



Serviço Público Federal

Ministério da Educação

**Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul**

**Programa de Pós-Graduação em Tecnologias  
Ambientais**



**CAROLINE BURILLE MORETTI**

**PRESENÇA DO VÍRUS SARS-COV-2 EM ÁGUAS SUPERFICIAIS E  
SUBTERRÂNEAS**

**CAMPO GRANDE, MS**

Novembro 2023

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia  
Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais

**CAROLINE BURILLE MORETTI**

**PRESENÇA DO VÍRUS SARS-COV-2 EM ÁGUAS SUPERFICIAIS E  
SUBTERRÂNEAS**

Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, área de concentração: *Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos*.

**Orientador: Profa. Dra. Sandra Garcia Gabas**

**Coorientador: Prof. Dr. James Venturini**

Aprovado em:

**Banca Examinadora**

Profa. Dra. Sandra Garcia Gabas

Presidente

Prof. Dr. Wellington Fava  
UFMS

Prof. Dr. Kennedy Francis  
Roche  
UFMS

**Campo Grande, MS**

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO6
2. OBJETIVOS8
  - 2.1 Objetivo geral8
  - 2.2 Objetivos específicos8
- 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA9
  - 3.1. Águas residuais e sobrevivência do SARS-CoV-29
  - 3.2. Águas superficiais11
  - 3.3 Águas subterrâneas12
    - 3.3.1 Migração em águas subterrâneas12
    - 3.5 Índices de Qualidade da Água13
- 4 METODOLOGIA16
  - 4.1 Área de estudo16
  - 4.2 Coletas17
  - 4.3 Análises19
    - 4.3.1 Físico-químicas e microbiológicas19
    - 4.3.2 Sólidos Dissolvidos Totais19
    - 4.3.3 Alcalinidade20
    - 4.3.4 Demanda Química de Oxigênio20
    - 4.3.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio20
    - 4.3.6 Nitrato20
    - 4.3.7 *Escherichia coli* e Coliformes Totais21
    - 4.3.8 RNA de SARS-CoV-221
- 5 RESULTADOS22
  - 5.1 Parâmetros físico-químicos e microbiológicos22
  - 5.2 RNA do SARS-CoV-226
- 6 DISCUSSÃO27
  - 6.1 RNA de SARS-CoV-2 em águas subterrâneas27
  - 6.3 RNA de SARS-CoV-2 em águas superficiais29
  - 6.4 Qualidade da água superficial30
- 7 CONCLUSÃO32
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS33

## RESUMO

A presença do vírus SARS-CoV-2 em amostras de esgoto e em corpos d'água superficiais e subterrâneos torna a pandemia da Covid-19 um problema também ambiental. Diversos autores, em vários países, têm documentado a presença do material genético do vírus SARS-CoV-2 em corpos d'água que recebem o despejo esgoto, com ou sem tratamento. Neste trabalho, amostras de água superficial e subterrânea foram avaliadas com o objetivo de caracterizar sua vulnerabilidade ao SARS-CoV-2. O estudo foi realizado em uma Bacia Hidrográfica inserida em contexto urbano. As amostras de água foram analisadas para a identificação da presença ou ausência do vírus e em relação à qualidade da água. Foram encontrados traços do RNA do SARS-CoV-2 em todos os pontos amostrados, com valores de *cycle threshold* (Ct) que variaram de 25,45 a 30,37. A concentração de *Escherichia coli* e Coliformes Totais esteve acima do recomendado em todos os pontos, exceto nos piezômetros, que apresentaram resultado negativo para a presença desses patógenos. A detecção do material genético do vírus SARS-CoV-2 nos piezômetros pode servir como um alerta para a presença de vírus em águas subterrâneas e a necessidade da inclusão dos vírus como um dos parâmetros para análises de qualidade da água.

Palavras-chave: vulnerabilidade, coronavírus, corpos d'água, esgoto.

## ABSTRACT

The presence of the SARS-CoV-2 virus in sewage samples and both surface and underground water bodies makes the Covid-19 pandemic also an environmental problem. Several authors, in different countries, have documented the presence of the genetic material of the SARS-CoV-2 virus in bodies of water that receive sewage disposal, with or without treatment. In this work, samples of both surface and groundwater were evaluated aiming to characterize their vulnerability to the SARS-CoV-2 virus. The study was carried out in a River Basin placed in an urban context. Water samples were analyzed to identify the presence or absence of the virus' genetic material and regarding the water quality. Traces of SARS-CoV-2 RNA were found in all sampled points and cycle threshold (Ct) values ranged from 25.45 to 30.37. The concentration of *Escherichia coli* and Total Coliforms was above the recommended level at all sampled points, except in the piezometers, which showed a negative result. The detection of SARS-CoV-2 genetic material in the piezometers can serve as an alert to the presence of viruses in groundwater and the necessity to include viruses as one of the parameters of water quality analysis.

Key words: vulnerability, coronavirus, water bodies, sewage.

## 1. INTRODUÇÃO

A pandemia da Covid-19, causada por uma nova linhagem do coronavírus, o SARS-CoV-2, teve seu epicentro em Wuhan, na China e rapidamente se espalhou por todos os continentes do planeta. Só no Brasil, o número de vítimas ultrapassou os 704.000 (WHO, 2023). O SARS-CoV-2 é um vírus envelopado, do gênero betacoronavírus e que apresenta como material genético o RNA (ácido ribonucleico) de fita simples (Lai *et al*, 2020; Acter *et al*, 2020). A principal forma de transmissão se dá através de contato direto ou indireto, pela liberação de aerossóis ou gotículas respiratórias de pessoas contaminadas (Guan *et al*, 2020; Mesensol, 2020).

Pesquisas apontam para a presença de cópias de RNA viral em amostras fecais (Wu *et al*, 2020) e de urina (Liu *et al*, 2020), além da presença do vírus em sua forma infecciosa no trato gastrointestinal de pacientes, indicando a capacidade de replicação do SARS-CoV-2 em outros órgãos (Xiao *et al*, 2020).

Vários autores têm documentado a presença de material genético viral em amostras de esgoto (Haramoto *et al*, 2020; Saguti, *et al* 2020; Baldovin *et al*, 2020; Rimoldi *et al*, 2020), rios (Kolarević *et al*, 2021; Rimoldi *et al*, 2020), córregos urbanos (Guerrero-La Torre *et al*, 2020; Razzolini *et al*, 2021) e em águas subterrâneas (Sabzchi-Dehkharghani *et al*, 2022; Mahlkecht *et al*, 2021).

A contaminação de corpos d'água pela presença do RNA do vírus SARS-CoV-2 em centros urbanos, através da disposição inadequada e/ou vazamento da rede coletora de esgoto, vem sendo documentada em países como Brasil (Razzolini *et al*, 2021), Equador (Guerrero La-Torre *et al*, 2020) e México (Mahlkecht *et al*, 2021) e Irã (Sabzchi-Dehkharghani *et al*, 2022). Analisando amostras de água de um córrego localizado em uma comunidade carente da cidade de São Paulo, Razzolini *et al* (2021) demonstraram que um aumento de 10 vezes na concentração de RNA de SARS-CoV-2 poderia aumentar em 104% os casos de Covid-19. Vazamentos na rede de esgoto também podem ser potenciais fontes de contaminação das águas subterrâneas pelo SARS-CoV-2, como reportado por Mahlkecht *et al* (2021). Os autores detectaram a presença de RNA viral em aproximadamente metade das amostras analisadas. As amostras de água subterrânea foram coletadas a partir de diversos poços que abastecem a cidade, com profundidades de 20 a 120 metros. Os aquíferos que abastecem a região variam desde aquíferos profundos de formação calcária, até aquíferos livres formados por conglomerados de sedimentos de granulação fina, cascalho, areia e argila.

Em ambientes subterrâneos, como os aquíferos, a capacidade de transporte dos patógenos depende de fatores geoquímicos, hidrológicos e fisiológicas (Zhang *et al*, 2022; Qin *et al*, 2020; He *et al*, 2014). Características como tamanho e morfologia influenciam a movimentação de patógenos, em especial os vírus, que em geral, possuem tamanho pequeno e morfologia esférica (Kumar *et al*, 2021). Apesar das proteínas *spike* do coronavírus - presentes no envelope externo - dificultarem o transporte devido a interações específicas, a alta capacidade de migração em meios porosos ainda apresenta riscos (Zhang *et al*, 2021)

A presença do SARS-CoV-2 no ambiente, em contato com outros seres vivos, pode, hipoteticamente, levar a uma possível infecção, considerando que mutações podem alterar a infecciosidade das cepas atuais (Carducci *et al*, 2020). Apesar de ainda não haver evidências que comprovem a transmissão fecal-oral do novo coronavírus, diversos autores têm analisado a persistência do SARS-CoV-2 no ambiente. Oliveira *et al* (2021) analisaram amostras de rio e águas residuais e observaram maiores taxas de sobrevivência em amostras provenientes de rios e que haviam sido filtradas previamente. Bivins *et al* (2020) detectaram uma maior sobrevivência viral em amostras de água de torneira, em relação às amostras de águas residuais.

Dessa forma, é importante compreender e identificar as possíveis rotas de transmissão do vírus SARS-CoV-2 no ambiente, principalmente em corpos d'água, superficiais ou subterrâneos, especialmente em locais onde o sistema de saneamento é precário. Para Campo Grande, na região centro-oeste do Brasil, em particular, devido a mais de 50% do abastecimento urbano de água ser proveniente de fontes subterrâneas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Caracterização da qualidade da água superficial e subterrânea quanto à presença de material genético do vírus SARS-CoV-2.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Determinar os parâmetros físico-químicos e biológicos das águas subterrâneas e superficiais: pH, Eh, condutividade elétrica, temperatura, alcalinidade, nitrato, sólidos totais dissolvidos, DQO, DBO, Coliformes Totais e *Escherichia coli*;
- Identificar a presença, ou ausência, do material genético do vírus SARS-CoV-2 em amostras de águas superficiais e águas subterrâneas.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A pandemia da Covid-19, causada pelo vírus SARS-CoV-2, infectou mais de 771 milhões de pessoas e fez mais de 6,97 milhões de vítimas em todo o mundo. Só no Brasil, até o momento, foram mais de 704 mil mortes (WHO, 2023). O SARS-CoV-2, pertencente ao gênero dos betacoronavírus, é um vírus de ácido ribonucleico (RNA) de cadeia única positiva, com uma membrana externa chamada de envelope (Lai *et al*, 2020; Acter *et al*, 2020). As principais formas de transmissão do novo coronavírus ocorrem através da liberação de aerossóis, principalmente da tosse de pessoas contaminadas (Guan *et al*, 2020) ou gotículas respiratórias - partículas maiores e que podem permanecer no ar por mais tempo (Mesensol, 2020).

#### 3.1. Águas residuais e sobrevivência do SARS-CoV-2

Pesquisas realizadas em amostras de fezes (Wu *et al*, 2020) e urina (Liu *et al*, 2021) de pacientes com Covid-19 testaram positivo para SARS-CoV-2. Wu *et al* (2020) observaram que amostras fecais testaram positivo para SARS-CoV-2 mesmo após o resultado negativo de amostras nasofaríngeas. Xiao *et al* (2020) demonstraram que o novo coronavírus infecta células epiteliais dos órgãos do sistema gastrointestinal e consegue se replicar, produzir novas cópias, e liberar partículas virais na sua forma infecciosa no trato gastrointestinal de pacientes.

Fragments de RNA do vírus SARS-CoV-2 foram detectados em amostras de esgoto com e sem tratamento, em lugares como o Japão (Haramoto *et al*, 2020), Suécia (Saguti, *et al* 2020), Itália (Baldovin *et al*, 2020; Rimoldi *et al*, 2020) e Brasil (Prado *et al*, 2020). Nemudryi *et al* (2020) demonstraram que o monitoramento de esgoto através da técnica de Reação em Cadeia da Polimerase de Transcrição Reversa Quantitativa (qRT-PCR) fornece uma medida da prevalência viral na comunidade em tempo real e consegue detectar novos casos com dois a quatro dias de antecedência em relação à metodologia usual. Esse estudo nos Estados Unidos complementa o que foi sugerido por Prado *et al* (2020), em uma pesquisa conduzida na cidade de Niterói/RJ, onde os autores encontraram evidências da possibilidade da utilização de águas residuais como uma nova abordagem para estudar a prevalência do SARS-CoV-2 em comunidades e como ferramenta para conter a disseminação da doença.

Medidas de saneamento precárias também podem contaminar o solo, que pode atuar como um reservatório do vírus SARS-CoV-2, servindo como fonte secundária de disseminação (Zhang *et al*, 2020). Vírus envelopados, como o SARS-CoV-2, são adsorvidos por interações hidrofóbicas em partículas de solo carregadas negativamente, gerando heteroagregados (Katz

*et al* 2018). A presença de argila mineral e óxidos de alumínio podem favorecer a adsorção de vírus envelopados em partículas do solo, aumentando a capacidade de troca catiônica, além da forte atração eletrostática e interações hidrofóbicas, promovida pelos óxidos de alumínio (Kimura *et al.* 2008; Attinti *et al.*, 2010). Zhang *et al* (2020) detectaram a presença de RNA do SARS-CoV-2 em amostras de solo próximo a uma estação de tratamento de esgoto e a um hospital que recebia pacientes com Covid-19. Cerca de 20% das amostras estavam contaminadas, com uma concentração que variou de 205-530 cópias/g.

A sobrevivência e infecciosidade do vírus SARS-CoV-2 em ambientes naturais, principalmente aquáticos, ainda não é completamente compreendida e existem poucos estudos realizando esse tipo de análise, pois (i) a cultura celular é bastante complexa e exige equipamentos especiais e pessoas treinadas e (ii) a maioria dos vírus que infectam humanos são de difícil manutenção *in vitro*. Gwenzi (2021) pontua que a sobrevivência de SARS-CoV-2 pode ser facilitada por certas condições ambientais, como em sistemas aquáticos contaminados, onde outros organismos podem atuar como hospedeiros alternativos.

A infectividade viral é definida como o número de partículas virais capazes de invadir e se multiplicar em uma célula hospedeira. O título viral pode ser medido através da mudança morfológica da célula ao ser infectada pelo vírus (Rodríguez; Pepper; Gerba, 2009).

Rimoldi *et al* (2020) analisaram a infectividade do vírus SARS-CoV-2 em amostras de águas residuais após o tratamento primário, secundário, terciário e sem tratamento, além de amostras de três corpos d'água, onde as águas residuais eram lançadas. O estudo foi conduzido através da utilização da VERO E6 cell (ATCC® CRL-1586™), uma linhagem celular extraída de células epiteliais dos rins do macaco Verde Africano (*Chlorocebus aethiops*). Apesar da positividade das amostras para RNA do SARS-CoV-2, as águas residuais apresentaram resultados negativos para a presença de vírus viáveis e em sua forma infecciosa. Utilizando o mesmo ensaio, Oliveira *et al* (2021) avaliaram a persistência do SARS-CoV-2 em amostras de águas residuais, em ambiente laboratorial simulado, a temperaturas de 4°C e 24°C, em amostras filtradas e não filtradas, representando diferentes épocas do ano e diferentes teores de sólidos e turbidez da água. Os resultados apontaram para uma maior persistência do vírus em baixas temperaturas, com valores de T90 – tempo necessário para que 90% do título viral seja inativado – iguais a 5,5 dias a 4°C e 1,2 dias a 24°C. Quando as amostras foram filtradas, os valores T90 também foram maiores, indicando que a presença de sólidos e determinados valores de pH também podem influenciar na persistência do SARS-CoV-2 nesse ambiente.

Utilizando amostras de água residual e água de torneira à temperatura ambiente (20°C), Bivins *et al* (2020) encontraram valores de T90 iguais a 1,5 e 1,7 dias, respectivamente. Em água residual a 50 e 70°C, os valores de T90 foram iguais a 15 e 2 minutos, respectivamente. Ye *et al* (2016), utilizando dois vírus modelo para o vírus SARS-CoV-2 – o vírus da hepatite Murina (MHV) e o bacteriófago phi6 - encontraram valores T90 para o MHV de 13 horas, a 25°C, e para o bacteriófago phi6 igual a 28 horas, a 10°C. O estudo foi conduzido com amostras de água residual.

### 3.2. Águas superficiais

Em um estudo conduzido em Quito, no Equador, Guerrero-Latorre *et al* (2020) coletaram amostras de córregos urbanos onde havia o lançamento de esgoto, em sua maioria, não tratado. Utilizando também a técnica de qRT-PCR, os autores demonstraram que a maior quantidade de RNA viral encontrada em um dos pontos de amostragem, correspondia ao aumento de casos reportados no local. As amostras apresentaram concentrações variando entre  $2,9 \times 10^5$  e  $3,19 \times 10^6$  gc/L para o gene alvo N1 e entre  $2,07 \times 10^5$  e  $2,22 \times 10^6$  gc/L para N2. Este foi o primeiro trabalho a encontrar RNA de SARS-CoV-2 em amostras de água que recebiam esgoto. Os autores apontam para o risco da maior disseminação do SARS-CoV-2 em países onde grande parte do esgoto despejado em corpos d'água não é tratado.

Semelhante ao trabalho de Guerrero-Latorre *et al* (2020), Razzolini *et al* (2020) analisaram a presença de RNA do vírus SARS-CoV-2 em um córrego que atravessa a comunidade de São Remo, localizada na cidade de São Paulo, cujo esgoto é despejado sem tratamento no único corpo d'água existente no local. Das 31 amostras coletadas, 29 foram positivas para RNA de SARS-CoV-2 e os autores conseguiram relacionar a concentração de RNA viral (genes N1 e N2) nas amostras com os casos de Covid-19 reportados para um mesmo período. Utilizando a regressão de Poisson, foi demonstrado que, com um aumento de dez vezes na concentração dos genes N1 e N2, é esperado que o número de casos de Covid-19 aumente em 104% e em 92%, respectivamente.

Por outro lado, em locais onde o esgoto produzido é tratado, a positividade das amostras tende a ser menor. Haramoto *et al* (2020) analisaram amostras de rios no Japão, onde o efluente passa pelo tratamento primário e secundário antes de chegar aos corpos d'água, e nenhuma das três amostras analisadas foi positiva para RNA de SARS-CoV-2. Em Monterrey, no México, onde 95% do esgoto produzido é tratado, Mahlkecht *et al* (2021) reportaram uma taxa de 13% de amostras positivas para os rios analisados. Na Itália, Rimoldi *et al* (2020)

detectaram a presença de RNA de SARS-CoV-2 em todos os três rios que recebiam efluente tratado. A positividade das amostras pode ser atribuída ao lançamento ilegal de esgoto não tratado ou a vazamentos da rede de captação, dado que não houve positividade nas amostras de águas residuais tratadas analisadas.

### 3.3 Águas subterrâneas

A detecção do material genético do SARS-CoV-2 em águas subterrâneas pode ter relação com o vazamento de esgoto nesses corpos d'água. No México, o estudo conduzido por Mahlkecht *et al* (2021) foi o primeiro estudo a identificar a existência de RNA do SARS-CoV-2 em águas subterrâneas. A partir da técnica de qRT-PCR, os autores observaram que aproximadamente metade (44%) das amostras de possuíam material genético do SARS-CoV-2, provavelmente resultado de vazamento da rede de esgoto. As amostras positivas apresentaram concentração entre 2,6 e 38,3 cópias/ml.

Em pesquisa realizada em Tabriz, no Irã, Sabzchi-Dehkharghani *et al* (2022) confirmaram a presença de RNA viral em apenas em um dos 38 poços amostrados, e a concentração do genoma viral foi igual a 5720 cópias/L. O poço amostrado localiza-se em uma região adjacente ao local onde é despejada parte das águas residuais da cidade e, portanto, pode justificar o resultado positivo. Nesse trabalho também foram amostrados rios, lagos e reservatórios e nenhuma amostra positiva foi encontrada.

#### 3.3.1 Migração em águas subterrâneas

A capacidade de migração de patógenos em águas subterrâneas depende de fatores geoquímicos e hidrológicos (umidade, taxa de fluxo, força iônica, pH e rugosidade da superfície) (Zhang *et al*, 2022), além de características fisiológicas (tamanho, morfologia, hidrofobicidade e carga superficial, estrutura da membrana) (He *et al*, 2014; Qin *et al*, 2020; Zhang *et al*, 2022). Patógenos de menor tamanho, como os vírus, tendem a ter seu transporte facilitado, uma vez que podem passar mais facilmente pelo solo ou sedimentos. Vírus com morfologia esférica também podem apresentar maior capacidade de migração, como é o caso dos enterovírus, vírus da hepatite, norovírus, e coronavírus como o SARS-CoV e o SARS-CoV-2 (Kumar *et al*, 2020). No entanto, a presença das proteínas *spike* na superfície do SARS-CoV-2 podem dificultar o transporte devido a interações específicas com o meio. Apesar da migração de patógenos em águas subterrâneas profundas ser relativamente lenta, o seu transporte em águas subterrâneas rasas pode apresentar riscos. (Zhang *et al*, 2022).

Zhang *et al* (2022) propuseram um algoritmo de avaliação considerando as principais características geoquímicas e hidrológicas das águas subterrâneas para analisar a capacidade de migração de patógenos, utilizando como modelo o bacteriófago não envelopado MS2. Variáveis como pH, fluxo de água e teor de umidade demonstraram correlação positiva, enquanto a força iônica apresentou correlação negativa com a capacidade de migração.

### 3.5 Índices de Qualidade da Água

Qualidade da água é o termo utilizado para descrever as características físicas, químicas e biológicas da água. A observação e monitoramento dessas características possibilitam uma visão geral do estado do corpo d'água (Varadharajan, 2009).

O Índice de Qualidade de Água (IQA) é considerado o método mais efetivo para medir a qualidade da água. Para o seu cálculo são incluídos alguns parâmetros de qualidade da água, em uma equação matemática, para avaliar e classificar a qualidade da água, determinando sua adequação para diversos fins, principalmente para o consumo humano. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) adaptou e desenvolveu, a partir de um estudo dos Estados Unidos, o IQA com nove variáveis relevantes para a avaliação da qualidade da água, sendo elas: Coliformes Fecais, pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Nitrogênio Total, Fósforo Total, Temperatura, Turbidez, Resíduo Total e Oxigênio Dissolvido. Cada variável possui um peso, de acordo com seus respectivos padrões, e o peso atribuído indica seu impacto no índice. A partir do cálculo, é possível determinar a qualidade da água em uma escala que varia de 0 a 100. As categorias são nomeadas de Ótima a Péssima, de acordo com o valor obtido (CETESB, 2018). O cálculo do IQA permite a simplificação de um conjunto de dados complexo em informações facilmente compreensíveis e utilizáveis (Ochuko *et al*, 2014; Akter *et al*, 2016).

As águas subterrâneas, o maior ecossistema de água doce do mundo, é também o ecossistema menos explorado. Abrigam uma grande diversidade de microrganismos e metazoários, que são fundamentais para, entre outros processos, a atenuação de patógenos e contaminantes antropogênicos (Griebler e Avramov 2015)

As diretrizes legais quanto ao monitoramento das águas subterrâneas se concentram majoritariamente sobre a avaliação físico-química e parâmetros higiênicos, ao contrário do que ocorre com as águas superficiais, onde a avaliação de parâmetros ecológicos é mais bem estabelecida (Retter *et al*, 2021). Pesquisas recentes tentaram preencher essa lacuna para o monitoramento de rotina das águas subterrâneas, desenvolvendo ferramentas e avaliações que

englobam desde micro-organismos, até a fauna metazoária das águas subterrâneas (Lorenzo *et al*, 2020)

Utilizando um IQA calculado pelo método da média aritmética ponderada, Ibrahim (2019) discute que o cálculo do índice, sem a inclusão da *E. coli* como parâmetro microbiológico, não reflete o real status de qualidade dos pontos amostrados. Esse estudo reitera a importância da inclusão de parâmetros microbiológicos que, juntamente com parâmetros físico-químicos, podem retratar de maneira mais fiel a real condição das águas subterrâneas.

Retter *et al* (2021) desenvolveram um índice com o objetivo de detectar distúrbios biológicos em ecossistemas subterrâneos. O índice D-A-(C) é baseado nos parâmetros de densidade (D) das células microbianas, na atividade (A) medida como níveis de ATP intracelular e a quantidade e/ou qualidade do carbono (C) orgânico, como um parâmetro opcional. Através de uma análise multivariada de *outliers*, o índice D-A-(C) combina todos os parâmetros em um único valor e aponta amostras discrepantes, em um conjunto de dados, como potencialmente ecologicamente perturbadas. O índice avalia a qualidade microbiológica e ecológica das águas subterrâneas através da contagem de células procarióticas, medições da atividade microbiana e a caracterização qualitativa do carbono orgânico dissolvido. Os autores discutem, ainda, o desafio de definir uma determinada condição ecológica das águas subterrâneas, seja ela ‘boa’ ou ‘imprópria’, devido à sua natureza heterogênea.

Para águas superficiais, parâmetros microbiológicos estão mais estabelecidos e o principal indicador utilizado é a *E. coli*, uma bactéria do trato gastrointestinal, que indica contaminação fecal se encontrado em amostras de água (Wen *et al*, 2020). Uma grande variedade de vírus entéricos tem sido associada à doenças transmitidas pela água, uma vez que também estão presentes nas fezes e podem chegar aos corpos d’água pelo lançamento de esgoto (Hewitt *et al*, 2007; Benedict *et al*, 2007).

Alguns autores discutem a inclusão de vírus entéricos como parâmetro microbiológico para análise da qualidade da água. Tais vírus são mais resistentes aos processos de tratamento de esgoto em comparação aos coliformes fecais. Além disso, a presença de vírus entéricos nem sempre se correlaciona com a presença de coliformes fecais e/ou *E. coli* (Hauri *et al*, 2005; Jurzik *et al*, 2010; Wen *et al*, 2020).

A OMS, em 2021, publica o quarto Padrão de Qualidade da Água Potável e inclui 28 indicadores microbiológicos, contendo doze tipos de bactérias, oito tipos de vírus, seis tipos de protozoários e dois parasitas (WHO, 2021). A utilização desses indicadores microbiológicos

como parâmetros na avaliação da qualidade da água varia de acordo com cada país e seus padrões de qualidade específicos.

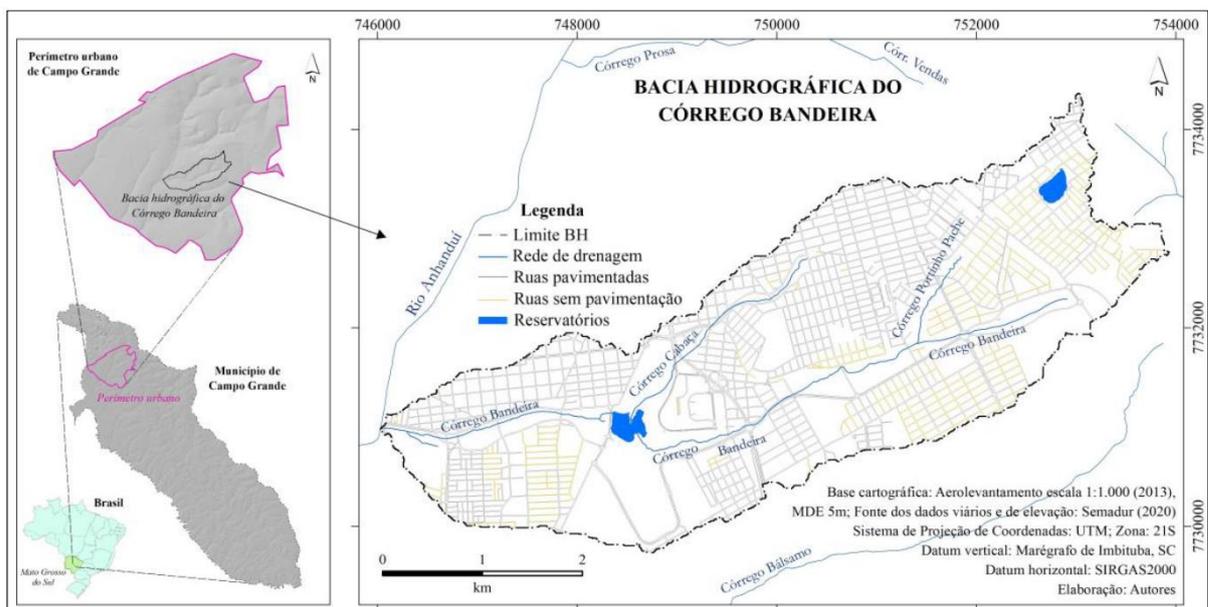
## 4 METODOLOGIA

### 4.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido na Bacia Hidrográfica (BH) do Córrego Bandeira, localizada na porção sudeste do perímetro urbano de Campo Grande, Mato Grosso do Sul (Figura 1). Com uma extensão de aproximadamente 19,6 km<sup>2</sup>, a BH do Bandeira abrange os Córregos Cabaça, Portinho Pache e Bandeira, além de outros corpos hídricos como o Lago do Amor, a Lagoa Rádio Clube e a Lagoa Itatiaia (Campo Grande, 2018). A bacia está inserida nos bairros: Vilas Boas, TV Morena, Progresso, Piratininga, Colonial, Universitário, Rita Vieira, América, Dr. Albuquerque, UFMS e Carlota, com uma população de 33.472 habitantes. (Campo Grande, 2017).

O Lago do Amor, localizado dentro do campus da Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (UFMS), recebe os Córregos Bandeira e Cabaça. Atualmente, encontra-se em processo de eutrofização, uma vez que ambos os Córregos são impactados pelo lançamento de efluentes domésticos e industriais (Campo Grande, 2015).

Figura 1: Localização da Bacia Hidrográfica do Córrego Bandeira



Fonte: Baloque e Capone, 2021

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger. O clima de Campo Grande é tropical. A região possui estações bem definidas, sendo uma chuvosa, entre outubro e abril, e

uma estação seca, de maio até setembro. Caracteriza-se ainda por um alto índice pluviométrico, em torno de 1422 mm/ano (De Souza, *et al* 2021).

Inserida em uma área urbanizada, a BH do Córrego Bandeira sofre os impactos desta expansão urbana, com a diminuição da cobertura vegetal e impermeabilização do solo (Oliveira, 2018). A vegetação natural corresponde a região ecológica do Cerrado e os fragmentos naturais remanescentes distribuem-se ao longo dos cursos d'água. O fragmento mais preservado é a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN), inserida no campus da UFMS (IMASUL, 2003; Baloque e Capoane, 2021).

## **4.2 Coletas**

As coletas foram realizadas em cinco campanhas nos meses de outubro a dezembro de 2022, após o final da época seca, e em maio e junho de 2023, após o final da época chuvosa. As amostras de água superficial foram coletadas em dois pontos no Lago do Amor, também localizado na UFMS (Figura 2). As amostras de água subterrânea foram coletadas a partir de dois piezômetros instalados na unidade experimental da UFMS, inserida na Bacia do Bandeira (Figura 3). Outro ponto de amostragem de água subterrânea foi em um local caracterizado como nascente, dentro do campus da UFMS.

Figura 2: Localização dos pontos de coleta no campus da UFMS.



Fonte: a autora.

Ao todo, foram cinco pontos de coleta (Figura 2) e em cada ponto amostras de 2L foram coletadas em duplicata para análise. Todas as amostras de água superficial foram coletadas manualmente em garrafas plásticas esterilizadas. Para as águas subterrâneas, a coleta foi realizada com a utilização da bomba a vácuo. As amostras para análise de RNA do SARS-CoV-2 foram coletadas em triplicata, em tubos Falcon esterilizados de 50 ml.

Figura 3: Localização da área experimental de geotecnia e hidrologia da UFMS e dos piezômetros analisados



Fonte: a autora

### 4.3 Análises

#### 4.3.1 Físico-químicas e microbiológicas

As análises de pH, condutividade elétrica, temperatura, potencial óxido-redução e turbidez foram realizadas em campo utilizando a Sonda Multiparâmetro Horiba 5 U. Imediatamente após a coleta, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Qualidade Ambiental (LAQUA) da UFMS para as demais análises físico-químicas e microbiológicas, como Nitrato, Sólidos Totais Dissolvidos, Alcalinidade, DBO, DQO, Coliformes Totais e *E. coli*.

#### 4.3.2 Sólidos Dissolvidos Totais

Utilizando a filtração a vácuo, foram filtrados aproximadamente 200 ml de amostra em filtro de fibra de vidro. Após, foi utilizada a pipeta volumétrica para pipetar 100 ml da amostra filtrada para uma capsula de porcelana, previamente tarada. Em seguida, a amostra foi colocada em estufa de secagem à 180°C até a secura e então levada ao dessecador por 1h. Após, a amostra foi pesada em balança analítica.

### 4.3.3 Alcalinidade

Inicialmente, foi medido um volume de 50 ml da amostra em pipeta volumétrica. Em seguida, foi adicionada uma gota de tiosulfato de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ) 0,1 N e duas gotas de fenolftaleína alcóolica. Em seguida, foram adicionadas cinco gotas do indicador misto de bromocresol e vermelho de metila e realizada a titulação com ácido sulfúrico ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 0,02 N até que a amostra apresentasse coloração amarelo-palha.

### 4.3.4 Demanda Química de Oxigênio

Em um tubo HACH 16 X 100mm contendo 1,5 ml de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  0,10N, foi transferido 2,5 ml da amostra. Em seguida, foi adicionado 3,5 ml da solução  $\text{H}_2\text{SO}_4 / \text{AgSO}_4$  e as amostras foram colocadas em bloco digestor a  $150^\circ\text{C}$ , por 2 horas. Após o final da digestão, foram adicionados 50 ml de água destilada e duas gotas do indicador ferroin. Em seguida, as amostras foram tituladas com FAS 0,02 N até a coloração castanho-ferrugem.

### 4.3.5 Demanda Bioquímica de Oxigênio

Utilizando uma proveta graduada de 1000 ml, foi adicionada 500 ml de água de diluição, em seguida, o volume foi completado com a amostra. Após homogeneizada cuidadosamente, a solução foi transferida para frascos Winkler. Metade das amostras foi analisada imediatamente para medir o Oxigênio Dissolvido (OD) inicial, e o restante incubado a  $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ , por 5 dias.

Para medir o OD final, foi adicionado 1 ml de solução de  $\text{MnSO}_4$  e 1 ml de solução alcalina de iodeto azida. Após total sedimentação do precipitado, foi adicionado 1 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado e a solução foi homogeneizada até a completa dissolução do precipitado. Em seguida, foi retirado 200 ml da amostra para titulação utilizando o  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  0,025N até a coloração amarela. Em seguida, foi adicionado 1 ml de amido e realizada a titulação até a solução se tornar incolor.

### 4.3.6 Nitrato

Primeiramente, 100 ml da amostra foi transferido para um frasco Erlenmeyer e adicionado 1 ml do agente corante salicilato. Após, as amostras foram colocadas em estufa a  $105^\circ\text{C}$  até a secura. Em seguida, foi adicionado 1 ml de ácido sulfúrico e as amostras foram homogeneizadas até a completa dissolução dos sólidos no fundo do frasco. Em seguida, toda a

solução foi filtrada com papel em balões volumétricos de 100 ml com o auxílio de um funil. Em seguida, foi adicionado 7 ml de solução contendo hidróxido de sódio e tartarato de sódio e potássio. Após o arrefecimento, as amostras foram transferidas para cubetas para a leitura em espectrofotômetro em comprimento de onda de 420 nm.

#### **4.3.7 *Escherichia coli* e Coliformes Totais**

Para a determinação de Coliformes Totais e *Escherichia coli* (*E. coli*), 10 ml de cada amostra foi diluído em 90 ml de água destilada estéril, segundo a metodologia recomendada pela American Public Health Association (APHA, 2012). A análise foi realizada através do método Colilert®, conforme instruções do fabricante.

#### **4.3.8 RNA de SARS-CoV-2**

As amostras destinadas à detecção do RNA do SARS-CoV-2 foram analisadas o Laboratório de Covid-19 da Faculdade de Medicina da UFMS. Foi realizado um teste qualitativo para verificar a presença ou ausência do material genético do vírus SARS-CoV-2.

Resumidamente, o volume de 200 µL de água foi submetido a extração de RNA utilizando o kit ReliaPrep™ Viral TNA Miniprep System (Promega), conforme instruções do fabricante. Em seguida, para a amplificação das cópias de RNA, foi utilizada a técnica de qRT-PCR, em que dois conjuntos de primers, N1 e N2, que codificam para a proteína N do SARS-CoV-2, são amplificados de acordo com o Protocolo CDC/Atlanta (Lu *et al.*, 2020). A proteína N, ou proteína do nucleocapsídeo, é encontrada no interior da partícula viral, envolta no RNA (Uzunian, 2020).

Foram utilizados controles positivos obtidos de amostras biológicas humanas de pacientes com Covid-19, água estéril purificada como controle negativo. A técnica do qRT-PCR consiste na amplificação *in vitro* de uma região específica do RNA viral. Primeiramente, o RNA é convertido em DNA complementar para que a reação ocorra, gerando dezenas de cópias. Os primers – sequências curtas de DNA – se ligam ao segmento gênico de interesse e sintetizam novas fitas de DNA (Mendes *et al.*, 2022).

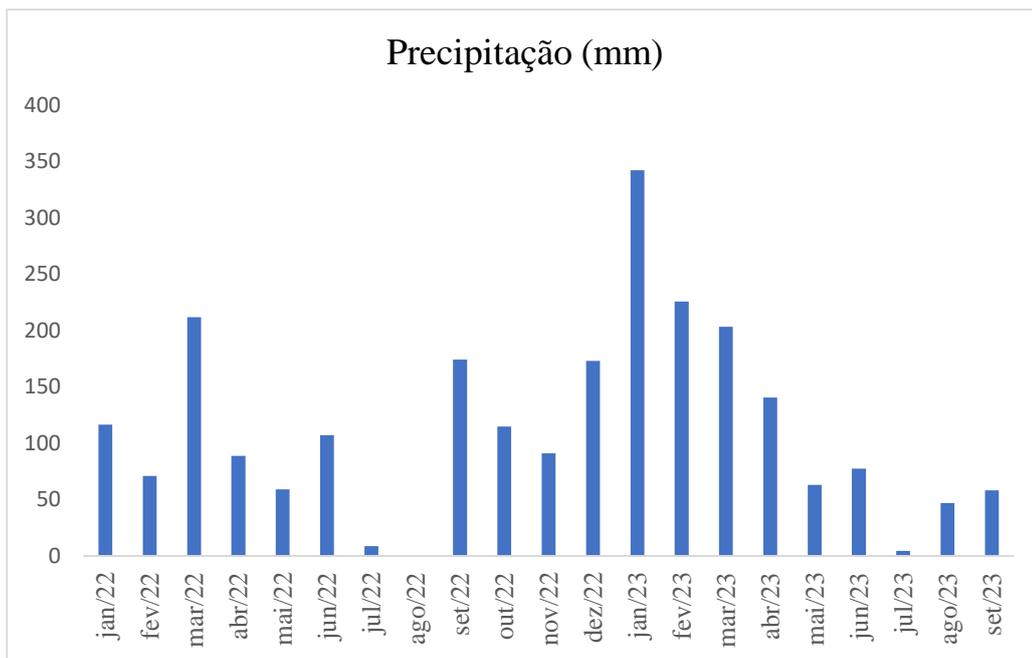
## 5 RESULTADOS

Nos períodos de outubro a dezembro (período de seca) de 2022 e maio e junho (período de chuvas) de 2023 foram coletadas ao todo 10 amostras, nos cinco pontos de amostragem.

Dentre os meses de coleta, outubro e novembro apresentaram a maior concentração de chuvas (114,80 mm e 91,00 mm) (Gráfico 1). Os dados do índice pluviométrico são divulgados pelo CEMTEC (Centro de Monitoramento do Tempo e do Clima do Mato Grosso do Sul).

O nível d'água (NA) dos piezômetros foi medido nas duas campanhas de coleta. O piezômetro P2 apresentou valores de NA igual a 6,27 e 5,66 metros na primeira e segunda campanha, respectivamente. O piezômetro P4 apresentou valores de NA igual a 7,76 metros na primeira campanha e 6,40 metros na segunda campanha.

Gráfico 1: Precipitação total acumulada durante os anos de 2022 e 2023.



Fonte: a autora

### 5.1 Parâmetros físico-químicos e microbiológicos

Os resultados dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados estão apresentados na Tabela 1.

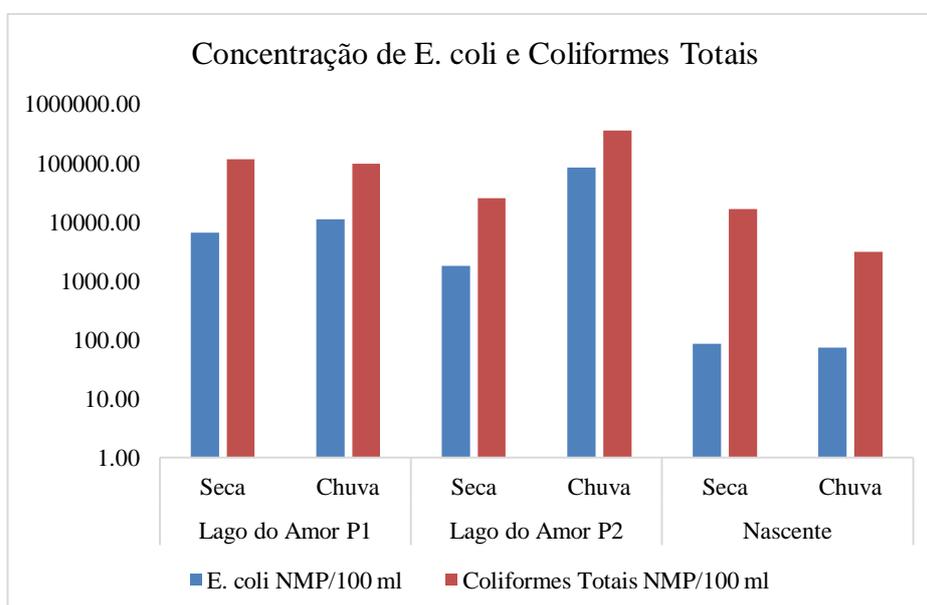
Tabela 1: Valores médios dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados nos pontos de amostragem, nos períodos de seca e chuva.

ND: Não detectado.

Parâmetros	Lago do Amor P1		Lago do Amor P2		Nascente		Piezômetro P2		Piezômetro P4	
	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva
<i>E. coli</i> NMP/100 ml	6,50x10 <sup>3</sup>	1,09x10 <sup>4</sup>	1,78x10 <sup>3</sup>	8,30x10 <sup>4</sup>	8,54x10 <sup>1</sup>	7,24x10 <sup>1</sup>	ND	ND	ND	ND
Coliformes Totais NMP/100 ml	1,15x10 <sup>5</sup>	9,60x10 <sup>4</sup>	2,50x10 <sup>4</sup>	3,50x10 <sup>5</sup>	1,65x10 <sup>4</sup>	3,10x10 <sup>3</sup>	ND	ND	ND	ND
pH	6,13	7,27	7,77	7,88	6,14	6,42	6,41	6,02	5,63	6,02
ORP mV	360,67	339,67	360,67	209,00	351,00	256,67	233,33	272,00	386,00	272,00
Temperatura °C	25,35	23,36	21,00	23,52	25,91	23,24	27,19	24,49	26,00	24,49
Condutividade elétrica µS/cm	40,00	110,00	280,00	160,00	180,00	160,00	10,00	40,00	50,00	40,00
Turbidez NTU	62,83	24,47	19,75	9,70	0,90	2,90	53,90	48,40	53,90	48,40
STD mg/L	95,75	108,00	143,50	110,00	138,25	144,50	59,75	71,00	49,25	31,25
Nitrato NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg N/L	2,14	3,40	7,16	5,19	6,94	7,3	2,40	3,53	0,27	0,22
DBO mg O <sub>2</sub> /L	5,97	3,2	2,72	2,62	1,17	1,75	2,35	3,11	1,38	6,21
DQO mg O <sub>2</sub> /L	14,67	21,33	19,30	16,70	8,15	12,11	6,05	8,62	7,11	14,25
Alcalinidade CaCO <sub>3</sub> /L	41,55	51,3	67,2	62,4	34,8	43,00	13,5	12,5	19,08	8,75

Os dois pontos localizados no Lago do Amor e a Nascente apresentaram resultado positivo para Coliformes Totais e *E. coli*, nas duas campanhas de coleta. A presença de Coliformes Totais e *E. coli* no Lago do Amor e Nascente pode ser explicada pelo histórico de contaminação na Bacia do Bandeira (Campo Grande, 2015). A maior concentração de *E. coli* (8,30x10<sup>4</sup> NMP/100 ml) e Coliformes Totais (3,50x10<sup>5</sup> NMP/100 ml) foi observada no Lago P2, no período de chuvas (Gráfico 2). Os piezômetros P2 e P4 (Tabela 1), apresentaram resultado negativo para os parâmetros bacterianos analisados.

Gráfico 2: Concentração média, em escala logarítmica, de *E. coli* e Coliformes Totais nos dois períodos de coleta

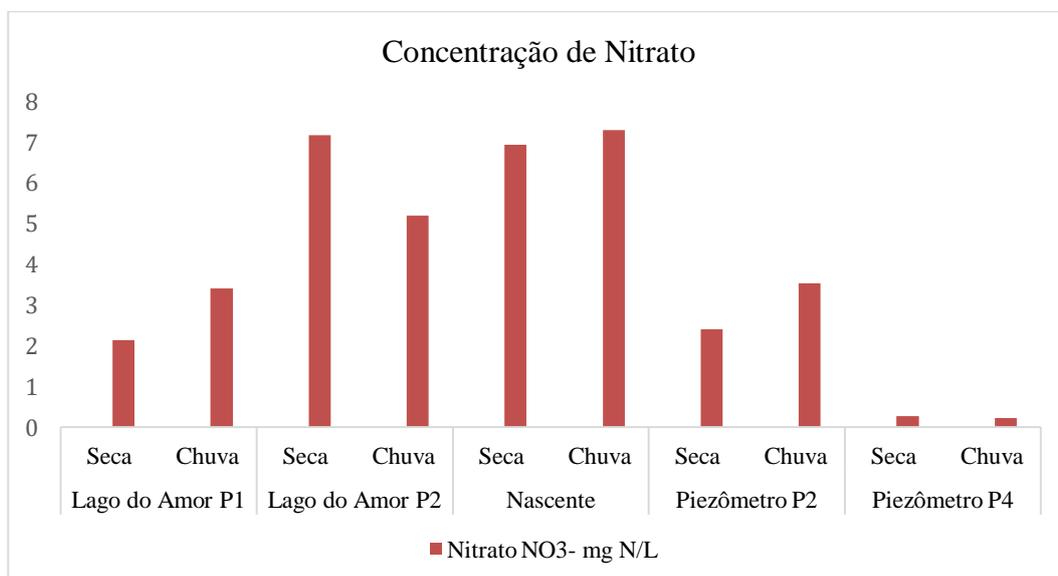


Os valores de pH variaram de 7,88 a 5,63, sendo o Lago P2 o ponto que apresentou os maiores valores (7,77 e 7,88), nas duas campanhas de coleta. O menor valor de pH foi encontrado no piezômetro P4, no período de seca. De modo geral, os valores se mantiveram dentro da faixa permitida, que varia de 6 a 9.

A condutividade elétrica variou de 40 a 280  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sendo o Lago P2 o ponto que apresentou o maior valor no período de seca (280  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e no período chuvoso (160  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). A mesma tendência foi observada nos resultados de Sólidos Totais Dissolvidos (STD). O Lago P2 apresentou o maior valor de STD (143,5 mg/L) no período de seca. A condutividade elétrica está diretamente relacionada com a presença de sólidos totais dissolvidos, uma vez que indica o teor de íons presentes na água. A Nascente apresentou valores de STD e condutividade elétrica próximos aos do Lago P2. No período chuvoso, a concentração de STD (144,50 mg/L) foi a maior dentre todos os pontos amostrados, enquanto a condutividade elétrica para o mesmo período foi igual a 160  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (o mesmo valor do Lago P2 no mesmo período). No período de seca a concentração de STD se manteve alta, sendo igual a 135,25 mg/L. Isso foi observado para a condutividade elétrica que apresentou um valor de 180  $\mu\text{S}/\text{cm}$  no período de seca.

O Nitrato apresentou concentrações variáveis durante os dois períodos de coleta. Os maiores valores foram encontrados no Lago P2 (7,16 mg N/L) e na Nascente (7,30 mg N/L) no período seco e chuvoso, respectivamente (Gráfico 3). O piezômetro P4 apresentou os menores valores nas duas campanhas de coleta, 0,27 e 0,22 mg N/L, no período seco e chuvoso, respectivamente.

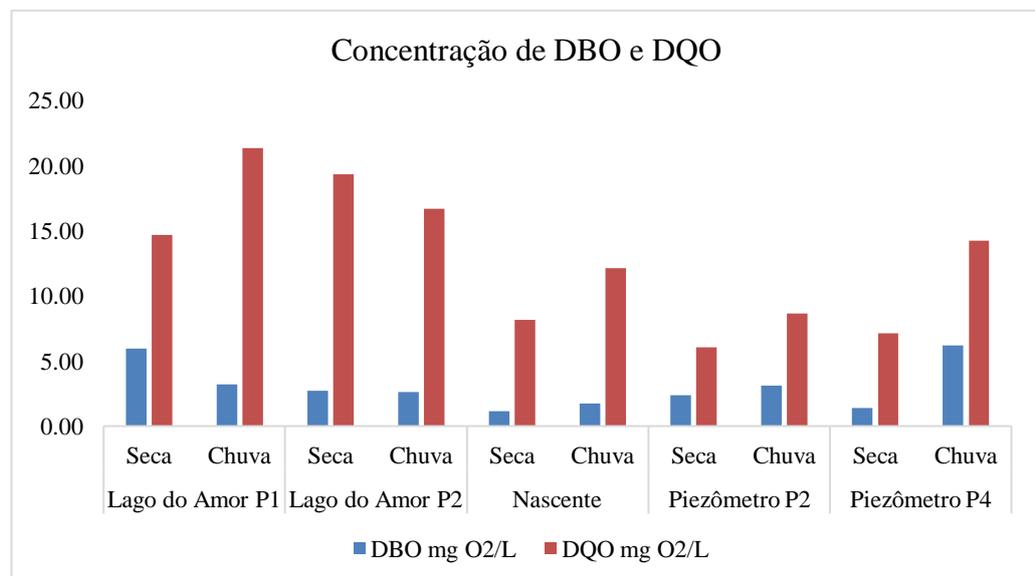
Gráfico 3: Concentração média de Nitrato nos dois períodos de coleta



A alcalinidade apresentou seus maiores valores no Lago do Amor, tanto no período seco como no chuvoso. Com exceção da Nascente, que no período de chuvas apresentou alcalinidade igual a 43,00 CaCO<sub>3</sub>/L, superando o valor observado no Lago P1 (41,55 CaCO<sub>3</sub>/L), no período de seca.

Para a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), o valor mais alto no período chuvoso foi observado no piezômetro P4 (6,21 DBO 5,20 mg/L), enquanto no período de seca, o Lago P1 (5,97 DBO 5,20 mg/L) apresentou o valor mais alto de DBO (Gráfico 4). Para a Demanda Química de Oxigênio (DQO), os maiores valores foram encontrados no Lago do Amor, em ambos os períodos de coleta. A Nascente obteve os menores valores de DBO e DQO nas duas campanhas.

Gráfico 5: Concentração média de DBO e DQO nos dois períodos de coleta.



Os valores de Turbidez no Lago do Amor foram bem distintos nas duas campanhas de coleta. Na época seca, o Lago P1 apresentou 24,47 NTU e o Lago P2 9,7 NTU. No período chuvoso, os valores foram de 62,83 e 19,75 NTU, respectivamente. Essa diferença pode ser explicada pelo local de coleta; o ponto P1 fica localizado mais próximo à margem do Lago, enquanto o ponto P2 se localiza mais próximo à foz do Córrego Cabaça. A Nascente apresentou os menores valores, com um aumento da Turbidez na época chuvosa (2,9 NTU), em relação à época seca (0,9 NTU). O aumento da turbidez na nascente pode estar relacionado aos eventos de precipitação, que podem aumentar a concentração dos sólidos em suspensão.

## 5.2 RNA do SARS-CoV-2

Dentre as 10 amostras analisadas para a presença ou ausência do vírus SARS-CoV-2, em nove fragmentos do RNA viral foram detectados. Apenas as amostras coletadas na Nascente, no período chuvoso, apresentaram resultado não-detectado. Os valores de Ct (*cycle threshold*) variaram de 25,45 a 28,79, no período seco e 27,13 a 30,37, no período chuvoso (Tabela 2).

Tabela 2: Valores das médias de *cycle threshold* (Ct) da região N1 do SARS-CoV-2 obtidos nos pontos de amostragem.

ND: Não detectado.

Pontos de amostragem	SARS-CoV-2 N1 Ct	
	Seca	Chuva
Lago do Amor P1	27,27	28,46
Lago do Amor P2	26,39	27,13
Nascente	28,79	ND
Piezômetro P2	25,45	28,7
Piezômetro P4	25,46	30,37

O *cycle threshold* é definido como o ciclo em que a fluorescência ultrapassa o limiar definido pelo software e permite correlacionar o aumento da fluorescência com a quantidade inicial do DNA alvo. Muitos ensaios de RT-qPCR definem um valor Ct de corte igual a 40 para considerar o teste positivo (detectado). O valor de Ct é inversamente proporcional à quantidade de DNA na amostra (Tom e Mina, 2020). O piezômetro P2 apresentou o menor valor de Ct (25,45) nas amostras coletadas na época de seca. No período de chuvas, o Lago do Amor P2 apresentou o menor valor de Ct (27,13).

Dentre as amostras positivas, apenas o piezômetro 2, no período chuvoso, apresentou positividade para a região N2 do gene N. A maior sensibilidade do *primer* N1 foi observada em outros estudos (Vogels *et al*, 2020; Pecson *et al*, 2021), o que pode explicar a não detecção desta região nos demais pontos de coleta.

## 6 DISCUSSÃO

Esse trabalho foi o primeiro a investigar a presença de RNA de SARS-CoV-2 em águas superficiais e subterrâneas na cidade de Campo Grande/MS. O material genético do vírus foi encontrado em todos os pontos de coleta, exceto em um ponto localizado na Nascente, no período chuvoso. Estudos anteriores confirmaram a presença do RNA do SARS-CoV-2 em águas superficiais (Guerrero-LaTorre *et al*, 2020) e subterrâneas (Mahlknecht *et al*, 2021).

### 6.1 RNA de SARS-CoV-2 em águas subterrâneas

Os dois piezômetros e a nascente apresentaram resultado positivo para a detecção de RNA de SARS-CoV-2 nas duas campanhas de coleta. No período de seca, os dois piezômetros apresentaram os menores valores de Ct dentre os pontos amostrados. Um valor baixo de Ct, mais próximo de 25, indica uma maior quantidade de DNA alvo na amostra. O trabalho de Mahlkecht *et al* (2021) foi o primeiro a detectar a presença do material genético de SARS-CoV-2 em águas subterrâneas, no qual 22 das 50 amostras apresentaram resultado positivo. Assim como tem sido relatado para águas superficiais, a presença do RNA viral em águas subterrâneas pode ser resultado de vazamentos na rede de drenagem de esgoto (Sabzchi-Dehkharghani *et al*, 2022; Mahlkecht *et al* 2021). A entrada de esgoto nas águas subterrâneas também pode ser a fonte da contaminação pelo RNA de SARS-CoV-2 nos piezômetros analisados nesse trabalho. A UFMS, onde estão localizados, encontra-se na Bacia do Bandeira, que possui histórico de lançamento de esgoto em seus corpos d'água (Campo Grande, 2015).

O monitoramento da carga viral nos esgotos revelou uma correlação positiva ( $R^2 = 0.80$ ,  $p < 0.001$ ) entre a incidência de casos de COVID-19 e a concentração do RNA do vírus SARS-CoV-2 (Amereh *et al*, 2021). Estes resultados podem fornecer uma medida da prevalência viral na comunidade e serem utilizados como ferramenta para conter a disseminação do vírus (Nemudryi *et al*, 200; Prado *et al*, 2020), além de servir como um alerta precoce dos casos de COVID-19 (Fongaro *et al*, 2021)

A nascente apresentou o maior valor de Ct (28,79) dentre as amostras coletadas na época seca e resultado negativo para RNA de SARS-CoV-2 no período chuvoso. A não detecção do RNA do vírus no período chuvoso pode ser resultado da diluição causada pelos eventos de precipitação no local.

Em um estudo para investigar o efeito da contaminação da rede de drenagem de esgoto em águas subterrâneas, Huo *et al* (2020) detectaram a presença de *E. coli* e Coliformes Totais

(CT), principalmente em piezômetros próximos à drenagem de esgoto. A presença de bactérias encontradas nas fezes e as concentrações acima do permitido - de acordo com a OMS - de TDS, TSS, cloro e cálcio podem confirmar a contaminação por esgoto. Neste trabalho, as análises de *E. coli* e CT apresentaram resultados negativos nos piezômetros.

Bactérias como a *E. coli* são maiores em tamanho do que a maioria dos vírus e, dessa forma, seu transporte em águas subterrâneas é mais dependente do tamanho dos grãos do solo que compõem o aquífero (Bai *et al*, 2016). Enquanto o SARS-CoV-2 possui entre 60 e 140 nanômetros (Zhu *et al*, 2020), a *E. coli* possui 2000 nanômetros (Wu, 2021). Contudo, a presença do material genético do vírus nas amostras de água não significa a existência do vírus em sua forma infecciosa. Nesse trabalho, foi realizada uma análise qualitativa, detectando apenas traços do material genético do vírus e não foram realizadas análises a respeito da infecciosidade do SARS-CoV-2. Razzolini *et al* (2021) realizaram análises de infecciosidade em cultura celular, em amostras coletadas a partir de um córrego urbano, e não encontraram resultados positivos.

## 6.2 Qualidade das águas subterrâneas

Em um estudo na área experimental da UFMS, Russi (2018), realizou análises químicas em dois poços de monitoramento (P3 e P4). Em duas campanhas de coleta (2016 e 2018) foram encontrados valores de nitrato que oscilaram de 10,6 até 0,6 mg N/L. Comparativamente, o piezômetro P4 amostrado nesse trabalho apresentou valores de nitrato mais baixos, iguais a 0,27 mg N/L no período de seca e 0,22 mg N/L no período de chuvas. Os valores de DBO obtidos dos poços de monitoramento se mantiveram abaixo de 5 mg O<sub>2</sub>/L nos dois períodos de coleta, com exceção ao piezômetro P4, que obteve um valor igual a 6,21 mg O<sub>2</sub>/L no período de chuvas. A mesma tendência foi observada para DQO, que no mesmo período apresentou um valor igual 14,25 mg O<sub>2</sub>/L no piezômetro P4, maior do que o valor obtido no piezômetro P2 (8,62 mg O<sub>2</sub>/L). O aumento da DBO no período chuvoso pode indicar aumento da carga orgânica que chega até as águas subterrâneas através das chuvas.

A concentração de *E. coli* obtida na nascente nos dois períodos de coleta (85,41 NMP/100 ml no período seco e 72,43 NMP/100 ml no período chuvoso) está dentro da faixa permitida para o uso de dessedentação animal (200/100 ml), segundo a Resolução Conama n° 396/08. Para consumo humano, *E. coli* deve ser ausente em 100 ml.

Arwenyo *et al* (2017) avaliaram o impacto da proximidade de sistemas sépticos na qualidade da água de algumas nascentes. Os autores observaram que as concentrações de nitrato

e coliformes fecais aumentaram com o aumento do número de fossas sépticas próximas das nascentes. A nascente mais próxima às fossas sépticas (10,3 metros) apresentou uma concentração de nitrato igual a 5,50 mg/L. Nesse trabalho, nos dois períodos de coleta, a nascente apresentou os maiores valores de nitrato (6,94 mg/L no período de seca e 7,30 mg/L no período chuvoso) dentre todos os pontos de coleta. Ainda que a concentração esteja abaixo do padrão de potabilidade (10 mg/L), a presença de nitrato na Nascente pode ser oriunda de contaminação a partir do vazamento da rede coletora de esgoto, situação comum em centros urbanos (Vernie, 2019; Arwenyo *et al*, 2017). A presença de *E. coli* e Coliformes Totais, além da presença do material genético do SARS-CoV-2, podem indicar contaminação por fezes provenientes do esgoto. Por ora, não é possível a correlação e comparação da presença dos microorganismos estudados com os parâmetros de qualidade de água, pois os estudos encontrados na literatura sobre SARS-CoV-2 em água não determinaram tais parâmetros.

### 6.3 RNA de SARS-CoV-2 em águas superficiais

Os dois pontos amostrados no Lago do Amor apresentaram resultados positivos para a presença de RNA do vírus SARS-CoV-2, nos dois períodos de coleta. O menor valor de Ct (26,39) foi encontrado no Lago do Amor P2, no período de seca. No Brasil, Razzolini *et al* (2021) realizaram um estudo em um córrego localizado em uma região carente da cidade São Paulo, que recebe todo o esgoto gerado na comunidade. Os autores analisaram a concentração de cópias do material genético viral por litro e encontraram 29 amostras positivas de um total de 31 analisadas. A concentração de cópias de RNA/L variou de  $1,40 \times 10^4$  até  $3,28 \times 10^6$ . Similarmente, as amostras positivas para RNA do vírus SARS-CoV-2 encontradas nesse trabalho podem indicar contaminação das águas pelo lançamento de esgoto, que pode chegar até o Lago do Amor através dos dois córregos que o abastecem. Maidana-Kuleska *et al* (2022) encontraram correlações positivas entre RNA de SARS-CoV-2 e pH (0,81) e RNA de SARS-CoV-2 e condutividade elétrica (0,81). Os autores também encontraram correlação positiva entre a concentração de RNA de SARS-CoV-2 e a curva de casos positivos de Covid-19, demonstrando a capacidade de um rio urbano impactado pelo despejo de esgoto ser usado para vigilância epidemiológica do SARS-CoV-2.

Opere, John e Ombori (2020) realizaram análises físicas e biológicas da qualidade da água em um lago urbano. Similarmente ao que foi encontrado nesse trabalho, a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos estiveram abaixo dos níveis recomendados pela OMS. No entanto, os autores detectaram a presença do material genético de Enterovírus e Adenovírus

– vírus entéricos presentes no trato gastrointestinal dos seres humanos. Não foram encontradas correlações significativas entre a presença do vírus e os parâmetros físicos analisados. Além disso, a ocorrência dos vírus não foi afetada pelas mudanças dos parâmetros físicos.

O uso de vírus – principalmente os entéricos – como indicador de poluição fecal vem sendo amplamente discutido. Estudos têm demonstrado a falta de correlações significativas entre Coliformes Totais e vírus entéricos, indicando que a ausência de Coliformes Totais não garante a ausência desses vírus nos corpos d'água (Dalla Vecchia *et al*, 2015; Farkas *et al*, 2020). Nesse trabalho, os piezômetros apresentaram resultado negativo para *E. coli* e Coliformes Totais e resultado positivo para RNA de SAR-CoV-2.

Alguns estudos sugerem a inclusão de vírus entéricos ou vírus que possam também estar presentes no trato gastrointestinal – como é o caso do SARS-CoV-2 – nas análises de qualidade da água e como um parâmetro para detectar a contaminação fecal. Os vírus entéricos estão presentes em altas concentrações no esgoto – onde os Adenovírus foram detectados em concentrações iguais a  $10 \times 10^{11}$  gc/L (Carducci e Verani, 2013), e em corpos d'água receptores, com concentrações iguais a  $10 \times 10^2 - 10 \times 10^5$  gc/L (Calgua *et al*, 2013). Além disso, são mais resistentes ao tratamento de esgoto convencional do que outros patógenos, como as bactérias (Farkas *et al*, 2020).

#### **6.4 Qualidade da água superficial**

O Lago do Amor vem sofrendo com o impacto ambiental e encontra-se em processo avançado de assoreamento e eutrofização (Campo Grande, 2015; Ferreira *et al*, 2019). O Lago apresenta redução na sua área, devido aos sedimentos depositados no deságue dos córregos Cabaça e Bandeira (Ferreira *et al*, 2019). Em um levantamento da qualidade da água do Lago do Amor, Oliveira (2005), aplicando o IQA CETESB, encontrou uma qualidade REGULAR no ponto correspondente à entrada do Córrego Cabaça, onde o nível de Coliformes Fecais e Totais ficou acima do permitido pela Resolução Conama n° 357/05 para corpos d'água da Classe 4 ( $>4000$  e  $>20000$  NMP/100ml). No ponto localizado próximo à margem do Lago, o IQA CETESB também apresentou qualidade REGULAR, com as concentrações de Coliformes Fecais em desconformidade com a Resolução Conama n° 357/05. Nesse trabalho, parâmetros como DBO, SDT, Turbidez, Nitrato e pH estiveram abaixo do limite estabelecido para a Classe 4 ( $>10$  mg/L O<sub>2</sub>;  $>500$  mg/L;  $>100$  NTU;  $>10$  mg N/L e 6-9).

O Programa Córrego Limpo, Cidade Viva, realizado pela Prefeitura de Campo Grande em parceria com a empresa de saneamento Águas Guariroba, monitora a qualidade das águas

superficiais do meio urbano da cidade. No relatório mais recente, do ano de 2021, foram monitorados seis pontos no Córrego Bandeira e dois pontos no Córrego Cabaça. No Córrego Bandeira, o IQA CETESB apresentou qualidade REGULAR em um ponto, em duas campanhas de coleta e qualidade BOA no restante dos pontos. No Córrego Cabaça, o IQA CETESB apresentou qualidade BOA nos pontos analisados. Em ambos os córregos, a concentração de *E. coli* e Fósforo Total estiveram acima do valor de referência em algumas das campanhas de coleta. No Córrego Bandeira, a concentração de Oxigênio Dissolvido também esteve em desconformidade, em dois dos pontos analisados. Nesse trabalho, foi detectada a presença de *E. coli* e Coliforme Totais nos dois pontos amostrados no Lago do Amor, que recebe as águas do Córrego Bandeira e Cabaça. No período de seca, no Lago P2, a concentração de *E. coli* apresentou um valor médio de  $1,78 \times 10^3$  NMP/100 ml, enquanto o valor para Coliformes Totais foi igual a  $2,50^4$  NMP/100 ml. No período chuvoso os valores foram iguais a  $8,30 \times 10^4$  e  $3,50 \times 10^5$ , para *E. coli* e Coliformes Totais, respectivamente. Foi possível observar um aumento na concentração de *E. coli* no período chuvoso nos dois pontos amostrados, possivelmente resultado do aumento da carga orgânica que chega ao Lago do Amor advinda dos dois córregos. No entanto, a presença de *E. coli* também pode ser decorrente de excrementos de animais de sangue quente, como as capivaras, que vivem no campus da UFMS e na região do Lago do Amor.

## 7 CONCLUSÃO

Foram encontrados traços do RNA do SARS-CoV-2 em todos os pontos de coleta, exceto na nascente, no período chuvoso. A presença do material genético do vírus pode indicar a contaminação por material fecal através do despejo de esgoto, assim como a presença de *E. coli* e Coliformes Totais. Diversos estudos confirmam a presença do material genético do vírus nas fezes de pacientes contaminados. A presença do RNA de SARS-CoV-2 em águas superficiais e subterrâneas vem sendo relacionada com o despejo ou vazamento da rede de esgoto, principalmente em países em desenvolvimento, onde grande parte do esgoto produzido não é tratado. No caso de Campo Grande, além do vazamento da rede coletora de esgoto, o lançamento clandestino também pode ser uma das causas da contaminação dos corpos d'água da cidade.

O Lago do Amor apresentou as maiores concentrações de *E. coli* e Coliformes Totais. A concentração de *E. coli* acima dos níveis estabelecidos pela Resolução Conama nº 357/05 nos Córregos Cabaça e Bandeira, pode indicar a contaminação por esgoto nesses corpos d'água. O Lago do Amor, por servir como reservatório desses córregos, pode refletir a qualidade da água observada nos dois córregos.

A análise de parâmetros físico-químicos, em conjunto com parâmetros microbiológicos, nos ajuda a ter uma melhor percepção da qualidade da água. De modo geral, os parâmetros físico-químicos analisados estiveram dentro dos limites estabelecidos, nos dois períodos de coleta.

A presença do material genético do SARS-CoV-2 nos piezômetros pode ser um alerta para a possibilidade da entrada de vírus nas águas subterrâneas, que podem ter seu transporte facilitado em determinadas situações, de acordo com as características do solo que compõe os aquíferos. Para além disso, a ausência de patógenos como *E. coli* e Coliformes Totais e, em contrapartida, a presença do material genético do vírus pode indicar a necessidade da inclusão da análise da presença viral nos estudos de qualidade da água.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACTER, Thamina; UDDIN, Nizam; DAS, Jagotamoy; AKHTER, Afroza; CHOUDHURY, Tasrina Rabia; KIM, Sunghwan. Evolution of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) as coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic: a global health emergency. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 730, p. 138996, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138996>.

AGUILÓ-GISBERT, Jordi; PADILLA-BLANCO, Miguel; LIZANA, Victor; MAIQUES, Elisa; MUÑOZ-BAQUERO, Marta; CHILLIDA-MARTÍNEZ, Eva; CARDELLS, Jesús; RUBIO-GUERRI, Consuelo. First Description of SARS-CoV-2 Infection in Two Feral American Mink (*Neovison vison*) Caught in the Wild. **Animals**, [S.L.], v. 11, n. 5, p. 1422, 16 mai. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ani11051422>.

AKTER, Tahera; JHOHURA, Fatema Tuz; AKTER, Fahmida; CHOWDHURY, Tridib Roy; MISTRY, Sabuj Kanti; DEY, Digbijoy; BARUA, Milan Kanti; ISLAM, Md Akramul; RAHMAN, Mahfuzar. Water Quality Index for measuring drinking water quality in rural Bangladesh: a cross-sectional study. **Journal Of Health, Population And Nutrition**, [S.L.], v. 35, n. 1, p. 1-12, 9 fev. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s41043-016-0041-5>.

ATTINTI, Ramesh; WEI, Jie; KNIEL, Kalmia; SIMS, J. Thomas; JIN, Yan. Virus' (MS2,  $\phi$ X174, and Aichi) Attachment on Sand Measured by Atomic Force Microscopy and Their Transport through Sand Columns. **Environmental Science & Technology**, [S.L.], v. 44, n. 7, p. 2426-2432, 5 mar. 2010. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/es903221p>.

BAI, Hongjuan *et al.* Bacteria cell properties and grain size impact on bacteria transport and deposition in porous media. **Colloids And Surfaces B: Biointerfaces**, [S.L.], v. 139, p. 148-155, mar. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfb.2015.12.016>.

BALDOVIN, Tatjana; AMORUSO, Irene; FONZO, Marco; BUJA, Alessandra; BALDO, Vincenzo; COCCHIO, Silvia; BERTONCELLO, Chiara. SARS-CoV-2 RNA detection and persistence in wastewater samples: an experimental network for covid-19 environmental surveillance in padua, veneto region (ne italy). **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 760, p. 143329, mar. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143329>.

BALOQUE, Givanildo Ferreira; CAPOANE, Viviane. Susceptibilidade a erosão do solo na bacia hidrográfica do córrego Bandeira, Campo Grande – MS. **Revista Cerrados**, [S.L.], v. 19, n. 02, p. 183-217, 1 ago. 2021. Universidade Estadual de Montes Claros (UNIIMONTES). <http://dx.doi.org/10.46551/rc24482692202124>.

BENEDICT, Katharine M.; RESES, Hannah; VIGAR, Marissa; ROTH, David M.; ROBERTS, Virginia A.; MATTIOLI, Mia; COOLEY, Laura A.; HILBORN, Elizabeth D.; WADE, Timothy J.; FULLERTON, Kathleen E.. Surveillance for Waterborne Disease Outbreaks Associated with Drinking Water — United States, 2013–2014. **Mmwr. Morbidity And Mortality Weekly Report**, [S.L.], v. 66, n. 44, p. 1216-1221, 10 nov. 2017. Centers for Disease Control MMWR Office. <http://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm6644a3>.

BIVINS, Aaron; GREAVES, Justin; FISCHER, Robert; YINDA, Kwe Claude; AHMED, Warish; KITAJIMA, Masaaki; MUNSTER, Vincent J.; BIBBY, Kyle. Persistence of SARS-CoV-2 in Water and Wastewater. **Environmental Science & Technology Letters**, [S.L.], v. 7, n. 12, p. 937-942, 7 out. 2020. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.estlett.0c00730>.

CAMPO GRANDE. Agência Municipal do Meio Ambiente e Planejamento Urbano (Org.) **Diagnóstico Ambiental da Bacia do Córrego Bandeira**. Campo Grande, 2017.

CAMPO GRANDE. Instituto Municipal de Planejamento Urbano (Org.). **Bacia Hidrográfica Córrego Bandeira: é bom saber**. Campo Grande, 2018. Disponível em: <http://www.campogrande.ms.gov.br/planurb/wp-content/uploads/sites/18/2018/11/Folheto-Bandeira.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2022.

CAMPO GRANDE. Plan Diretor de Drenagem Urbana de Campo Grande. **Diário Oficial de Campo Grande - MS**. Campo Grande, 2015. Disponível em: [https://diogrande.campogrande.ms.gov.br/download\\_edicao/eyJjb2RpZ29kaWEiOiIzMDA2In0%3D.pdf](https://diogrande.campogrande.ms.gov.br/download_edicao/eyJjb2RpZ29kaWEiOiIzMDA2In0%3D.pdf). Acesso em: 20 abr. 2022.

CAMPOS, Karoline Rodrigues; SACCHI, Cláudio Tavares; GONÇALVES, Cláudia Regina; PAGNOCA, Érica Valessa Ramos Gomes; DIAS, Alana dos Santos; FUKASAWA, Lucila Okuyama; CATERINO-DE-ARAÚJO, Adele. COVID-19 laboratory diagnosis: comparative analysis of different RNA extraction methods for SARS-CoV-2 detection by two amplification protocols. **Rev Inst Med Trop São Paulo**, São Paulo, v. 52, n. 63, p. 1-10, 1 jun. 2021. <https://doi.org/10.1590/S1678-9946202163052>

CARDUCCI, Annalaura; FEDERIGI, Ileana; LIU, Dasheng; THOMPSON, Julian R; VERANI, Marco. Making Waves: coronavirus detection, presence and persistence in the water environment. **Water Research**, [S.L.], v. 179, p. 115907, jul. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2020.115907>.

CARDUCCI, A.; VERANI, M.. Effects of Bacterial, Chemical, Physical and Meteorological Variables on Virus Removal by a Wastewater Treatment Plant. **Food And Environmental**

**Virology**, [S.L.], v. 5, n. 1, p. 69-76, 13 fev. 2013. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12560-013-9105-5>.

CALGUA, Byron; FUMIAN, Tulio; RUSIÑOL, Marta; RODRIGUEZ-MANZANO, Jesus; MBAYED, Viviana A.; BOFILL-MAS, Silvia; MIAGOSTOVICH, Marize; GIRONES, Rosina. Detection and quantification of classic and emerging viruses by skimmed-milk flocculation and PCR in river water from two geographical areas. **Water Research**, [S.L.], v. 47, n. 8, p. 2797-2810, maio 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2013.02.043>.

VECCHIA, Andréia dalla; RIGOTTO, Caroline; STAGGEMEIER, Rodrigo; SOLIMAN, Mayra Cristina; SOUZA, Fernanda Gil de; HENZEL, Andreia; SANTOS, Eliane Lemos; NASCIMENTO, Carlos Augusto do; QUEVEDO, Daniela Muller de; FLECK, Juliane Deise. Surface water quality in the Sinos River basin, in Southern Brazil: tracking microbiological contamination and correlation with physicochemical parameters. **Environmental Science And Pollution Research**, [S.L.], v. 22, n. 13, p. 9899-9911, 5 fev. 2015. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-015-4175-6>.

FARKAS, Kata; WALKER, David I.; ADRIAENSSENS, Evelien M.; MCDONALD, James E.; HILLARY, Luke S.; MALHAM, Shelagh K.; JONES, Davey L.. Viral indicators for tracking domestic wastewater contamination in the aquatic environment. **Water Research**, [S.L.], v. 181, p. 115926, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2020.115926>.

FONGARO, Gislaine; ROGOVSKI, Paula; SAVI, Beatriz Pereira; CADAMURO, Rafael Dorighello; PEREIRA, Juliana Virgínia Faria; ANNA, Iago Hashimoto Sant; RODRIGUES, Ivan Henrique; SOUZA, Doris Sobral Marques; SARAIVA, Edgard Gregory Torres; RODRÍGUEZ-LÁZARO, David. 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**, [S.L.], v. 13, n. 2, 8 jul. 2021. Springer Science and Business Media LLC <http://dx.doi.org/10.1007/s12560-021-09487-9>.

GRIEBLER, Christian; AVRAMOV, Maria. Groundwater ecosystem services: a review. **Freshwater Science**, [S.L.], v. 34, n. 1, p. 355-367, mar. 2015. University of Chicago Press. <http://dx.doi.org/10.1086/679903>.

GUAN, Wei-Jie; NI, Zheng-Yi; HU, Yu; LIANG, Wen-Hua; OU, Chun-Quan; HE, Jian-Xing; LIU, Lei; SHAN, Hong; LEI, Chun-Liang; HUI, David S.C.. Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China. **New England Journal Of Medicine**, [S.L.], v. 382, n. 18, p. 1708-1720, 30 abr. 2020. Massachusetts Medical Society. <http://dx.doi.org/10.1056/nejmoa2002032>.

GUERRERO-LATORRE, Laura; BALLESTEROS, Isabel; VILLACRÉS-GRANDA, Irina; GRANDA, M. Genoveva; FREIRE-PASPUEL, Byron; RÍOS-TOUMA, Blanca. SARS-CoV-2 in river water: implications in low sanitation countries. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 743, p. 140832, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140832>.

GWENZI, Willis. 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**, [S.L.], v. 753, p. 141751, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141751>

HARAMOTO, Eiji; MALLA, Bikash; THAKALI, Ocean; KITAJIMA, Masaaki. First environmental surveillance for the presence of SARS-CoV-2 RNA in wastewater and river water in Japan. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 737, p. 140405, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140405>.

HAURI, A. M.; SCHIMMELPFENNIG, M.; WALTER-DOMES, M.; LETZ, A.; DIEDRICH, S.; LOPEZ-PILA, J.; SCHREIER, E.. An outbreak of viral meningitis associated with a public swimming pond. **Epidemiology And Infection**, [S.L.], v. 133, n. 2, p. 291-298, 22 dez. 2004. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0950268804003437>.

HEWITT, Joanne; BELL, Derek; SIMMONS, Greg C.; RIVERA-ABAN, Malet; WOLF, Sandro; GREENING, Gail E.. Gastroenteritis Outbreak Caused by Waterborne Norovirus at a New Zealand Ski Resort. **Applied And Environmental Microbiology**, [S.L.], v. 73, n. 24, p. 7853-7857, 15 dez. 2007. American Society for Microbiology. <http://dx.doi.org/10.1128/aem.00718-07>.

Hidrosul Ambiental Serviços Geológicos LTDA - EPP. **Carta Geotécnica de Campo Grande**. Campo Grande, 2020. Disponível em: [https://prefcg-repositorio.campogrande.ms.gov.br/wp-cdn/uploads/sites/18/2020/11/PRODUTO-4\\_Resumo-Executivo.pdf](https://prefcg-repositorio.campogrande.ms.gov.br/wp-cdn/uploads/sites/18/2020/11/PRODUTO-4_Resumo-Executivo.pdf). Acesso: 30 mai. 2022

IBRAHIM, Mohamad. Assessing Groundwater Quality for Drinking Purpose in Jordan: application of water quality index. **Journal Of Ecological Engineering**, [S.L.], v. 20, n. 3, p. 101-111, 1 mar. 2019. Wydawnictwo Naukowe Gabriel Borowski (WNGB). <http://dx.doi.org/10.12911/22998993/99740>.

IMASUL. Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. **Deliberação CECA n. 002/2003**. Disponível em: <https://www.imasul.ms.gov.br/wp->

content/uploads/2019/08/Planilha-CNUC\_para-o-site\_atualiz.-Dez\_-2018.pdf. Acesso em: 02 jun. 2022.

JURZIK, Lars; HAMZA, Ibrahim Ahmed; PUCHERT, Wilfried; ÜBERLA, Klaus; WILHELM, Michael. Chemical and microbiological parameters as possible indicators for human enteric viruses in surface water. **International Journal Of Hygiene And Environmental Health**, [S.L.], v. 213, n. 3, p. 210-216, jun. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2010.05.005>.

KATZ, Al; PEÑA, Stephanie; ALIMOVA, Alexandra; GOTTLIEB, Paul; XU, Min; BLOCK, Karin A.. Heteroaggregation of an enveloped bacteriophage with colloidal sediments and effect on virus viability. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 637-638, p. 104-111, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.425>.

KIMURA, Makoto; JIA, Zhong-Jun; NAKAYAMA, Natsuko; ASAKAWA, Susumu. Ecology of viruses in soils: past, present and future perspectives. **Soil Science And Plant Nutrition**, [S.L.], v. 54, n. 1, p. 1-32, fev. 2008. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1747-0765.2007.00197.x>.

KOLAREVIĆ, Stoimir; MICSINAI, Adrienn; SZÁNTÓ-EGÉSZ, Réka; LUKÁCS, Alena; KRAČUN-KOLAREVIĆ, Margareta; LUNDY, Lian; KIRSCHNER, Alexander K.T.; FARNLEITNER, Andreas H.; DJUKIC, Aleksandar; ČOLIĆ, Jasna. Detection of SARS-CoV-2 RNA in the Danube River in Serbia associated with the discharge of untreated wastewaters. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 783, p. 146967, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146967>.

LAI, Chih-Cheng; SHIH, Tzu-Ping; KO, Wen-Chien; TANG, Hung-Jen; HSUEH, Po-Ren. Severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) and coronavirus disease-2019 (COVID-19): the epidemic and the challenges. **International Journal Of Antimicrobial Agents**, [S.L.], v. 55, n. 3, p. 105924, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2020.105924>.

LE GUERNIC, A., Palos, M., Boudaud, N., Do Nascimento, J., Gantzer, C., Ingland, J., Mouchel, J., Pochet, C., Moulin, L., Rocher, V., Waldman, P., Wurtzer, S., & Geffard, A. (2021). First evidence of SARS-CoV-2 genome detection in zebra mussel (*Dreissena polymorpha*). **bioRxiv**, 2021. doi: <https://doi.org/10.1101/2021.05.28.446136>

LIU, Y.; LI, T.; DENG, Y.; LIU, S.; ZHANG, D.; LI, H.; WANG, X.; JIA, L.; HAN, J.; BEI, Z.. Stability of SARS-CoV-2 on environmental surfaces and in human excreta. **Journal Of Hospital Infection**, [S.L.], v. 107, p. 105-107, jan. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhin.2020.10.021>.

LORENZO, Tiziana di; FIASCA, Barbara; TABILIO, Agostina di Camillo; MUROLO, Alessandro; CICCIO, Mattia di; GALASSI, Diana Maria Paola. The weighted Groundwater Health Index (wGHI) by Korbel and Hose (2017) in European groundwater bodies in nitrate vulnerable zones. **Ecological Indicators**, [S.L.], v. 116, p. 106525, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106525>

MAHLKNECHT, Jurgen.; REYES, Padilla A. Diego.; RAMOS, Edrick.; REYES, Ma Luisa.; ÁLVAREZ, Moises Mario. The presence of SARS-CoV-2 RNA in different freshwater environments in urban settings determined by RT-qPCR: implications for water safety. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 784, p. 147183, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147183>.

MESELSON, Matthew. Droplets and Aerosols in the Transmission of SARS-CoV-2. **New England Journal Of Medicine**, [S.L.], v. 382, n. 21, p. 2063-2063, 21 maio 2020. Massachusetts Medical Society. <http://dx.doi.org/10.1056/nejmc2009324>.

MOTTA, P. E. F. da *et al.* **Levantamento de reconhecimento de baixa intensidade dos solos do Município de Campo Grande, MS**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

NEMUDRYI, Artem; NEMUDRAIA, Anna; WIEGAND, Tanner; SURYA, Kevin; BUYUKYORUK, Murat; CICHA, Calvin; VANDERWOOD, Karl K.; WILKINSON, Royce; WIEDENHEFT, Blake. Temporal Detection and Phylogenetic Assessment of SARS-CoV-2 in Municipal Wastewater. **Cell Reports Medicine**, [S.L.], v. 1, n. 6, p. 100098, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.xcrm.2020.100098>.

OCHUKO, U., THADDEUS, O., OGHENERO, O. A., & JOHN, E. E. (2014). A comparative assessment of water quality index (WQI) and suitability of river Ase for domestic water supply in urban and rural communities in Southern Nigeria. **Int J Human Soc Sci**, 4(1), 234-45, 2014.

OLIVEIRA, Leonardo Camilo de; TORRES-FRANCO, Andrés Felipe; LOPES, Bruna Coelho; SANTOS, Beatriz Senra Álvares da Silva; COSTA, Erica Azevedo; COSTA, Michelle S.; REIS, Marcus Tullius P.; MELO, Marília C.; POLIZZI, Rodrigo Bicalho; TEIXEIRA, Mauro Martins. Viability of SARS-CoV-2 in river water and wastewater at different temperatures and solids content. **Water Research**, [S.L.], v. 195, p. 117002, maio 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2021.117002>.

OLIVEIRA, Cássia Virginia Cassanho de. **Impactos ambientais por urbanização acelerada no Lago do Amor em Campo Grande/MS**. 2018. 83 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade Brasil, São Paulo, 2018.

OPERE, Wasonga Michael; JOHN, Maingi; OMBORI, Omwoyo. Occurrence of Enteric Viruses in Surface Water and the Relationship with Changes in Season and Physical Water Quality Dynamics. **Advances In Virology**, [S.L.], v. 2020, p. 1-11, 3 jul. 2020. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2020/9062041>.

POLO, David; LOIS, Marta; FERNÁNDEZ-NUÑEZ, María Teresa; ROMALDE, Jesús L.. Detection of SARS-CoV-2 RNA in bivalve mollusks and marine sediments. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 786, p. 147534, set. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147534>.

PRADO, Tatiana; FUMIAN, Tulio Machado; MANNARINO, Camille Ferreira; MARANHÃO, Adriana Gonçalves; SIQUEIRA, Marilda Mendonça; MIAGOSTOVICH, Marize Pereira. Preliminary results of SARS-CoV-2 detection in sewerage system in Niterói municipality, Rio de Janeiro, Brazil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, [S.L.], v. 115, n. 1, p. 1-3, 09 jul. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0074-02760200196>.

RETTTER, Alice; GRIEBLER, Christian; HAAS, Johannes; BIRK, Steffen; STUMPP, Christine; BRIELMANN, Heike; FILLINGER, Lucas. Application of the D-A-(C) index as a simple tool for microbial-ecological characterization and assessment of groundwater ecosystems—a case study of the Mur River Valley, Austria. **Österreichische Wasser- Und Abfallwirtschaft**, [S.L.], v. 73, n. 11-12, p. 455-467, 16 set. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00506-021-00799-5>.

RIMOLDI, Sara Giordana; STEFANI, Fabrizio; GIGANTIello, Anna; POLESELLO, Stefano; COMANDATORE, Francesco; MILETO, Davide; MARESCA, Mafalda; LONGOBARDI, Concetta; MANCON, Alessandro; ROMERI, Francesca. Presence and infectivity of SARS-CoV-2 virus in wastewaters and rivers. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 744, p. 140911, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140911>.

RODRÍGUEZ, Roberto A.; PEPPER, Ian L.; GERBA, Charles P.. Application of PCR-Based Methods To Assess the Infectivity of Enteric Viruses in Environmental Samples. **Applied And Environmental Microbiology**, [S.L.], v. 75, n. 2, p. 297-307, 15 jan. 2009. American Society for Microbiology. <http://dx.doi.org/10.1128/aem.01150-08>.

SAGUTI, Fredy; MAGNIL, Ellen; ENACHE, Lucica; CHURQUI, Marianela Patzi; JOHANSSON, Anette; LUMLEY, Douglas; DAVIDSSON, Fredrik; DOTEVALL, Leif; MATTSSON, Ann; TRYBALA, Edward. Surveillance of wastewater revealed peaks of SARS-CoV-2 preceding those of hospitalized patients with COVID-19. **Water Research**,

[S.L.], v. 189, p. 116620, fev. 2021. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2020.116620>.

VARADHARAJAN, R. B. Importance of biological parameters of water quality to reform water quality index in practice. **Advances in environment, computational chemistry and bioscience**, 2009.

VERNIE, Claudia (coord.). **Nitrato nas águas subterrâneas: desafios frente ao panorama atual**. São Paulo: Conselho Estadual de Recursos Hídricos, Câmara Técnica de Águas Subterrâneas, 2019. 128 p.

VOGELS, Chantal B. F. *et al.* Analytical sensitivity and efficiency comparisons of SARS-CoV-2 RT-qPCR primer-probe sets. **Nature Microbiology**, [S.L.], v. 5, n. 10, p. 1299-1305, 10 jul. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s41564-020-0761-6>.

WEN, Xiaotong; CHEN, Feiyu; LIN, Yixiang; ZHU, Hui; YUAN, Fang; KUANG, Duyi; JIA, Zhihui; YUAN, Zhaokang. Microbial Indicators and Their Use for Monitoring Drinking Water Quality—A Review. **Sustainability**, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 2249, 13 mar. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su12062249>.

WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard. World Health Organization. 2021. Disponível em: <https://covid19.who.int/>. Acesso em: 20 mai de 2022.

World Health Organization. Guidelines for Drinking-Water Quality, 4th ed.; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2011

WU, Yongjian; GUO, Cheng; TANG, Lantian; HONG, Zhongsi; ZHOU, Jianhui; DONG, Xin; YIN, Huan; XIAO, Qiang; TANG, Yanping; QU, Xiujuan. Prolonged presence of SARS-CoV-2 viral RNA in faecal samples. **The Lancet Gastroenterology & Hepatology**, [S.L.], v. 5, n. 5, p. 434-435, maio 2020. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s2468-1253\(20\)30083-2](http://dx.doi.org/10.1016/s2468-1253(20)30083-2).

XIAO, Fei; TANG, Meiwen; ZHENG, Xiaobin; LIU, Ye; LI, Xiaofeng; SHAN, Hong. Evidence for Gastrointestinal Infection of SARS-CoV-2. **Gastroenterology**, [S.L.], v. 158, n. 6, p. 1831-1833, maio 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1053/j.gastro.2020.02.055>.

YE, Yinyin; ELLENBERG, Robert M.; GRAHAM, Katherine E.; WIGGINTON, Krista R.. Survivability, Partitioning, and Recovery of Enveloped Viruses in Untreated Municipal Wastewater. **Environmental Science & Technology**, [S.L.], v. 50, n. 10, p. 5077-5085, 25 abr. 2016. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acs.est.6b00876>

ZHANG, Dayi; ZHANG, Xian; YANG, Yunfeng; HUANG, Xia; JIANG, Jingkun; LI, Miao; LING, Haibo; LI, Jing; LIU, Yi; LI, Guanghe. SARS-CoV-2 spillover into hospital outdoor environments. **Journal Of Hazardous Materials Letters**, [S.L.], v. 2, p. 100027, nov. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.hazl.2021.100027>.