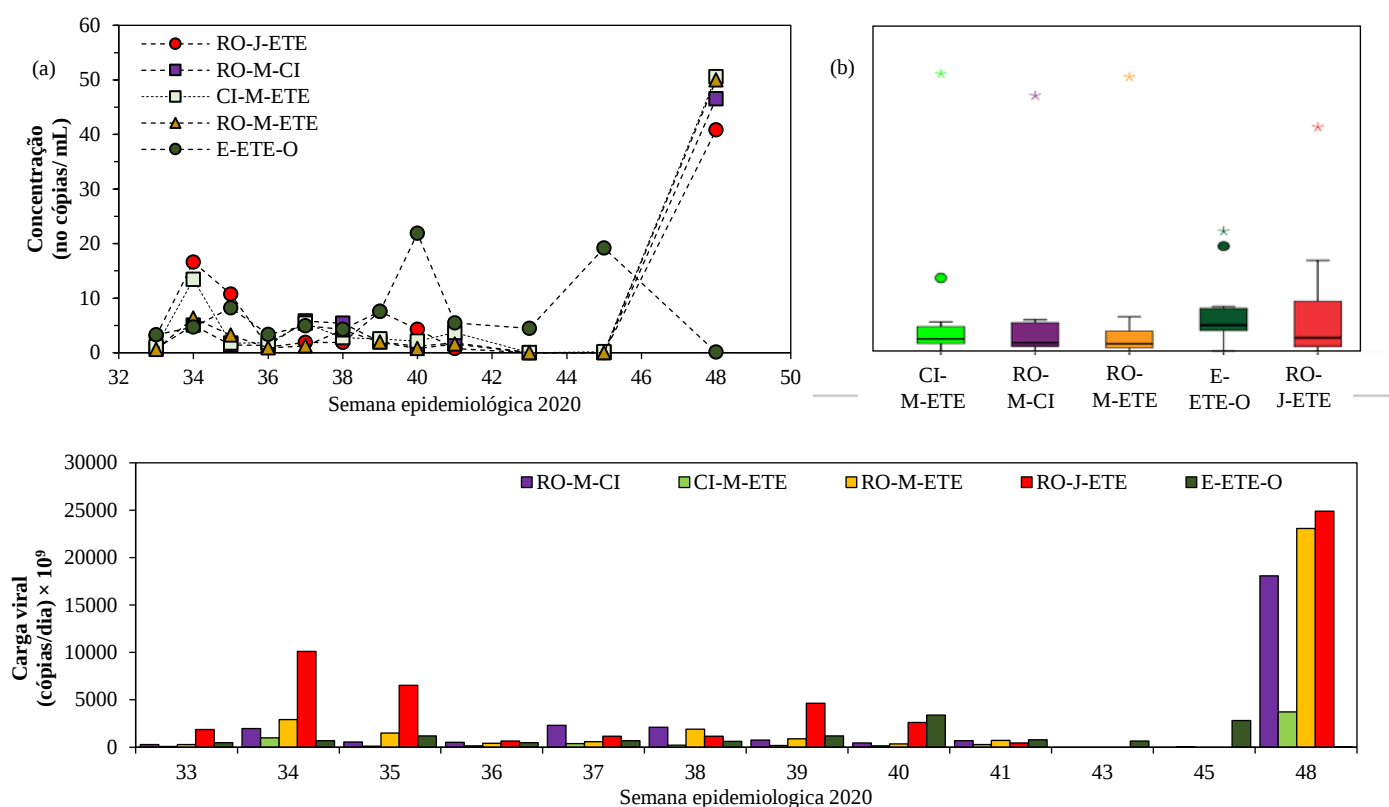


Figura 5. (a) Série temporal e **(b)** Boxplots de concentrações do SARS-CoV-2 (cópias/mL) medidas nos pontos de coleta na sub-bacia do ribeirão do Onça durante as semanas 32 e 48 de 2020. **(c)** Cargas de SARS-CoV-2 por semana epidemiológica

Em relação às cargas, não foram detectadas diferenças significativas entre as cargas no ponto de jusante do descarte de efluente tratado da ETE Onça (RO-J-ETE), no ponto imediatamente a montante da ETE Onça (RO-M-ETE) e nos pontos à montante no córrego do Isidoro (CI-M-ETE) e no Ribeirão do Onça antes da confluência com o Isidoro (RO-M-CI) ($H = 9,213$, $p = 0,055$). Isto indica que o

descarte de efluente tratado da ETE Onça não teve impacto significativo nas cargas de SARS-CoV-2 no Ribeirão Onça. A população desprovida de coleta e tratamento de esgoto, apesar de representar somente 13.5% da população total da sub-bacia do Onça, contribuiu com uma carga média de SARS-CoV-2 RNA de 2.7×10^{12} cópias/d medida em RO-M-ETE, valor maior em comparação ao efluente tratado da ETE Onça (E-ETE-O), que contribuiu em média com 1.1×10^{12} cópias/d (Figuras 5c e 5d).

3. Concentrações e cargas do SARS-CoV-2 no Rio das Velhas

A Figura 6 (a e b) apresenta os dados de concentração e carga para os pontos monitorados no Rio das Velhas durante o período compreendido entre as semanas 33 e 48 de 2020 (agosto até novembro de 2020). As concentrações de SARS-CoV-2 nos pontos RV-1, RV-2, RV-2o e RV-3 apresentaram médias entre 1 e 2 cópias/mL, que são valores muito menores do que aqueles observados nos ribeirões Arrudas e Onça. Isto destaca a capacidade de diluição do Rio das Velhas. Não houve diferenças significativas entre as concentrações medidas nos diferentes pontos de amostragem do rio das Velhas ($H=2,114$; $p=0,5357$). Os percentuais de amostras positivas nos pontos RV-1, RV-2, RV-2o e RV-3 foram de 67%, 67%, 75% e 67%, respectivamente. Todas as amostras que testaram negativo se concentraram entre as semanas 41 a 48, e principalmente entre as semanas 43 e 45.

A contribuição média da carga (Figura 6b e 6d) de SARS-CoV-2 no Rio das Velhas advinda do Ribeirão Arrudas foi de $79\% \pm 28$ em comparação com o ponto de montante da confluência do Arrudas com o Rio das Velhas (RV-1), que contribuiu com $21\% \pm 28$ das cargas. A contribuição média do ribeirão Onça foi de $59\% \pm 27$, comparado ao aporte de carga presente no ponto a montante da confluência (RV-2o), que foi de $41\% \pm 27$.

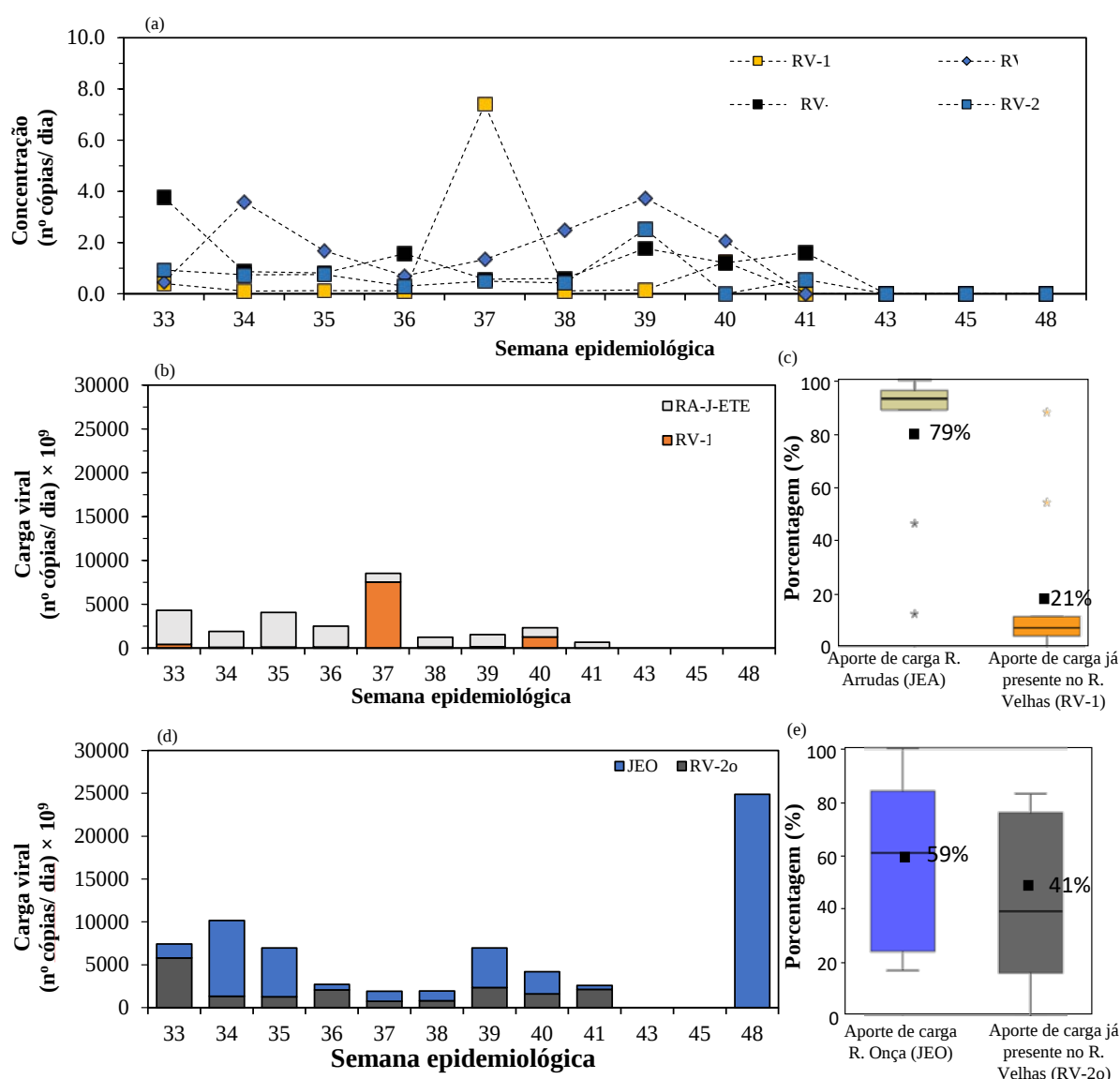


Figura 6. (a) Concentrações do SARS-CoV-2 (cópias/mL) medidas nos pontos de coleta localizados na bacia do Rio das Velhas durante as semanas 32 e 48 de 2020. (b) Cargas virais e boxplots (c) comparando o aporte do ribeirão Arrudas e do ribeirão do Onça em relação às respectivas cargas a montante e jusante no rio das Velhas (d, e). As barras empilhadas representam a contribuição de cada afluente na carga medida em RV-1 e RV-2, respectivamente.

4. Monitoramento de águas superficiais de Belo Horizonte como ferramenta epidemiológica para populações desprovidas de coleta e tratamento de esgoto

Em 2020, a pandemia COVID-19 em Belo Horizonte foi marcada por três períodos distintos (Figura 8): i) uma primeira onda, período entre o início de junho/20 ao final de julho/20, caracterizado pelo aumento acentuado no número de casos suspeitos e colapso do sistema de saúde local em junho/20; ii) um período de atenuação, entre agosto/20 ao final de outubro/20, com forte declínio no número de casos suspeitos e recuperação da capacidade de atendimento aos infectados (leitos de hospitais voltaram a ficar disponíveis); e iii) um período de recrudescimento, a partir do início de novembro/20, caracterizado por novo aumento acentuado no número de casos suspeitos e nova pressão por leitos no

sistema de saúde local. O monitoramento dos esgotos afluentes às duas grandes ETEs e das águas superficiais urbanas de Belo Horizonte mostrou forte relação com os dados epidemiológicos, principalmente com relação às tendências de atenuação e agravamento da pandemia. Tanto o esgoto afluente às ETEs quanto as águas superficiais mostraram cargas reduzidas de SARS-CoV-2 no período de atenuação e elevadas no período de recrudescimento, a partir do início de novembro/2020 (Figuras 8a, 8b). A população desprovida de coleta e tratamento de esgoto na sub-bacia do Arrudas (monitorada com base no ponto RA-M-ETE, montante ETE Arrudas) aportou elevadas cargas de SARS-CoV-2 no início do período de atenuação (semanas epidemiológicas 33 e 34). Isto sugere que a população desprovida de coleta e tratamento de esgoto na sub-bacia do Arrudas demorou mais tempo para sair da primeira onda da pandemia. Por outro lado, no início do período de recrudescimento (semanas 43 e 45), as populações desprovidas de coleta e tratamento tanto do Arrudas quanto do Onça apresentaram cargas muito baixas. Isto sugere que o aumento da circulação do SARS-CoV-2 nas semanas 43 e 45 ocorreu primeiramente na população servida por coleta e tratamento de esgotos em ambas as sub-bacias. Por outro lado, no início do período de recrudescimento (semanas 43 e 45), as populações desprovidas de coleta e tratamento tanto do Arrudas quanto do Onça apresentaram cargas muito baixas. Isto sugere que o aumento da circulação do SARS-CoV-2 nas semanas 43 e 45 ocorreu primeiramente na população servida por coleta e tratamento de esgotos em ambas as sub-bacias. Na semana 48, em pleno período de recrudescimento, as populações sem coleta e tratamento na sub-bacia do Onça apresentaram cargas de SARS-CoV-2 muito mais elevadas que a mesma categoria de população na sub-bacia do Arrudas, ao tempo que a população com coleta e tratamento de esgoto na sub-bacia do Arrudas teve maior aporte de carga viral que a população da mesma categoria na sub-bacia do Onça. Esses resultados indicam que as populações monitoradas via diferentes matrizes (esgoto nas ETEs e águas superficiais) e nas diferentes sub-bacias apresentaram dinâmicas epidêmicas distintas umas das outras.

As duas grandes ETEs (Arrudas e Onça) de Belo Horizonte recebem esgoto de aproximadamente 85% da população residente nas sub-bacias do Arrudas e do Onça, enquanto o esgoto de aproximadamente 12% da população de Belo Horizonte chega às águas superficiais urbanas de Belo Horizonte sem nenhum tratamento (PMS-BH 2020-2023). Dentre as populações desprovidas de coleta e tratamento de esgoto, a população que contribui com esgotos para o Ribeirão do Onça (a montante da confluência com o córrego do Isidoro) aportou a maior carga de SARS-CoV-2 às águas superficiais urbanas de Belo Horizonte durante o período de monitoramento.

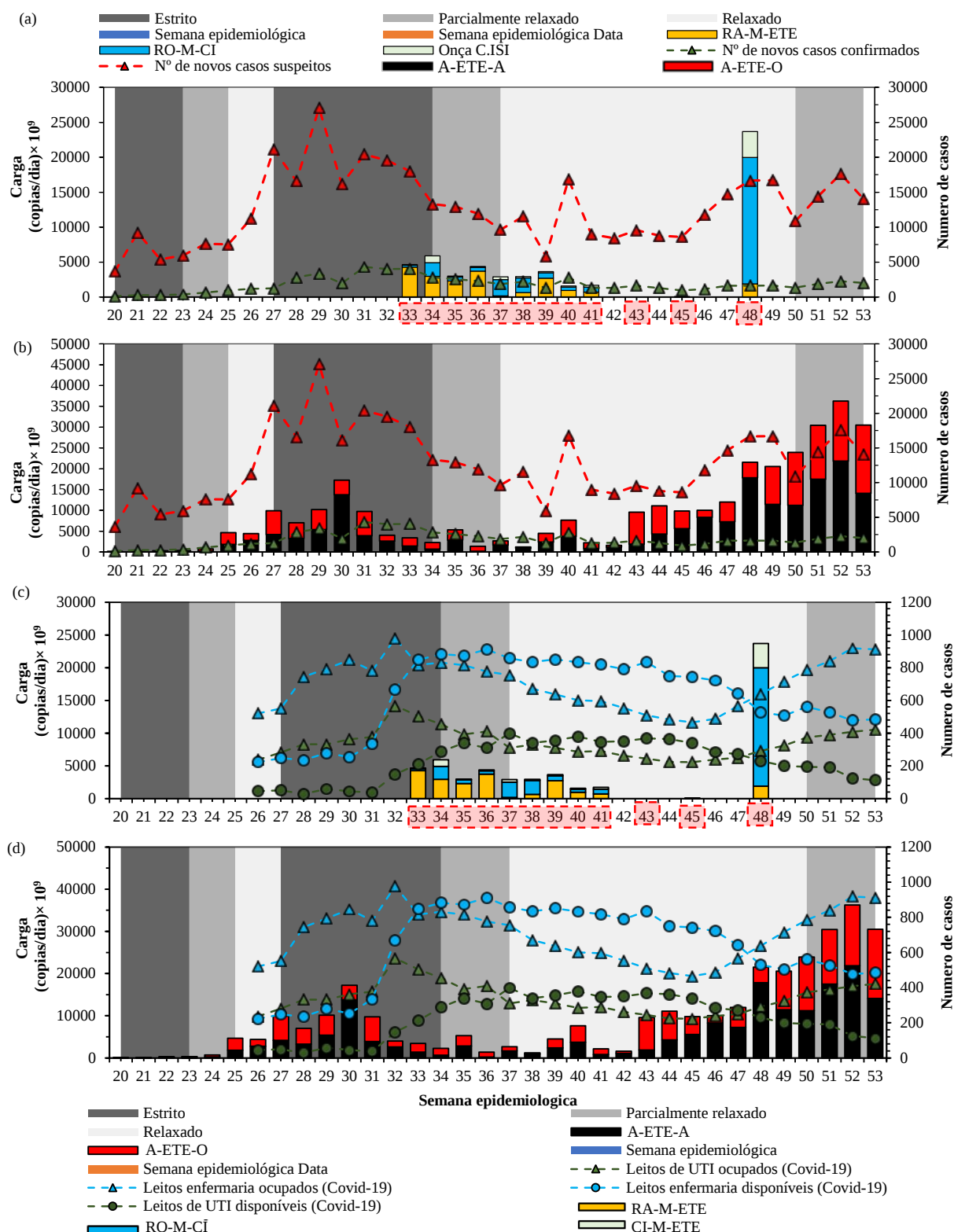


Figura 7. Cargas de SARS-CoV-2 e novos casos confirmados e suspeitos por semana epidemiológica **(a)** nas águas superficiais urbanas de Belo Horizonte e; **(b)** nos afluentes das ETES, monitorados pelo Projeto Piloto Covid-Esgotos. Cargas de SARS-CoV-2 e leitos de UTI e enfermaria disponíveis e ocupados **(c)** nas águas superficiais urbanas de Belo Horizonte e; **(d)** nos afluentes das ETES, monitorados pelo Projeto Piloto Covid-Esgotos. As semanas marcadas em vermelho correspondem às semanas nas quais houve coleta de águas superficiais de Belo Horizonte.

DESTAQUES DO BOLETIM

1. Concentrações de SARS-CoV-2 entre 0 e 51 cópias genômicas/mL foram medidas nas amostras de águas superficiais das sub-bacias do Arrudas, do Onça e do Rio das Velhas durante o período de monitoramento.
2. Mesmo sem contar com unidades específicas para remoção de organismos patogênicos, as estações de tratamento de esgoto (ETE) Onça e Arrudas reduziram consideravelmente as concentrações de SARS-CoV-2 no efluente lançado nos ribeirões.
3. O monitoramento do SARS-CoV-2 nas águas superficiais urbanas de Belo Horizonte indicou que as populações desprovidas de coleta e tratamento de esgoto em Belo Horizonte aportaram elevadas cargas de SARS-CoV no período monitorado, mesmo correspondendo a uma parcela relativamente pequena (12%) da população total.
4. Não houve diferenças significativas entre as concentrações de SARS-CoV-2 no Rio das Velhas a montante e a jusante das confluências com os ribeirões Arrudas e Onça. Isto indica que o rio das Velhas apresenta forte capacidade de diluição das cargas virais que nele são aportadas.
5. Em cidades com deficiências na coleta e tratamento de esgotos, como a maioria das cidades em países em desenvolvimento, incluindo Belo Horizonte, o monitoramento do SARS-CoV-2 em águas superficiais urbanas pode ser fundamental como ferramenta epidemiológica para populações vulneráveis, desprovida de coleta e tratamento de esgotos.

REFERÊNCIAS

- FONGARO, G. et al. SARS-CoV-2 in Human Sewage and River Water from a Remote and Vulnerable Area as a Surveillance Tool in Brazil. **Food and Environmental Virology**, p. 4, 8 jul. 2021.
- GUERRERO-LATORRE, L. et al. SARS-CoV-2 in river water: Implications in low sanitation countries. **Science of the Total Environment**, v. 743, n. February, p. 0–4, 2020.
- HAAS, C. N. et al. Discussion on “Potential discharge, attenuation and exposure risk of SARS-CoV-2 in natural water bodies receiving treated wastewater”. **npj Clean Water**, v. 4, n. 1, p. 32, 15 dez. 2021.
- HARAMOTO, E. et al. First environmental surveillance for the presence of SARS-CoV-2 RNA in wastewater and river water in Japan. **Science of the Total Environment**, v. 737, p. 140405, 2020.
- HELLER, L.; MOTA, C. R.; GRECO, D. B. COVID-19 faecal-oral transmission: Are we asking the right questions? **Science of The Total Environment**, v. 729, p. 138919, ago. 2020.
- HILL, K. et al. SARS-CoV-2 known and unknowns, implications for the water sector and wastewater-based epidemiology to support national responses worldwide: early review of global experiences with the COVID-19 pandemic. **Water Quality Research Journal**, v. 56, n. 2, p. 57–67, 1 maio 2021.
- OMS. **Status of environmental surveillance for SARS-CoV-2 virus**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-sci-brief-environmentalSampling-2020-1>>.
- RAZZOLINI, M. T. P. et al. SARS-CoV-2 in a stream running through an underprivileged, underserved, urban settlement in São Paulo, Brazil: A 7-month follow-up. **Environmental Pollution**, v. 290, p. 118003, ago. 2021.
- RIMOLDI, S. G., STEFANI, F., GIGANTIELLO, A., POLESELLO, S., COMANDATORE, F., MILETO, D., ... & SALERNO, F. Presence and infectivity of SARS-CoV-2 virus in wastewaters and rivers. *Science of the Total Environment*, 744, 140911, 2020.
- ROSILES-GONZÁLEZ, G. et al. Environmental Surveillance of SARS-CoV-2 RNA in Wastewater and Groundwater in Quintana Roo, Mexico. **Food and Environmental Virology**, n. 0123456789, 20 ago. 2021.
- PMSBH - BELO HORIZONTE. Plano municipal de saneamento de Belo Horizonte: 2020-2023.
- SNIS. **Do SNIS ao SINISA. Informações para planejar o Esgotamento Sanitário. Diagnóstico SNIS-AE 2019**. Brasília: [s.n.]. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/downloads/cadernos/2019/DO_SNIS_AO_SINISA_ESGOTO_SNIS_2019.pdf>.
- SUN, J. et al. Isolation of infectious SARS-CoV-2 from urine of a COVID-19 patient. **Emerging Microbes & Infections**, v. 9, n. 1, p. 991–993, 1 jan. 2020.
- XIAO, F. et al. Infectious SARS-CoV-2 in Feces of Patient with Severe COVID-19. **Emerging Infectious Diseases**, v. 26, n. 8, p. 1920–1922, ago. 2020.