

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA POLITÉCNICA

GABRIEL CAVELHÃO

**Avaliação da qualidade ambiental de antiga área de disposição de resíduos sólidos  
urbanos para fins de gerenciamento de áreas contaminadas**

São Paulo

2022

**Avaliação da qualidade ambiental de antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos para fins de gerenciamento de áreas contaminadas**

**Versão Corrigida**

Monografia apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para a obtenção do título de Especialista em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields.

Orientadora: Dra. Carolina Afonso Pinto

São Paulo

2022

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

### Catálogo na Publicação

Cavelhão, Gabriel

Avaliação da qualidade ambiental de antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos para fins de gerenciamento de áreas contaminadas / G. Cavelhão -- São Paulo, 2022.

62 p.

Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Química.

1.Resíduos sólidos urbanos 2.Aterro sanitário 3.Áreas contaminadas 4.Água subterrânea 5.Metais I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Química II.t.

## RESUMO

Cavelhão, Gabriel. Avaliação da qualidade ambiental de antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos para fins de gerenciamento de áreas contaminadas. 2022. 62 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

Os aterros são uma das principais formas de destinação final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) produzidos no Brasil. No entanto, parcela importante do volume total é disposta de maneira ambientalmente inadequada, em aterros controlados e lixões, apresentando potencial de contaminação ambiental das áreas de disposição e do entorno, abrangendo o solo, as águas subterrâneas e superficiais, trazendo riscos para a saúde pública e para os seres vivos em geral. O objetivo deste estudo foi avaliar a qualidade ambiental de uma antiga área de disposição de RSU no município de Passo Fundo/RS para fins de gerenciamento de áreas contaminadas de modo a atender o Licenciamento Ambiental do empreendimento. Foram coletadas amostras de solo, água superficial, água subterrânea e efluentes, em três campanhas de monitoramento, no período entre dezembro de 2018 e junho de 2021, em locais estrategicamente determinados dentro da área diretamente afetada pelo empreendimento. Os resultados sugerem influência do aterro de RSU na qualidade do solo do entorno das células de disposição, que apresentou concentrações de cromo, zinco, chumbo, mercúrio e arsênio acima dos valores de prevenção e de referência de qualidade, sendo classificado como de Classe 3, de acordo com a legislação vigente. A influência na qualidade da água subterrânea foi observada pelas concentrações de mercúrio e nitrato, acima dos valores de investigação, em pelo menos uma campanha de monitoramento. Nas águas superficiais relacionadas aos ambientes lânticos dentro da área do empreendimento, observou-se alteração na qualidade evidenciada pelas concentrações de DQO, fósforo, alumínio, manganês e coliformes termotolerantes acima dos padrões, que classificam o recurso hídrico com padrão de qualidade Classe 4, conforme legislação vigente. Por outro lado, os ambientes lóticos, situados no entorno do empreendimento apresentam qualidade dentro dos padrões definidos pela legislação, sugerindo que a influência negativa na qualidade das águas superficiais é restrita à área do empreendimento, não se extrapolando para a área externa. Os efluentes gerados da lixiviação do chorume das células não apresentam padrão de qualidade para lançamento nos corpos hídricos receptores, devido à ausência de tratamento. Por fim, constatadas as alterações de forma pontual em algumas variáveis de qualidade que apresentam padrões definidos pela legislação vigente sugere-se a continuidade das campanhas de monitoramento para confirmação dos resultados obtidos para que a área seja encaminhada para a fase de Investigação Detalhada, junto ao processo de licenciamento ambiental do empreendimento.

Palavras-chave: Resíduos sólidos urbanos. Aterro sanitário. Áreas contaminadas. Água subterrânea. Metais.

## ABSTRACT

Cavelhão, Gabriel. Evaluation of the environmental quality of an old area of disposal of urban solid waste for the purpose of managing contaminated areas. 2022. 62 f. Monografia (MBA em Gestão de Áreas Contaminadas, Desenvolvimento Urbano Sustentável e Revitalização de Brownfields) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.

Landfills are one of the main forms of final disposal of municipal solid waste (MSW) produced in Brazil. However, an important part of the total volume is disposed of in an environmentally inappropriate manner, in controlled landfills and waste dumps, presenting potential for environmental contamination of the disposal areas and the surroundings, covering the soil, groundwater and surface water, bringing risks to public health and for living beings in general. The objective of this study was to evaluate the environmental quality of an old MSW disposal area in the municipality of Passo Fundo/RS for the purpose of managing contaminated areas in order to comply with the Environmental Licensing of the enterprise. Soil, surface water, groundwater and effluent samples were collected in three monitoring campaigns, between December 2018 and June 2021, in strategically determined locations within the area directly affected by the enterprise. The results suggest the influence of the MSW landfill on the quality of the soil around the disposal cells, which presented concentrations of chromium, zinc, lead, mercury and arsenic above the prevention and quality reference values, being classified as Class 3, in accordance with current legislation. The influence on groundwater quality was observed by mercury and nitrate concentrations, above investigation values, in at least one monitoring campaign. In surface waters related to lentic environments within the project area, there was a change in quality evidenced by the concentrations of COD, phosphorus, aluminum, manganese and thermotolerant coliforms above the standards, which classify the water resource with a Class 4 quality, according to current legislation. On the other hand, the lotic environments, located in the surroundings of the enterprise, present quality within the standards defined by the legislation, suggesting that the negative influence on the quality of surface water is restricted to the area of the enterprise, not extrapolating to the external area. The effluents generated from the leachate leaching from the cells do not have a quality standard for release into the receiving water bodies due to the lack of treatment. Finally, once the changes have been observed in some quality variables that present standards defined by the current legislation, it is suggested to continue monitoring campaigns to confirm the results obtained so that the area is forwarded to the Detailed Investigation phase, together with the process environmental licensing of the enterprise.

Keywords: Municipal solid waste. Landfill. Contaminated areas. Groundwater. Metals.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Dados quantitativos de destinação adequada e inadequada em 2010 e em 2019 no Brasil.....	13
Figura 2 – Mapa da localização geográfica do município de Passo Fundo.....	18
Figura 3 - Localização e caracterização da antiga área de disposição de RSU de Passo Fundo/RS.....	21
Figura 4 – Mapa de localização dos pontos de amostragem de solo.....	22
Figura 5 - Vista geral dos equipamentos (trado, frascos etc.) e locais de amostragem de solo .....	24
Figura 6 - Mapa com a localização dos quatro poços de monitoramento da água subterrânea .....	26
Figura 7 - Poços de monitoramento de água subterrânea.....	27
Figura 8 - Mapa com a localização dos pontos de amostragem de água superficial (lagoas e sanga) e efluente (lagoa de acúmulo) .....	30
Figura 9 - Locais de coleta de água na sanga (montante (A) e jusante (B)), lagoa de água superficial 1 (C) e 2 (D) e lagoa de efluentes (E).....	30
Figura 10 - Concentrações de cromo, zinco, chumbo, mercúrio e arsênio superiores aos VRQs e VPs no solo nos pontos amostrados no entorno das células de disposição de RSU. *	33
Figura 11 – Concentrações de cádmio, cobre e níquel inferiores aos VRQs no solo nos pontos amostrados no entorno das células de disposição de RSU. * .....	34
Figura 12 – Concentrações de alumínio, ferro e manganês no solo nos pontos amostrados no entorno das células de disposição de RSU. * .....	36
Figura 13 – Concentrações de ferro, manganês, mercúrio e nitrato nos quatro poços de monitoramento da água subterrânea instalados a montante e a jusante das células de disposição de RSU *.....	38
Figura 14 – Concentrações de alumínio, coliformes termotolerantes e totais e turbidez nos quatro poços de monitoramento da água subterrânea instalados a montante e a jusante das células de disposição de RSU *.....	39
Figura 15 – pH, condutividade elétrica, DBO5, DQO e sólidos totais nos quatro poços de monitoramento da água subterrânea instalados a montante e a jusante das células de disposição de RSU *.....	41
Figura 16 – Concentrações de cádmio, chumbo, cobre, cromo, níquel e zinco nos quatro poços de monitoramento da água subterrânea instalados a montante e a jusante das células de disposição de RSU * .....	42
Figura 17 – Concentrações de DBO5, DQO, oxigênio dissolvido, fósforo, alumínio, manganês dissolvido e total e coliformes termotolerantes e totais nas lagoas de águas superficiais (1 e 2) e na sanga, a montante e a jusante do empreendimento * .....	45

Figura 18 – Temperatura, pH, condutividade elétrica, alcalinidade total, sólidos sedimentáveis e suspensos, cloreto, sulfeto, sulfato, nitrogênio amoniacal e total, ferro dissolvido e total, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco nas lagoas de águas superficiais (1 e 2) e na sanga, a montante e a jusante do empreendimento \* .....48

Figura 19 – Resultados gerais das análises físico-químicas e microbiológicas do efluente gerado pelo empreendimento a partir da lixiviação do chorume \*.....52

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Metodologia de análise de solo e limites de quantificação de cada SQI.....	25
Quadro 2 - Preservantes utilizados e a respectiva quantidade conforme o tipo de frasco....	26
Quadro 3 - Metodologia de análise da água subterrânea e limites de quantificação (L.Q.) de cada substância química de interesse (SQI) .....	27
Quadro 4. Metodologia de análise da água subterrânea e limites de quantificação (L.Q.) de cada substância química de interesse (SQI). ....	31



## **LISTA DE SIGLAS**

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ACI – Área Contaminada sob Intervenção

AI – Área Contaminada sob Investigação

AMR – Área em Processo de Monitoramento para Reabilitação

ANA – Agência Nacional das Águas

AS – Área Suspeita de Contaminação

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente

COT – Carbono Orgânico Total

CRH – Conselho de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul

CTC – Capacidade de Troca de Cátions

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EPA – Environmental Protection Agency

FEE – Fundação de Economia e Estatística

FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

LQ – Limite de Quantificação

MS – Ministério da Saúde

NBR – Norma Brasileira

PC – Portaria de Consolidação

PGQ – Programa de Garantia de Qualidade

PM – Poço de Monitoramento

PMPF – Prefeitura Municipal de Passo Fundo

RCD – Resíduos da Construção e Demolição

RSS – Resíduos do Serviço de Saúde

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente

SMWW – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

SNVS – Sistema Nacional de Vigilância Sanitária

SDT – Sólidos Dissolvidos Totais

SQI – Substância Química de Interesse

SST – Sólidos Suspensos Totais

SUASA – Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária

TPH – Total Petroleum Hydrocarbon

VP – Valor de Prevenção

VI – Valor de Intervenção

VRQ – Valor de Referência de Qualidade

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
2. OBJETIVOS.....	14
3. JUSTIFICATIVA.....	14
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
4.1 Formas de disposição final de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) .....	15
4.2 Problemática ambiental da disposição final inadequada .....	15
4.3 Etapas de investigação ambiental aplicadas ao gerenciamento de áreas contaminadas .	16
4.4 Caracterização da área de estudo .....	17
5. MATERIAIS E MÉTODOS .....	20
5.1 Localização do empreendimento .....	20
5.2 Monitoramento do solo.....	21
5.3 Monitoramento das águas subterrâneas .....	25
5.4 Monitoramento das águas superficiais e efluentes .....	28
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
6.1 Solo.....	32
6.2 Águas subterrâneas .....	36
6.3 Águas superficiais.....	43
6.4 Efluentes .....	51
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	57
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	60

## 1. INTRODUÇÃO

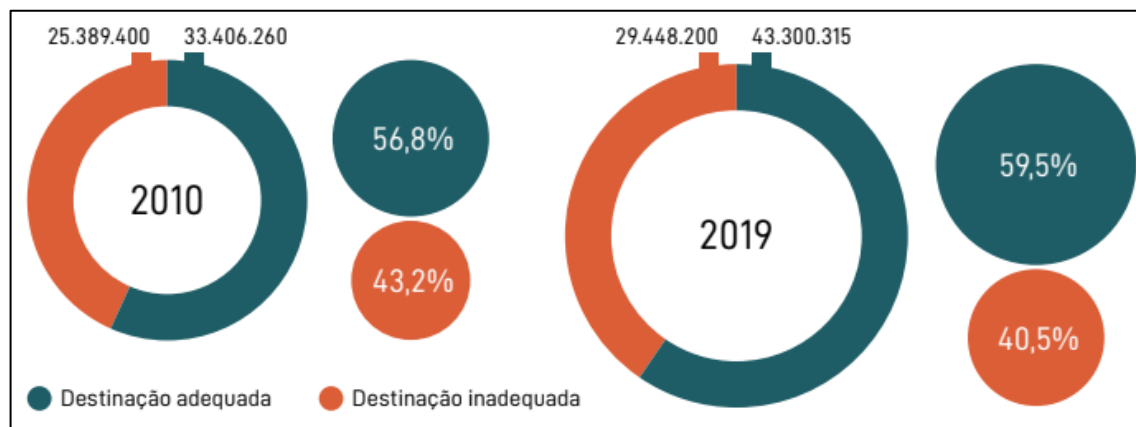
No Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, dispõe sobre os princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis. Essa legislação define que a destinação final ambientalmente adequada de resíduos inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA, do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária - SNVS e do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária - SUASA, entre elas a disposição final. A disposição final ambientalmente adequada citada pela lei refere-se à disposição de rejeitos em aterros, de forma ordenada, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos (BRASIL, 2010). Os rejeitos, de acordo com a Lei, são resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição em aterro.

No Brasil, entretanto, o diagnóstico nos mostra que uma parcela significativa dos resíduos sólidos urbanos (RSU) gerados possui destinação inadequada. Em 2019, 40,5% dos resíduos sólidos urbanos que precisaram ser destinados, que representam 29.448.200 ton, foram para lixões e aterros controlados, enquanto somente 59,5% foram destinados adequadamente em aterros sanitários. Quando comparado ao ano de 2010, embora tenha tido um aumento da quantidade de RSU a ser destinada, a diminuição da destinação inadequada foi de somente 2,7% (Fig. 1) (ABRELPE, 2021).

A situação atual da disposição final inadequada de RSU no Brasil traz consigo os problemas potenciais de contaminação das áreas de disposição e do entorno, podendo abranger vários compartimentos ambientais importantes, como o solo, as águas subterrâneas e as águas superficiais, trazendo riscos para a saúde das pessoas e para os seres vivos. O monitoramento e a gestão ambiental dessas áreas são determinados por legislações específicas, devido às fontes potenciais de contaminação e os riscos associados. No Brasil, a Resolução CONAMA nº 420 de 28 de dezembro de 2009 dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

Além disso, outras legislações específicas, inclusive a nível estadual e municipal, podem ser aplicadas quando for o caso, dependendo da região do país, pois apresentam valores orientadores para os compartimentos ambientais mais importantes.

Figura 1 – Dados quantitativos de destinação adequada e inadequada em 2010 e em 2019 no Brasil



Fonte: ABRELPE (2021).

No presente trabalho foi avaliada uma antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos no município de Passo Fundo/RS. O empreendimento, que operou entre os anos 1992 e 2011, fez a disposição de RSU em uma área de 50.300 m<sup>2</sup>, formada por quatro células de disposição. Nos anos iniciais da operação, as células A e B foram operadas na forma de um lixão, passando posteriormente para um aterro controlado em conjunto com a célula C. A célula D, a última célula operada, foi projetada para disposição final ambientalmente adequada na forma de aterro sanitário.

A gestão da área, por meio de licenciamento de remediação de áreas contaminadas, iniciou-se junto ao órgão ambiental estadual (FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler), após encerramento da atividade, por meio da Fase I – Avaliação Preliminar. Posteriormente, em 2016 iniciou-se a Fase II – Investigação Confirmatória, que está sendo desenvolvida até hoje, de forma concomitante com o monitoramento ambiental da área, onde são realizadas campanhas semestrais de análise de solo, água superficial, água subterrânea e efluente (lixiviado), sendo avaliado a influência do empreendimento sobre a qualidade ambiental dos compartimentos analisados.

## **2. OBJETIVOS**

Os objetivos gerais deste estudo são:

1. Apresentar o histórico de uso e gerenciamento ambiental da antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos;
2. Avaliar a qualidade ambiental atual da área em 3 compartimentos: solo, água subterrânea e água superficial;
3. Analisar e apresentar uma proposta para gestão futura da área dentro de um plano de gerenciamento de áreas contaminadas, de modo a atender o Licenciamento Ambiental do empreendimento.

## **3. JUSTIFICATIVA**

Os aterros controlados e lixões são utilizados para destinação final de grande parcela dos RSU produzidos no Brasil, apresentando potencial de contaminação ambiental do solo, das águas superficiais e subterrâneas. A avaliação da qualidade ambiental dessas áreas se torna indispensável na medida que esses empreendimentos podem representar riscos para a saúde pública e para os seres vivos em geral. O monitoramento da qualidade ambiental por meio da determinação das concentrações das substâncias químicas de interesse nos compartimentos diretamente afetados e do entorno e a comparação com os padrões de referência para cada SQI definidos pela legislação garantirá um diagnóstico preciso da influência destes empreendimentos sobre a qualidade ambiental. Os resultados obtidos poderão nortear as fases subsequentes do programa de gerenciamento de áreas contaminadas, indicando a necessidade ou não da continuidade do monitoramento, avaliações de risco e possíveis ações de intervenção.

## **4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **4.1 Formas de disposição final de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)**

As formas de disposição final de resíduos sólidos urbanos são divididas em ambientalmente adequadas e ambientalmente inadequadas, segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Somente a forma ambientalmente adequada é segura e permitida pela legislação vigente. Os aterros sanitários e os aterros sanitários de pequeno porte são exemplos de forma de disposição adequada de RSU, diferenciando-se além do porte, pela simplificação de alguns aspectos construtivos, no caso dos aterros sanitários de pequeno porte. Ao contrário, os lixões e aterros controlados enquadram-se nas formas inadequadas de disposição (MELO, 2021). Segundo a NBR 8.419 (ABNT, 1992), nos aterros sanitários são utilizadas técnicas de disposição que não causam danos à saúde pública e a segurança, minimizando impactos ambientais. Os resíduos sólidos são confinados, por meio de técnicas de engenharia, à menor área possível e ao menor volume possível, com execução, a cada jornada de trabalho, de cobertura com uma camada de terra. Nos aterros controlados, as técnicas de engenharia, os aspectos legais e de proteção ao meio ambiente não são atendidos de forma integral, já nos lixões os resíduos são dispostos diretamente no solo, que não possui nenhum sistema de proteção do meio ambiente e da saúde pública (MELO, 2021).

### **4.2 Problemática ambiental da disposição final inadequada**

A ausência de proteção integral ao meio ambiente e à saúde pública, no caso dos lixões e aterros controlados, traz consigo os problemas relacionados a poluição e a contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas, devido a composição físico-química e microbiológica dos resíduos e os mecanismos de transporte de contaminantes pelos diversos compartimentos ambientais. Os RSU possuem composição gravimétrica variável, que depende de inúmeros fatores, como por exemplo: fatores econômicos (mais influente), sazonais/climáticos, demográficos, geográficos, culturais, temporais, políticos, legais/normativos e especiais (VIANA; SILVEIRA, MARTINHO, 2015). No Brasil, em média, os RSU apresentam 45,3% de matéria orgânica, 16,8% de plástico, 14,1% de rejeito, 10,4% de papel e papelão, 5,6% de materiais têxteis, couros e borracha, 2,7% de vidro, 2,3% de metais, 1,4% de embalagens multicamadas e 1,4% de outros resíduos que não deveriam estar no fluxo de RSU, como por exemplo, resíduos do serviço de saúde (RSS), eletroeletrônicos, pilhas e baterias, resíduos perigosos, resíduos da construção e demolição (RCD), pneus, óleos e graxas, embalagens de agrotóxico e outros resíduos perigosos (ABRELPE, 2020). A fração de matéria

orgânica e de rejeitos é a que apresenta maior potencial de contaminação devido a sua composição físico-química e microbiológica e a possibilidade de lixiviação. O lixiviado caracteriza-se por ser uma matriz complexa composta por matéria orgânica, metais pesados, poluentes orgânicos e inorgânicos e água da chuva que infiltrou a partir da superfície da célula de disposição (CHRISTENSEN et al, 2001). Essa matriz apresenta normalmente pH ácido, elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), elevados teores de carbono orgânico total (COT), sólidos suspensos e sólidos dissolvidos totais (SST e SDT), componentes de amônia e enxofre, poluentes orgânicos recalcitrantes e metais pesados (MOODY; TOWNSEND, 2017).

A distribuição destes contaminantes, que se acumulam na base da célula de disposição de RSU, entre os diversos compartimentos ambientais pode ocorrer através da percolação no solo com possibilidade de atingir o lençol freático e as águas superficiais (ALENCAR et al., 2015). A percolação dos contaminantes pode ser facilitada quando o solo onde houve a disposição apresentar maior permeabilidade, característica de solos com maiores teores de areia e cascalho. Neste caso, a contaminação poderá abranger áreas do entorno, muito maiores que a própria área de disposição (FEITOSA & FILHO, 2000). A alteração da qualidade do solo, das águas superficiais e subterrâneas na área de disposição dos RSU e nas áreas do entorno seria o maior impacto da lixiviação do chorume gerado pela decomposição da fração orgânica dos RSU, podendo trazer riscos a saúde humana e dos seres vivos em geral.

#### **4.3 Etapas de investigação ambiental aplicadas ao gerenciamento de áreas contaminadas**

A Resolução CONAMA nº 420 de dezembro de 2009 é a legislação a nível federal que dispõe sobre o gerenciamento de áreas contaminadas e estabelece critérios e valores orientadores de qualidade do solo e água subterrânea. De acordo com essa Resolução, a contaminação do solo e das águas superficial e subterrânea ocorrerá quando a concentração de uma ou mais substâncias químicas, decorrente de atividades antrópicas, restrinja a utilização do recurso ambiental para os usos atual ou pretendido, definidos com base em avaliação de risco a saúde humana, assim como aos bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico.

Os procedimentos e as ações de investigação e gestão, de acordo com o Art. 23 da Resolução CONAMA nº 420/2009, contemplam as seguintes etapas: I – identificação, II – diagnóstico e III – intervenção. Na etapa I – identificação, são identificadas as áreas suspeitas de



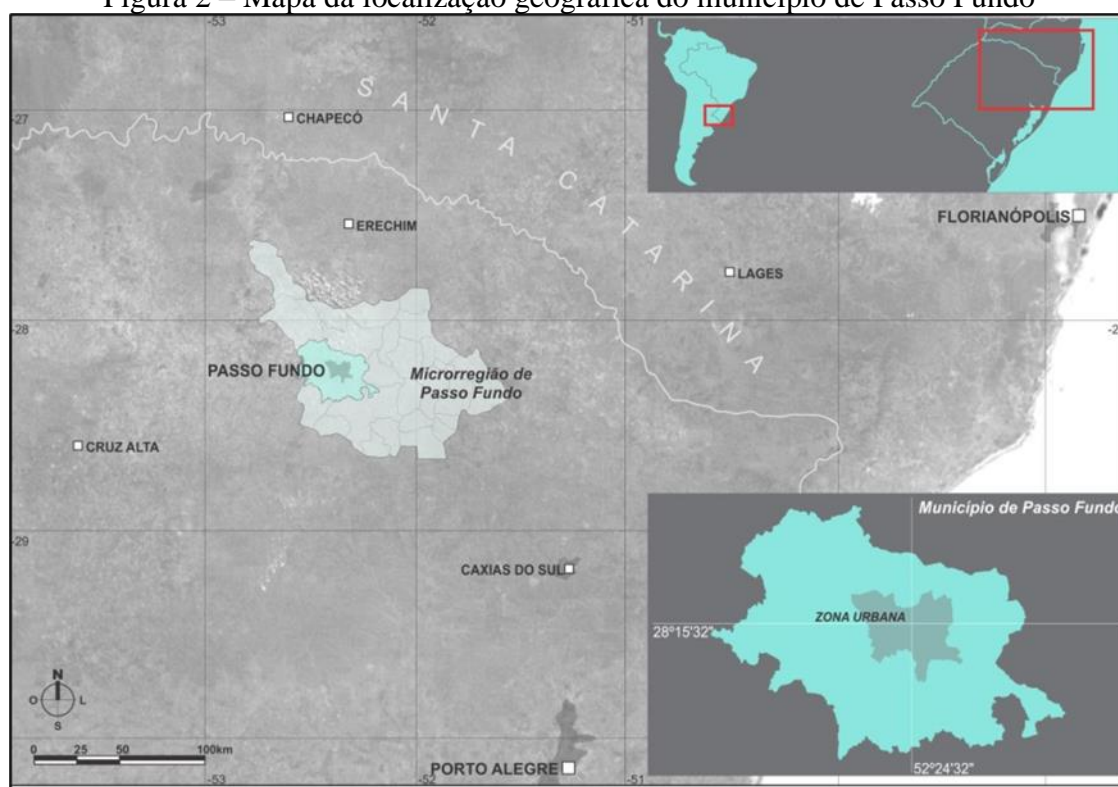
contaminação com base em avaliação preliminar, podendo ser considerada área suspeita de contaminação (AS) se observados indícios da presença de contaminação ou identificadas condições que possam representar perigo. Na AS deverá ser realizada uma investigação confirmatória, podendo a área ser declarada contaminada sob investigação (AI) se comprovadamente for constatada a contaminação com concentrações de substâncias no solo ou nas águas subterrâneas acima dos valores de investigação. Na etapa II – diagnóstico, poderá a área ser declarada contaminada sob intervenção (ACI) se for constatada a presença de substâncias químicas em fase livre ou comprovada, após investigação detalhada e avaliação de risco, a existência de risco à saúde humana. Na etapa III – intervenção, são executadas ações de controle para eliminação do perigo ou redução, a níveis toleráveis, dos riscos identificados na etapa II de diagnóstico, bem como o monitoramento da eficácia dessas ações. A área ainda poderá ser declarada em processo de monitoramento para reabilitação (AMR) se o risco for considerado tolerável após execução de avaliação de risco.

#### **4.4 Caracterização da área de estudo**

A área de estudo refere-se a uma antiga área de disposição de resíduos sólidos urbanos no município de Passo Fundo/RS. O empreendimento, que operou entre os anos 1992 e 2011, fez a disposição de RSU em uma área de 50.300 m<sup>2</sup>, formada por quatro células de disposição. Nos anos iniciais da operação, as células A e B foram operadas na forma de um lixão, sem sistemas de controle ambiental, passando posteriormente para um aterro controlado em conjunto com a célula C, onde foram implementadas algumas ações de controle, como cobertura das células e coleta e condução do lixiviado para lagoa de acúmulo impermeabilizada. A célula D, a última célula operada, foi projetada para disposição final ambientalmente adequada na forma de aterro sanitário, em conformidade com as normativas vigentes.

O município de Passo Fundo-RS localiza-se na Mesorregião geográfica Noroeste Rio-Grandense e na microrregião geográfica de Passo Fundo, distante 289 km da capital Porto Alegre (Fig. 1). É um município de porte médio, sendo o maior da região Norte do estado do Rio Grande do Sul, com 184.826 habitantes de acordo com censo de 2010 do IBGE, com população estimada para 2021 de 206.103 habitantes (IBGE, 2021). O território ocupa 784,407 km<sup>2</sup>, com altitude média de 687 m em relação ao nível do mar e a densidade demográfica em 2010 era de 235,92 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2021). Conforme a classificação de Köppen, o clima é Mesotérmico úmido com verão quente (CFa), com pluviosidade acumulada anual situada entre 1650 e 1850 mm e temperatura média anual situada entre 18 e 20°C (FEE, 2017).

Figura 2 – Mapa da localização geográfica do município de Passo Fundo



Fonte: PMPF (2014).

Geologicamente, o território de Passo Fundo pertence à Formação Serra Geral, da Província Paraná, que é formada por rochas de origem vulcânica, denominado especificamente como sendo de vulcanismo fissural Mesozóico do tipo plateau, com o predomínio de basaltos de fácies Parapanema. As fácies Parapanema são constituídas por derrames basálticos granulares finos, melanocráticos, contendo horizontes vesiculares espessos preenchidos por quartzo, zeolitas, carbonatos, seladonita, Cu nativo e barita (WILDNER et al., 2008).

O solo da região da área de estudo é classificado pedologicamente como sendo Latossolo Vermelho aluminoférrico húmico. Os Latossolos são solos em avançado estágio de intemperização, bem drenados, normalmente profundos a muito profundos, apresentando no perfil uma sequência de horizontes A-Bw-C, onde o horizonte Bw é o horizonte diagnóstico B latossólico. Em alguns casos, podem ser pouco profundos, em associação com inclusões de Neossolos Regolíticos e Cambissolos Háplicos. Os Latossolos têm pouco ou nenhum incremento de argila com a profundidade e apresentam uma transição difusa ou gradual entre os horizontes, de difícil diferenciação devido a sua homogeneidade. Por serem solos muito intemperizados (processo de ferralitização), têm predomínio de caulinita e óxidos de ferro, o que lhes confere baixa CTC (atividade da argila < 17 cmolc/kg), em decorrência da lixiviação intensa a que foram submetidos durante a sua formação. A maioria dos Latossolos apresenta

acentuada acidez, baixa reserva de nutrientes e toxidez por alumínio para as plantas. Entretanto, também ocorrem Latossolos com alta saturação por bases (eutroféricos), como, por exemplo, em áreas da região do Alto Uruguai (KÄMPF, N.; STRECK, E. V., 2010).

Os Latossolos são diferenciados em Latossolos Brunos e Latossolos Vermelhos, conforme a cor predominante no horizonte B. Os Latossolos Vermelhos podem ser distroféricos devido à baixa saturação por bases ( $< 50\%$ ) e elevado teor de ferro ( $\geq 18\%$ ); aluminoféricos, quando têm caráter aluminico ( $Al \geq 4 \text{ cmolc/kg}$ , saturação por  $Al \geq 50\%$ ) e elevado teor de ferro ( $Fe_2O_3 \geq 18\%$ ); distróficos, quando apresentam baixa saturação por bases ( $< 50\%$ ) associada a baixo teor de ferro ( $Fe_2O_3 < 18\%$ ); ou ainda em menor extensão, eutroféricos, quando apresentam saturação por bases  $\geq 50\%$  e teor de ferro  $\geq 18\%$ ). Os Latossolos com alto teor de ferro ( $Fe_2O_3 \geq 18\%$ ) e mais argilosos são derivados de rochas efusivas básicas (basaltos), enquanto aqueles originados de sedimentos mais arenosos ou sua mistura com materiais da alteração de basalto apresentam textura média e menores teores de ferro (KÄMPF, N.; STRECK, E. V., 2010).

A ocorrência deste tipo de solo e suas classes, em maiores extensões, estão localizadas na região do Planalto, estendendo-se desde Vacaria, no Leste, a São Luiz Gonzaga, no Oeste, e ao Alto Uruguai, no Norte (KÄMPF, N.; STRECK, E. V., 2010).

O município de Passo Fundo pertence ao Sistema de Aquífero Serra Geral I. Este sistema é composto, de um modo geral, por rochas basálticas, amigdaloides e fraturadas, capeadas por espesso solo avermelhado. São aquíferos que apresentam salinidade, em geral, baixa, com média de 200 mg/L, mas que em alguns locais podem ter influência de águas ascendentes do Sistema Aquífero Guarani, podendo apresentar águas mais salinas, sódicas e de elevado pH (entre 9 e 10). Este sistema aquífero é muito utilizado para abastecimento humano nas sedes municipais, em pequenas comunidades rurais e em assentamentos do INCRA, e por se tratar de aquífero fraturado, apresentam capacidades específicas variáveis, predominando entre 1 e 4 m<sup>3</sup>/h, mas que em alguns casos podem chegar a 50 m<sup>3</sup>/h (FREITAS, M. A., 2010).

A região onde encontra-se inserido o município de Passo Fundo-RS, pertence ao Bioma Mata Atlântica. De acordo o Mapa de aplicação da Lei da Mata Atlântica (Lei nº 11.428/2006), o território do município abrange duas formações vegetais distintas: a Floresta Ombrófila Mista ou Floresta com Araucárias, em menor extensão, e a Estepe Gramíneo-Lenhosa com Floresta-de-Galeria em maior extensão, sendo que, atualmente, grande parte destas áreas encontram-se ocupadas por uma matriz agrícola predominante com fragmentos florestais inseridos esparsamente.

## **5. MATERIAIS E MÉTODOS**

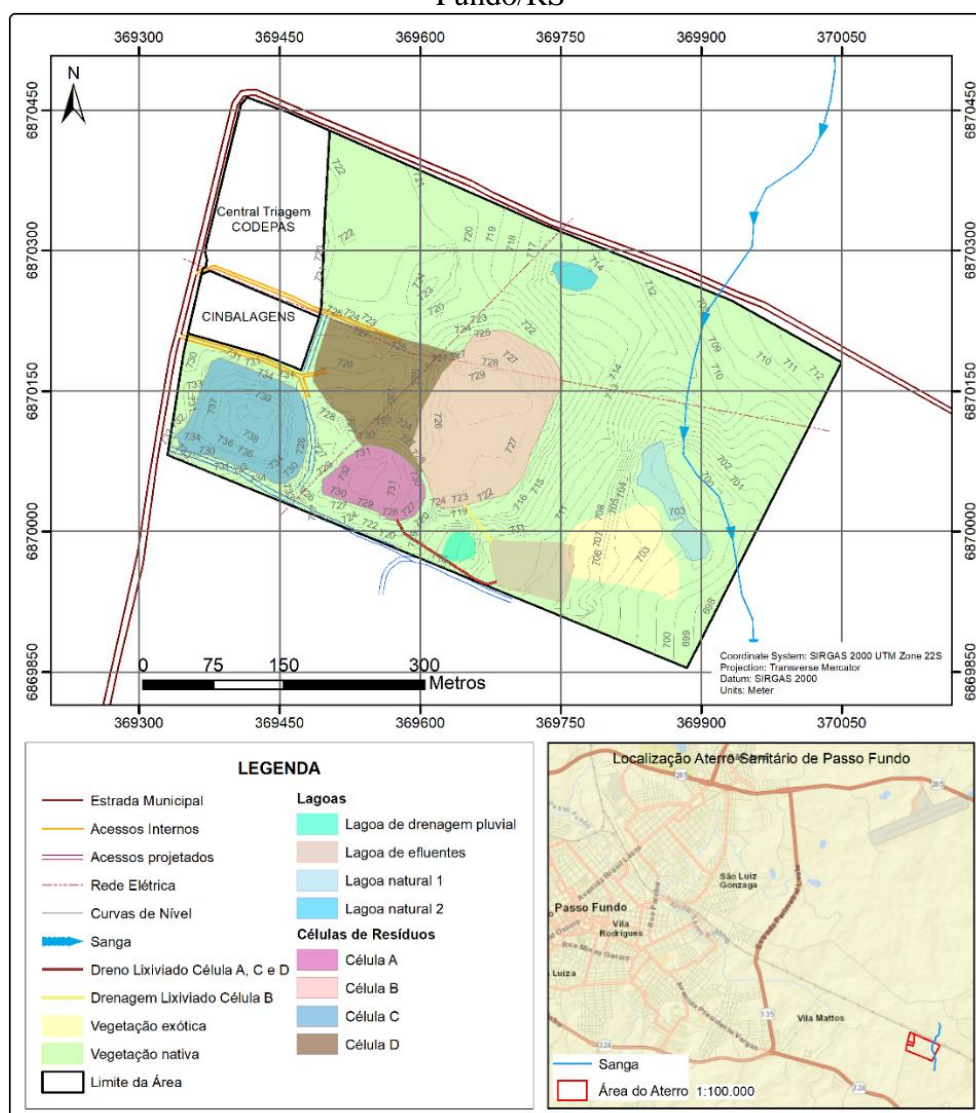
Os dados apresentados no presente trabalho referem-se a três campanhas de monitoramento do solo, das águas superficiais, dos efluentes e da água subterrânea realizadas no período de dezembro de 2018 a junho de 2021. Todos os dados fazem parte do processo de licenciamento ambiental do empreendimento junto ao órgão ambiental (FEPAM) e foram disponibilizados e autorizados pela Prefeitura Municipal para uso no presente trabalho. Os dados da primeira campanha (dez/2018) foram obtidos por meio de vistas aos relatórios existentes. Já os dados da segunda e terceira campanha de monitoramento foram obtidos por meio de contrato de prestação de serviços entre a Prefeitura Municipal e empresa terceirizada, cujo responsável técnico é o autor do presente trabalho.

### **5.1 Localização do empreendimento**

A área do antigo aterro de RSU de Passo Fundo está localizada em área rural do interior do município, cujo acesso ocorre pela ERS 324 (Fig. 3). A maior parte das áreas do entorno do aterro são de uso agrícola, onde ocorre o cultivo de cereais (soja, milho e trigo) e uma pequena parcela da área lindeira ao aterro é de uso industrial onde há uma empresa de reciclagem de embalagem de agrotóxico, além de uma área de transbordo de RSU. Portanto, na avaliação da qualidade ambiental da área utilizou-se os valores orientadores para uso agrícola, considerando o uso prioritário das áreas do entorno e que apresentam valores mais restritivos se comparados com o uso industrial.

Atualmente, a alteração da qualidade do solo das áreas do entorno pode representar riscos as atividades agrícolas desenvolvidas, no que se refere aos efeitos negativos no desenvolvimento das plantas, nos serem vivos em geral e na qualidade dos produtos que terão ingresso na cadeia alimentar, podendo trazer riscos à saúde humana. No futuro, pela possibilidade de expansão da área urbana para esta região, os riscos diretos à saúde humana poderão ocorrer devido a exposição ao solo e as águas superficiais e subterrâneas potencialmente contaminadas.

Figura 3 - Localização e caracterização da antiga área de disposição de RSU de Passo Fundo/RS



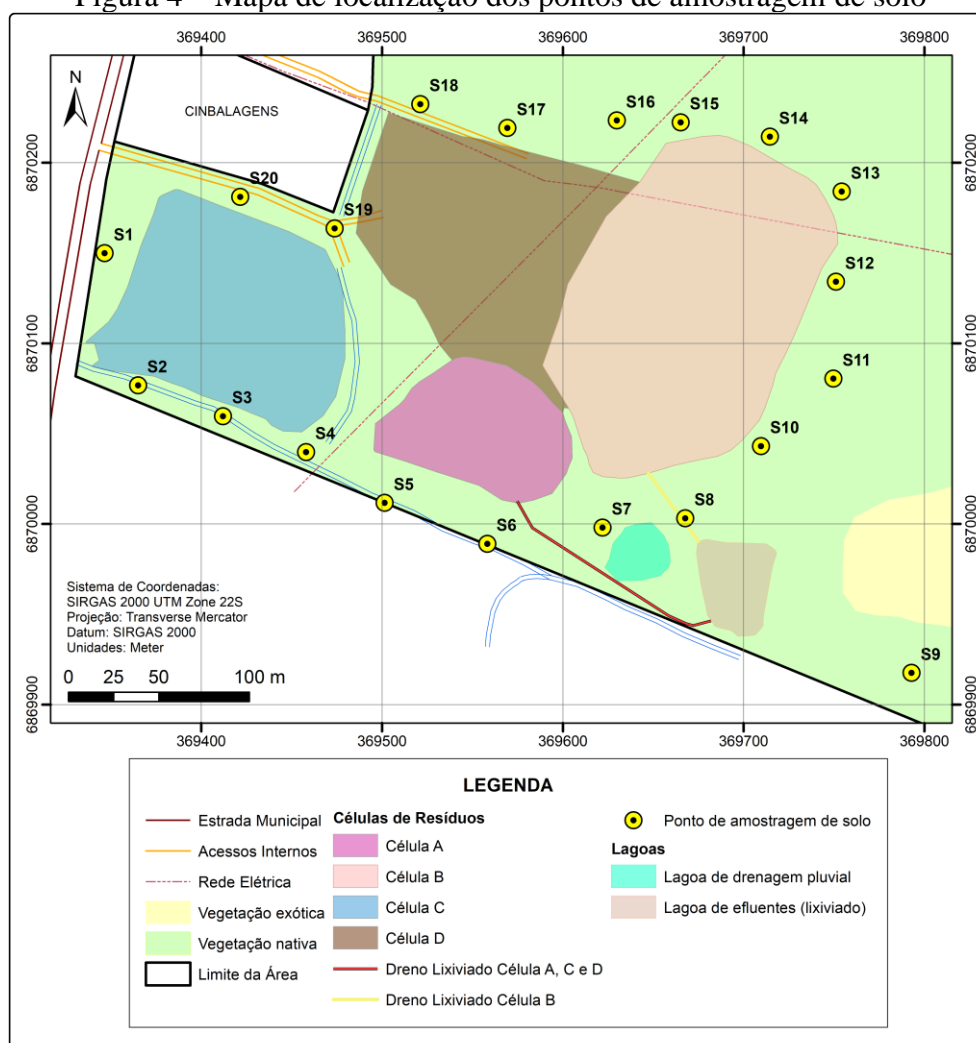
Fonte: elaborado pelo Autor (2021).

## 5.2 Monitoramento do solo

O monitoramento do solo foi realizado com o objetivo de avaliar a qualidade do mesmo no entorno das antigas células de disposição de resíduos. No local, encontram-se 04 células de resíduos, identificadas como A, B, C e D, conforme Figura 4 e informado anteriormente. A localização dos pontos de amostragem foi direcionada considerando as células como fontes primárias de uma possível contaminação do solo. Para isso, foram coletadas amostras em 20 pontos com espaçamento máximo entre pontos de 50 metros e observando a distância de 5 a 10 metros da massa de resíduos. A localização dos pontos de amostragem está apresentada na Figura 4.

A amostragem de solo foi realizada com trado manual com coleta no perfil de 20 a 50 cm de profundidade. Essa profundidade de coleta é justificada pela necessidade de amostragem o mais próximo possível da base da célula de resíduos, que é a fonte primária de contaminação. As células de disposição de resíduos foram construídas sobre o terreno e, dessa forma, a base das mesmas está situada próximo da superfície. Embora se saiba, de acordo com o modelo conceitual, que numa possível contaminação de solo o contaminante migrará verticalmente a partir da base da célula, a coleta nestes locais não é tecnicamente viável, uma vez que, há uma camada espessa de resíduos para atravessar e, além disso, ocasionaria a perfuração da camada impermeável da base da célula. Portanto, a coleta na profundidade determinada no entorno das células estaria mais próxima possível do local de uma possível contaminação e apresenta viabilidade técnica para execução.

Figura 4 – Mapa de localização dos pontos de amostragem de solo



Fonte: elaborado pelo Autor (2021).

A amostragem foi realizada com trado manual, do tipo tubular, com diâmetro interno de 25 mm, fabricado em aço inox, com espessura da parede de 3 mm (Fig. 5). Possui 100 cm de comprimento e capacidade de coleta de amostras em até 80 cm de profundidade. O trado possui extremidade inferior em formato angular (45°) que facilita a penetração no solo, que é executada com auxílio de um martelo, por meio de sucessivos golpes na extremidade superior. Uma abertura lateral (meia cana) na extremidade final, com 43 cm de comprimento, permite a retirada da amostra com facilidade no perfil desejado.

As amostras foram encaminhadas para laboratório terceirizado que foi responsável pela realização das análises. O laboratório contratado possui acreditação do INMETRO e cadastro nos órgãos de controle competentes.

As amostras coletadas, aprox. 400 g em cada ponto, foram acondicionadas em frascos individuais de polietileno, devidamente identificados, fornecidos pelo laboratório. Os frascos foram, anteriormente à coleta, preparados pelo laboratório conforme procedimento interno (PGQ-018) baseado na NBR 9898 (ABNT, 1987) (Preservação e técnicas de amostragem de afluentes líquidos e corpos receptores – Procedimento), no SMWW 23ª edição, no Guia nacional de coleta e preservação de amostras (ANA). Quanto a lavagem geral, foi realizado o seguinte procedimento:

- a) Inicialmente deve-se retirar todas as etiquetas para posterior lavagem, com exceção das fitas identificadoras (TPH, vermelha, amarela, verde, azul, rosa, branca,...);
- b) Lavar internamente os frascos e as tampas com água e detergente, utilizando escovetes;
- c) Enxaguar os frascos e as tampas com água corrente até a eliminação das sujidades e da espuma;
- d) Enxaguar os frascos e as tampas, no mínimo, 5 vezes com água de osmose.

O trado utilizado para a coleta da amostra era lavado, após a coleta em cada ponto, com água limpa (potável), como forma de evitar a contaminação cruzada.

As amostras recepcionadas no laboratório foram inspecionadas e classificadas como adequadas, conforme relatório de recebimento (cópia em anexo).

Foram definidas como substâncias químicas de interesse para a análise das amostras de solo: Alumínio, Arsênio, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Ferro, Manganês, Mercúrio, Níquel e



Zinco. Essas variáveis foram estabelecidas pelo órgão ambiental competente (FEPAM) por meio da Licença Única nº 00486/2020, relativa ao monitoramento ambiental da área em estudo. As variáveis de monitoramento consideram a composição físico-química do lixiviado de aterro de RSU e seu potencial de contaminação dos diversos compartimentos ambientais.

Figura 5 - Vista geral dos equipamentos (trado, frascos etc.) e locais de amostragem de solo



As análises foram realizadas pelo método e respectivos limites de quantificação (L.Q.) apresentados no Quadro 1.



Quadro 1 - Metodologia de análise de solo e limites de quantificação de cada SQI

<b>SQI</b>	<b>L.Q.</b>	<b>Unidade</b>	<b>Metodologia</b>
Alumínio	5,0	mg/kg	EPA 3051A / EPA 200.7: 2001 da EPA
Arsênio	0,8	mg/kg	EPA 3051A / EPA 200.7: 2001 da EPA
Cádmio	0,1	mg/kg	EPA 3051A / EPA 200.7: 2001 da EPA
Chumbo	1,0	mg/kg	EPA 3051A / EPA 200.7: 2001 da EPA
Cobre	5,0	mg/kg	EPA 3051A / EPA 200.7: 2001 da EPA
Cromo	1,0	mg/kg	EPA 3051A / EPA 200.7: 2001 da EPA
Ferro	5,0	mg/kg	EPA 3051A / EPA 200.7: 2001 da EPA
Manganês	2,5	mg/kg	EPA 3051A / EPA 200.7: 2001 da EPA
Mercurio	0,1	mg/kg	EPA 3051A / EPA 200.7: 2001 da EPA
Níquel	1,0	mg/kg	EPA 3051A / EPA 200.7: 2001 da EPA
Zinco	10,0	mg/kg	EPA 3051A / EPA 200.7: 2001 da EPA

\* EPA - Environmental Protection Agency

### 5.3 Monitoramento das águas subterrâneas

O monitoramento das águas subterrâneas foi realizado com o objetivo de avaliar uma possível interferência da disposição de RSU na qualidade da mesma, comparando os resultados obtidos das substâncias químicas de interesse (SQI) com os valores orientadores definidos pela legislação. O empreendimento possui quatro poços de monitoramento do aquífero freático, sendo um deles situado a montante das células de disposição de resíduos e três situados a jusante, conforme apresentado na Figura 6.

A amostragem e análise da água subterrânea foram realizadas por laboratório terceirizado e acreditado pelo INMETRO que segue as diretrizes da NBR ISO/IEC 17.025 (ABNT, 2017). A amostragem foi realizada de acordo com o procedimento padronizado do laboratório (PGQ-017). Foi realizada purga dos poços com bomba de baixa vazão Marca HS, Modelo HS-BBP e HS-CV12V, de acordo com os métodos definidos pela NBR 15.847 (ABNT, 2010), com avaliação constante dos parâmetros físico-químicos com auxílio de sonda multiparâmetros modelo HI98194. Os relatórios de purga e amostragem estão apresentados juntamente com os relatórios de ensaio em anexo.

O preparo dos frascos, preservação e manuseio das amostras até o laboratório foi realizado conforme procedimento interno (PGQ-018), anteriormente detalhado. Os preservantes e as quantidades utilizadas estão apresentadas no Quadro 2. As amostras coletadas foram acondicionadas em frascos individuais devidamente identificados. Posteriormente as amostras foram acondicionadas para o transporte em caixa térmica com gelo e mantidas em temperatura ao redor de 10 °C.

Quadro 2 - Preservantes utilizados e a respectiva quantidade conforme o tipo de frasco

Parâmetros	Tipo de frasco	Preservante	Quantidade (mL)
Cianeto	PE	NaOH 6 M	3,0
Sulfeto (tarja branca)	Vidro âmbar 200 mL	Solução acetato de zinco	0,2
		NaOH 6 M	0,4
Oxigênio dissolvido (Cliente)	Vidro âmbar 1L	Sulfato manganoso	1,0
		Solução alcalina de iodeto de potássio	1,0
DQO, Fenóis, COT, Nitrogênios, Matéria orgânica,...	Vidro âmbar 1L	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> concentrado	2,0
Sulfeto	Vidro âmbar 200 mL	EDTA	2,0
Metais totais e dissolvidos**, e fósforo	PE 100 mL	HNO <sub>3</sub> concentrado	0,25 (aproximadamente 5 gotas)
VOCs*** (BTEX,...)	VIAL de 40 mL	HCl 1:1	0,2 (aproximadamente 3 gotas)
Cromo hexavalente - Cr <sup>6+</sup>	PE 250 mL	Solução tampão (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> + NH <sub>4</sub> OH	1
Oxihaletos (Clorito, Clorato, Bromato)	PE 100 mL	EDA 100 mg/mL*	0,05

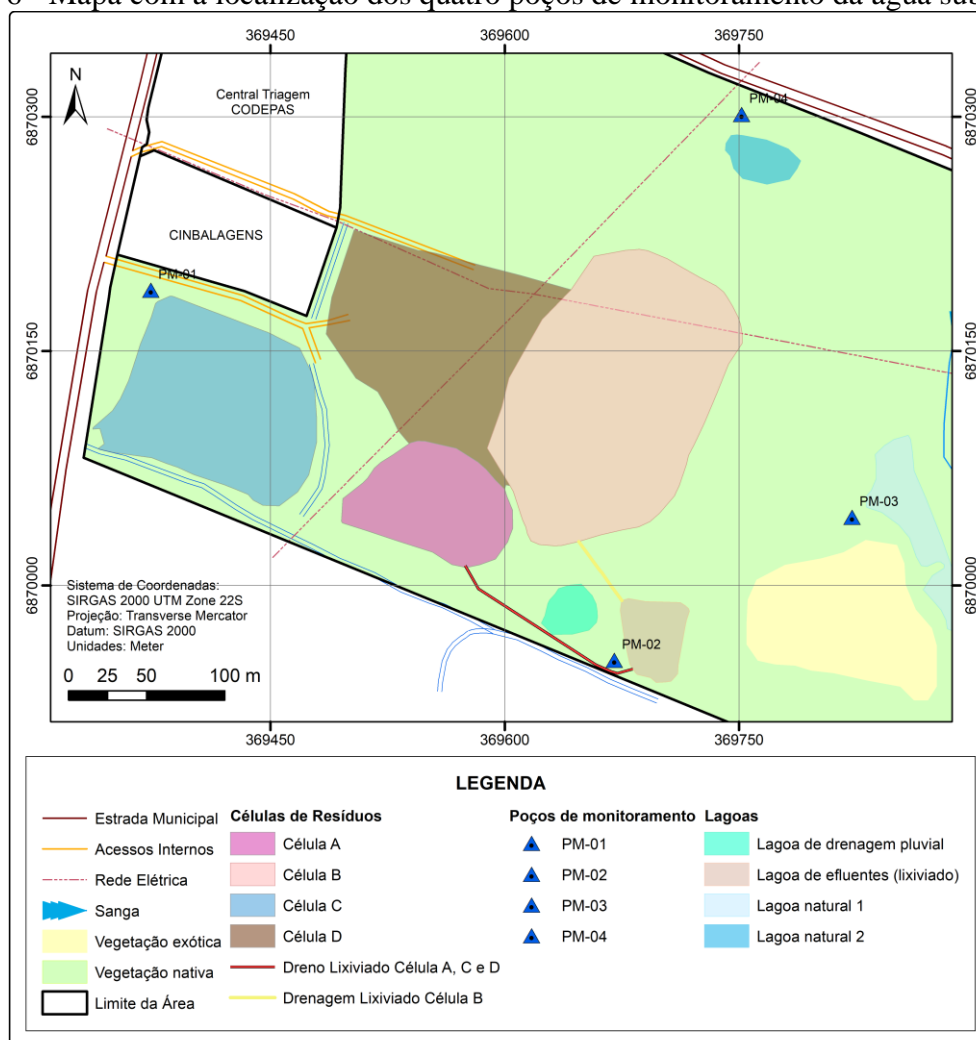
\*Preparada no Setor de Cromatografia.

\*\*Amostras com metais dissolvidos que não foram filtradas a campo (geralmente coletadas por Clientes) devem ser coletadas em frasco sem preservação e acidificado após a filtração no laboratório.

\*\*\*Vials com fita preta são para o ensaio de VOC.

Fonte: PGQ-018.

Figura 6 - Mapa com a localização dos quatro poços de monitoramento da água subterrânea



Fonte: elaborado pelo Autor (2021).

Figura 7 - Poços de monitoramento de água subterrânea



As análises foram realizadas seguindo os métodos e os respectivos limites de quantificação (LQ) apresentados no Quadro 3.

Foram definidas como substâncias químicas de interesse para a análise das amostras de água subterrânea: pH, Condutividade elétrica (a 25 °C), DBO<sub>5</sub>, DQO, Nitrato, Sólidos totais, Turbidez, Alumínio total, Cádmio total, Chumbo total, Cobre total, Cromo total, Ferro total, Manganês total, Mercúrio total, Níquel total, Zinco total, Contagem de coliformes termotolerantes e Contagem de coliformes totais. Essas variáveis foram estabelecidas pelo órgão ambiental competente (FEPAM) por meio da Licença Única nº 00486/2020, relativa ao monitoramento ambiental da área em estudo. As variáveis de monitoramento consideram a composição físico-química do lixiviado de aterro de RSU e seu potencial de contaminação dos diversos compartimentos ambientais.

Quadro 3 - Metodologia de análise da água subterrânea e limites de quantificação (L.Q.) de cada substância química de interesse (SQI)

SQI	L.Q.	Unidade	Metodologia
pH	-	0-14	SMWW 23 <sup>a</sup> 4500-H+ B
Condutividade elétrica (a 25 °C)	2,0	µS/cm	SMWW 23 <sup>a</sup> 2510 B
DBO <sub>5</sub>	3,0	mg/L	SMWW 23 <sup>a</sup> 5210 D / PE-513
DQO	10,0	mg/L	SMWW 23 <sup>a</sup> 5220 D
Nitrato	0,02	mg/L	EPA 300.1:1997
Sólidos totais	15,0	mg/L	SMWW 23 <sup>a</sup> 2540 B
Turbidez	1,0	NTU	SMWW 23 <sup>a</sup> 2130 B
Alumínio total	0,05	mg/L	PE-100/SMWW 23 <sup>a</sup> 3111B/ EPA 200.7: 2001
Cádmio total	0,001	mg/L	PE-100/SMWW 23 <sup>a</sup> 3111B/ EPA 200.7: 2001
Chumbo total	0,01	mg/L	PE-100/SMWW 23 <sup>a</sup> 3111B/ EPA 200.7: 2001
Cobre total	0,009	mg/L	PE-100/SMWW 23 <sup>a</sup> 3111B/ EPA 200.7: 2001
Cromo total	0,01	mg/L	PE-100/SMWW 23 <sup>a</sup> 3111D/ EPA 200.7: 2001
Ferro total	0,05	mg/L	PE-100/SMWW 23 <sup>a</sup> 3111B/ EPA 200.7: 2001
Manganês total	0,025	mg/L	PE-100/SMWW 23 <sup>a</sup> 3111B/ EPA 200.7: 2001

Mercúrio total	0,001	mg/L	PE-100/SMWW 23ª 3111B/ EPA 200.7: 2001
Níquel total	0,01	mg/L	PE-100/SMWW 23ª 3111B/ EPA 200.7: 2001
Zinco total	0,1	mg/L	PE-100/SMWW 23ª 3111B/ EPA 200.7: 2001
Contagem de coliformes termotolerantes	1,8	NMP/100mL	CETESB L5.406 / 2007
Contagem de coliformes totais	1,1	NMP/100mL	SMWW 23ª 9221 C e 9223 B

\* EPA - Environmental Protection Agency; SMWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

#### 5.4 Monitoramento das águas superficiais e efluentes

O monitoramento das águas superficiais foi realizado com o objetivo de avaliar uma possível interferência da disposição de RSU na qualidade da mesma, da mesma forma que as águas subterrâneas, no entanto, comparando os resultados com a legislação aplicada aos recursos hídricos superficiais. O empreendimento possui duas lagoas de acumulação de água superficial provenientes da drenagem pluvial e de afloramento do lençol freático, situadas próximas da sanga a jusante do empreendimento. Portanto foram coletadas amostras nas duas lagoas e na sanga, em pontos a montante e a jusante do empreendimento, conforme apresentado na Figura 8.

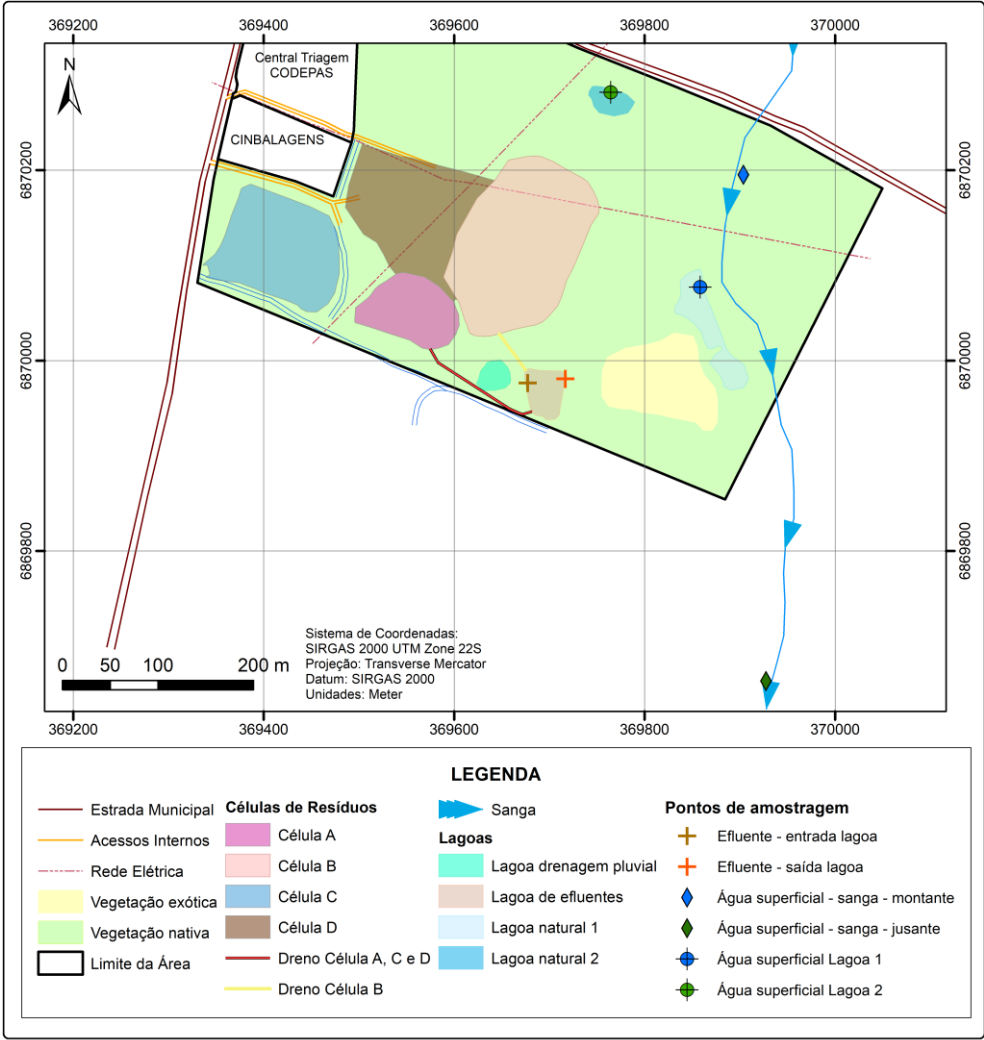
Quanto aos efluentes, o empreendimento possui uma lagoa de acúmulo de efluente proveniente da lixiviação das células de disposição de RSU (Fig. 8). O monitoramento da qualidade do efluente foi realizado com o objetivo de avaliar sua qualidade para possível lançamento no meio ambiente, em corpo hídrico superficial (sanga a jusante), comparando os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas com os limites definidos pela legislação vigente. Foram coletadas amostras próximas da tubulação de entrada e saída do efluente na lagoa.

A amostragem e análise das águas superficiais e efluentes também foram realizadas por laboratório terceirizado e com acreditação do INMETRO, seguindo as diretrizes da NBR ISO/IEC 17.025 (ABNT, 2017). A amostragem foi realizada de acordo com o procedimento padronizado do laboratório (PGQ-017). Foi utilizado um recipiente amostrador metálico para coleta da amostra logo abaixo da superfície da água na sanga e das lagoas de água superficial e efluentes. As amostras foram inspecionadas no recebimento pelo laboratório e se mostraram adequadas para realização das análises. Os relatórios de amostragem estão apresentados, juntamente com os relatórios de ensaio, em anexo.

O preparo dos frascos utilizados, preservação e manuseio das amostras até o laboratório foi realizado conforme procedimento interno (PGQ-018), detalhado anteriormente. Os preservantes e as quantidades utilizadas estão apresentadas no Quadro 2. As amostras coletadas foram acondicionadas em frascos individuais devidamente identificados. Posteriormente as amostras foram acondicionadas para o transporte em caixa térmica com gelo e mantidas em temperatura ao redor de 10 °C.

As análises foram realizadas seguindo os métodos e os respectivos limites de quantificação (LQ) apresentados no Quadro 4. Foram definidas como substâncias químicas de interesse para a análise das amostras de água superficial e efluentes: Temperatura da amostra, pH, Condutividade elétrica (a 25 °C), Oxigênio dissolvido, DBO<sub>5</sub>, DQO, Nitrogênio amoniacal (Amônia como NH<sub>3</sub>), Nitrogênio Kjeldahl, Sólidos sedimentáveis, Sólidos suspensos totais, Alcalinidade total, Sulfato, Sulfetos, Cloreto, Alumínio total, Cádmio total, Chumbo total, Cobre total, Cromo total, Ferro total, Ferro dissolvido, Fósforo total, Manganês total, Manganês dissolvido, Mercúrio total, Níquel total, Zinco total, Contagem de coliformes termotolerantes e Contagem de coliformes totais. Essas variáveis foram estabelecidas pelo órgão ambiental competente (FEPAM) por meio da Licença Única nº 00486/2020, relativa ao monitoramento ambiental da área em estudo. As variáveis de monitoramento consideram a composição físico-química do lixiviado de aterro de RSU e seu potencial de contaminação dos diversos compartimentos ambientais.

Figura 8 - Mapa com a localização dos pontos de amostragem de água superficial (lagoas e sanga) e efluente (lagoa de acúmulo)



Fonte: elaborado pelo Autor (2021).

Figura 9 - Locais de coleta de água na sanga (montante (A) e jusante (B)), lagoa de água superficial 1 (C) e 2 (D) e lagoa de efluentes (E)



Quadro 4. Metodologia de análise da água subterrânea e limites de quantificação (L.Q.) de cada substância química de interesse (SQI).

<b>SQI</b>	<b>L.Q.</b>	<b>Unidade</b>	<b>Metodologia</b>
Temperatura da amostra (a campo)	0-80	°C	SMWW 23ª 2550 B
pH (a campo)	-	0-14	SMWW 23ª 4500-H+ B
Condutividade elétrica (a 25 °C)	2,0	µS/cm	SMWW 23ª 2510 B
Oxigênio dissolvido (a campo)	0-20	mg/L	SMWW 23ª 4500-O G
DBO <sub>5</sub>	10,0	mg/L	SMWW 23ª 5210 D / PE-513
DQO	40,0	mg/L	SMWW 23ª 5220 B
Nitrogênio amoniacal (Amônia como NH <sub>3</sub> )	0,5	mg/L	SMWW 23ª 4500 NH <sub>3</sub> B e F
Nitrogênio Kjeldahl	0,5	mg/L	SMWW 23ª 4500 N org B / NH <sub>3</sub> F
Sólidos sedimentáveis	0,1	mL/L	SMWW 23ª 2540 F
Sólidos suspensos totais	15,0	mg/L	SMWW 23ª 2540 D
Alcalinidade total	10,0	mg/L	SMWW 23ª 2320 B
Sulfato	0,1	mg/L	EPA 300.1:1997
Sulfetos	0,1	mg/L	SMWW 23ª 4500 S-2 D
Cloreto	0,1	mg/L	EPA 300.1:1997
Alumínio total	0,05	mg/L	PE-100/SMWW 23ª 3111B/ EPA 200.7: 2001
Cádmio total	0,001	mg/L	PE-100/SMWW 23ª 3111B/ EPA 200.7: 2001
Chumbo total	0,01	mg/L	PE-100/SMWW 23ª 3111B/ EPA 200.7: 2001
Cobre total	0,009	mg/L	PE-100/SMWW 23ª 3111B/ EPA 200.7: 2001
Cromo total	0,01	mg/L	PE-100/SMWW 23ª 3111D/ EPA 200.7: 2001
Ferro total	0,05	mg/L	PE-100/SMWW 23ª 3111B/ EPA 200.7: 2001
Ferro dissolvido	0,05	mg/L	PE-100/SMWW 23ª 3111B/ EPA 200.7: 2001
Fósforo total	0,02	mg/L	SMWW 23ª 4500-P B e E/PE-519 / EPA 200.7:2001/ PE-100
Manganês total	0,025	mg/L	PE-100/SMWW 23ª 3111B/ EPA 200.7: 2001
Manganês dissolvido	0,025	mg/L	PE-100/SMWW 23ª 3111B/ EPA 200.7: 2001
Mercúrio total	0,001	mg/L	PE-100/SMWW 23ª 3112B/ EPA 200.7: 2001
Níquel total	0,01	mg/L	PE-100/SMWW 23ª 3111B/ EPA 200.7: 2001
Zinco total	0,1	mg/L	PE-100/SMWW 23ª 3111B/ EPA 200.7: 2001
Contagem de coliformes termotolerantes	1,8	NMP/100mL	CETESB L5.406 / 2007
Contagem de coliformes totais	1,8	NMP/100mL	SMWW 23ª 9221 C e 9223 B

\* EPA - Environmental Protection Agency; SMWW - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater



## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 6.1 Solo

Os resultados da concentração de metais no entorno das células de disposição de RSU foram interpretados e comparados com os valores orientadores definidos pela legislação vigente, da Resolução CONAMA nº 420/2009 e da Portaria FEPAM nº 85/2014. A Resolução CONAMA nº 420/2009 determina os valores de prevenção (VP) que foram estabelecidos com base em ensaios de fitotoxicidade ou em avaliação de risco ecológico (Art. 9º) e os valores de investigação os quais foram derivados com base em avaliação de risco à saúde humana, em função de cenários de exposição padronizados para diferentes usos e ocupação do solo (Art. 10º). Os valores de investigação foram derivados para uso agrícola, residencial e industrial, sendo que neste estudo foram considerados para fins de avaliação os valores de investigação para uso agrícola (VI Agrícola), que são mais restritivos. Essa resolução define ainda classes de qualidade de solo de acordo com as concentrações das substâncias observadas (Art. 13º):

I - Classe 1 - Solos que apresentam concentrações de substâncias químicas menores ou iguais ao VRQ;

II - Classe 2 - Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior do que o VRQ e menor ou igual ao VP;

III - Classe 3 - Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VP e menor ou igual ao VI; e

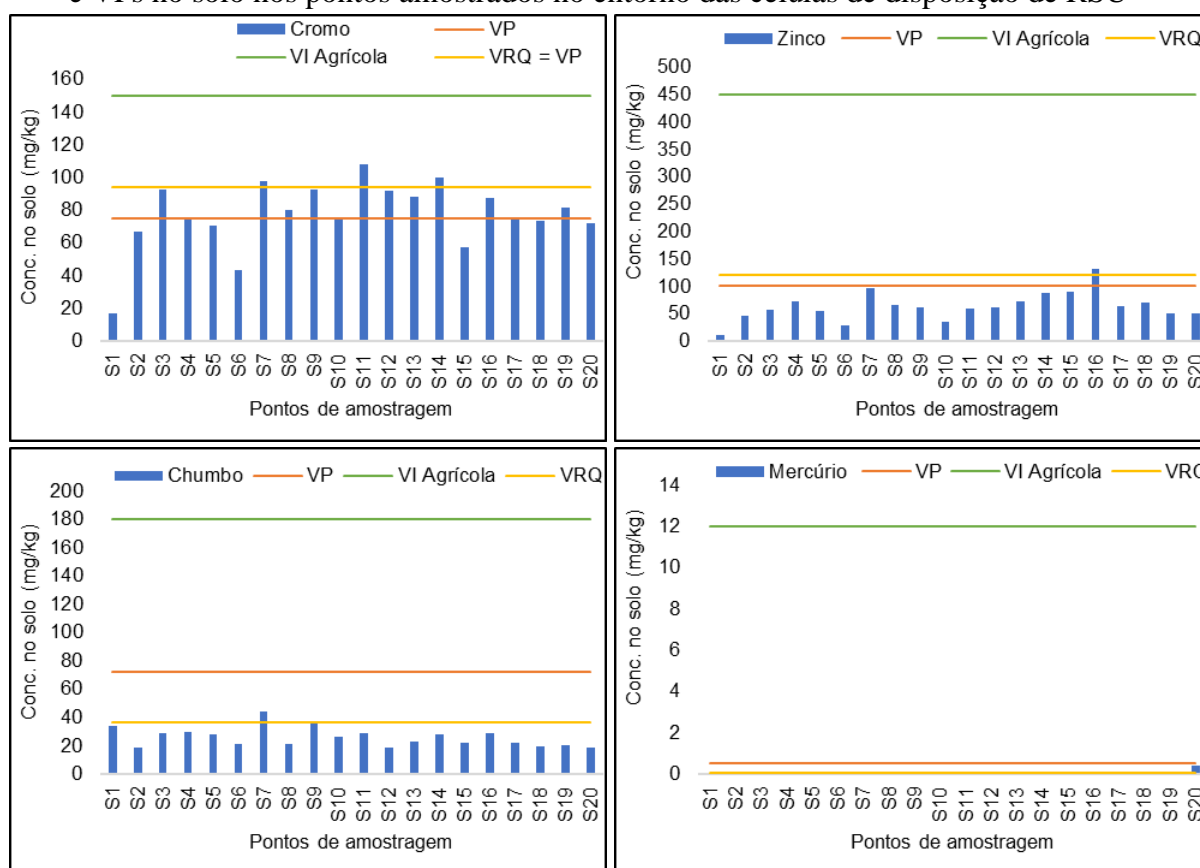
IV - Classe 4 - Solos que apresentam concentrações de pelo menos uma substância química maior que o VI.

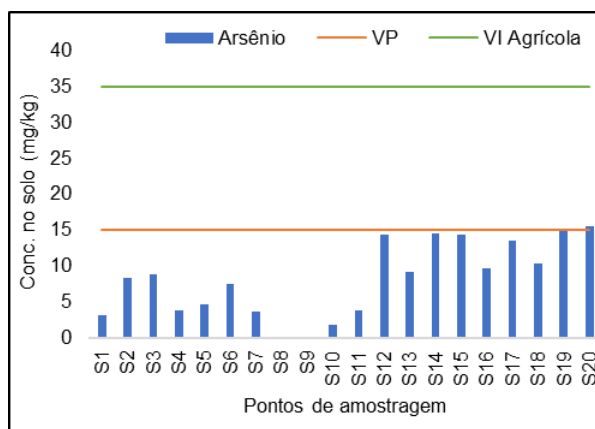
Os valores de referência de qualidade (VRQ) dos solos do Rio Grande do Sul foram determinados pela Portaria FEPAM nº 85/2014, que definiu os VRQs para nove metais (Zn, Cu, Cr, Ni, Pb, Cd, Co, V e Hg) e derivou os VPs e VIs para alguns dependendo da região do estado, que devem ser utilizados em substituição aos valores definidos pela Resolução CONAMA nº 420/2009. Na região do nosso estudo, que pertence ao Grupo 1, foram determinados os VPs para Cu, Cr, Ni e Co, sendo para o Cu, o VP = VI agrícola = VRQ e para o Co, o VP = VI agrícola e residencial = VRQ.



Os resultados obtidos para a área do entorno das células do aterro de RSU indicam concentração de metais superiores aos VRQs e VPs, sugerindo que o empreendimento influenciou negativamente na qualidade ambiental dessa área (Fig. 10). No entanto, nenhum metal apresentou concentrações superiores aos VIs para uso agrícola (Fig. 10 e 11). A concentração de cromo foi superior ao VRQ e VP em três pontos de amostragem (S7, S11 e S14). A concentração de zinco foi superior ao VRQ e VP em um ponto de amostragem (S16). As concentrações de chumbo e mercúrio foram superiores ao VRQ em um ponto de amostragem, S7 e S20, respectivamente e, a concentração de arsênio foi superior ao VP em um ponto de amostragem (S20) (Fig. 10). Assim sendo, o solo da área em estudo é classificado como sendo Classe 3, de acordo com a Resolução CONAMA nº 420/2009, por apresentar 3 substâncias químicas maiores que o VP e menor ou igual ao VI.

Figura 10 - Concentrações de cromo, zinco, chumbo, mercúrio e arsênio superiores aos VRQs e VPs no solo nos pontos amostrados no entorno das células de disposição de RSU \*

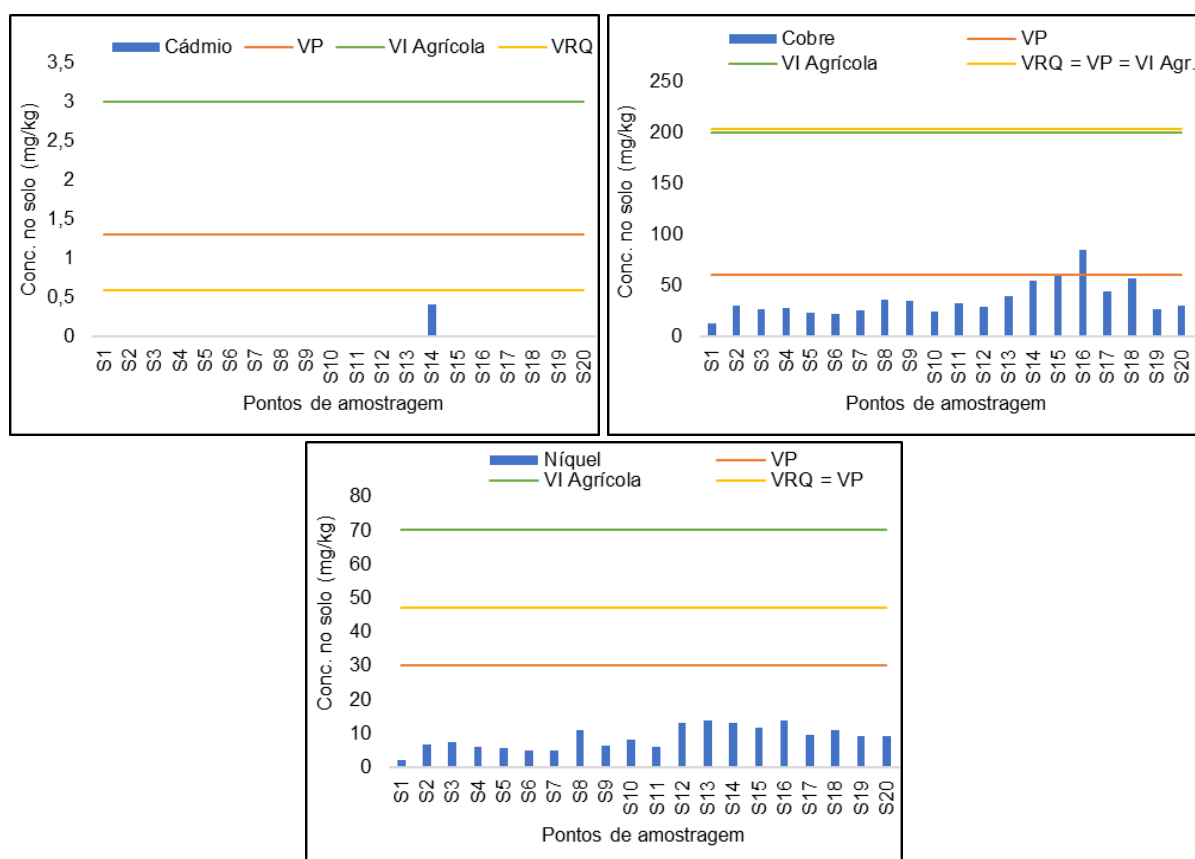




\* VP: Valor de Prevenção e VI Agrícola: Valor de Investigação Agrícola de acordo com a Resolução CONAMA nº 420/2009; VRQ: Valor de Referência de Qualidade, VP e VI Agrícola de acordo com a Portaria FEPAM nº 85/2014.

\*Obs.: as concentrações nulas observadas na figura para alguns pontos e metais referem-se às concentrações menores que o LQ, apresentados no Quadro 1.

Figura 11 – Concentrações de cádmio, cobre e níquel inferiores aos VRQs no solo nos pontos amostrados no entorno das células de disposição de RSU \*



\* VP: Valor de Prevenção e VI Agrícola: Valor de Investigação Agrícola de acordo com a Resolução CONAMA nº 420/2009; VRQ: Valor de Referência de Qualidade, VP e VI Agrícola de acordo com a Portaria FEPAM nº 85/2014.

\*Obs.: as concentrações nulas observadas na figura para alguns pontos e metais referem-se às concentrações menores que o LQ, apresentados no Quadro 1.

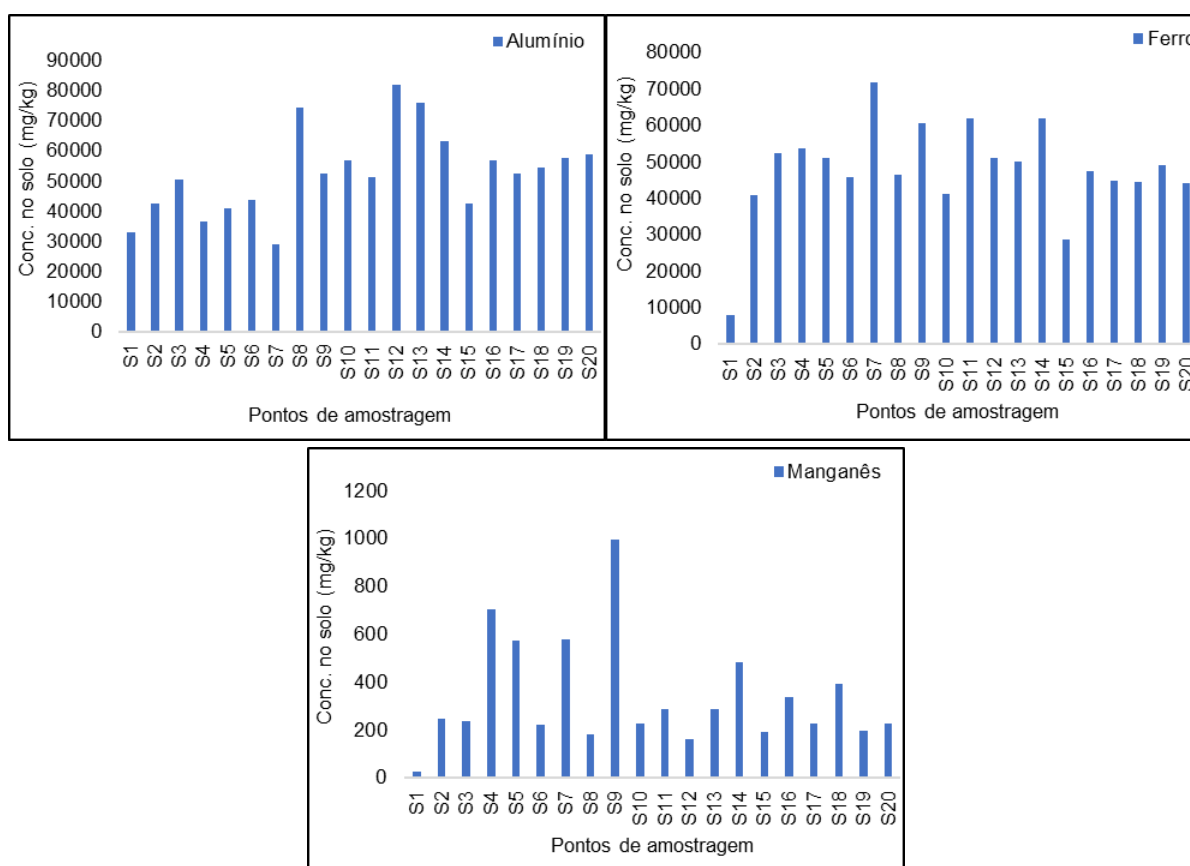
Os metais alumínio, ferro e manganês analisados não possuem valores orientadores para solo definidos pela legislação, devido ao fato de suas ocorrências naturais na maioria dos solos proporcionar elevadas concentrações, fato que foi verificado na área de estudo (Fig. 12). As elevadas concentrações naturais dificultam a avaliação quanto da influência das ações antrópicas, neste caso pela disposição de RSU, na concentração destes metais no solo. Os LATOSSOLOS Vermelhos, que são de ocorrência na área de estudo, são solos altamente intemperizados sendo virtualmente destituídos de minerais primários ou secundários menos resistentes ao intemperismo e têm capacidade de troca de cátions da fração argila baixa, inferior a 17 cmol<sub>c</sub>/kg de argila. Podem ser Aluminoférricos, Distroférricos, Distróficos, Eutroférricos e Eutróficos, dependendo dos teores de óxidos de alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) na sua composição, que podem chegar acima de 360 g/kg de solo, além de outros fatores como saturação de bases (EMBRAPA, 2018). As concentrações de alumínio, ferro e manganês observadas nos pontos de amostragem situaram-se entre 29 e 82 g/kg, 8 e 72 g/kg e 25 e 1.000 mg/kg de solo, respectivamente, devido a presença dos Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sua composição, que conferem inclusive sua coloração tipicamente avermelhada.

Os procedimentos de prevenção e controle da qualidade do solo previstos pela Resolução CONAMA nº 420/2009 para solos Classe 3 são os seguintes (Art. 20º):

III - Classe 3: requer identificação da fonte potencial de contaminação, avaliação da ocorrência natural da substância, controle das fontes de contaminação e monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea.

Assim sendo, considerando as células de RSU como fontes potenciais primárias de contaminação e que as concentração de ferro, alumínio e manganês estão relacionadas a composição natural do solo, o monitoramento da qualidade do solo e da água subterrânea relativos as demais SQIs vai permitir a avaliação constante quanto a existência de riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando o cenário de exposição padronizado e uma possível alteração da classe do solo a partir concentrações superiores aos valores de investigação, o que não ocorre atualmente.

Figura 12 – Concentrações de alumínio, ferro e manganês no solo nos pontos amostrados no entorno das células de disposição de RSU. \*



## 6.2 Águas subterrâneas

As substâncias químicas de interesse (SQIs) quando se trata de possível contaminação de água subterrânea pela disposição de RSU, se limitam basicamente a substâncias inorgânicas (metais), cujas concentrações limites, neste caso, são definidas pelos valores de investigação (VI) definidos pela legislação, ou seja, a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado.

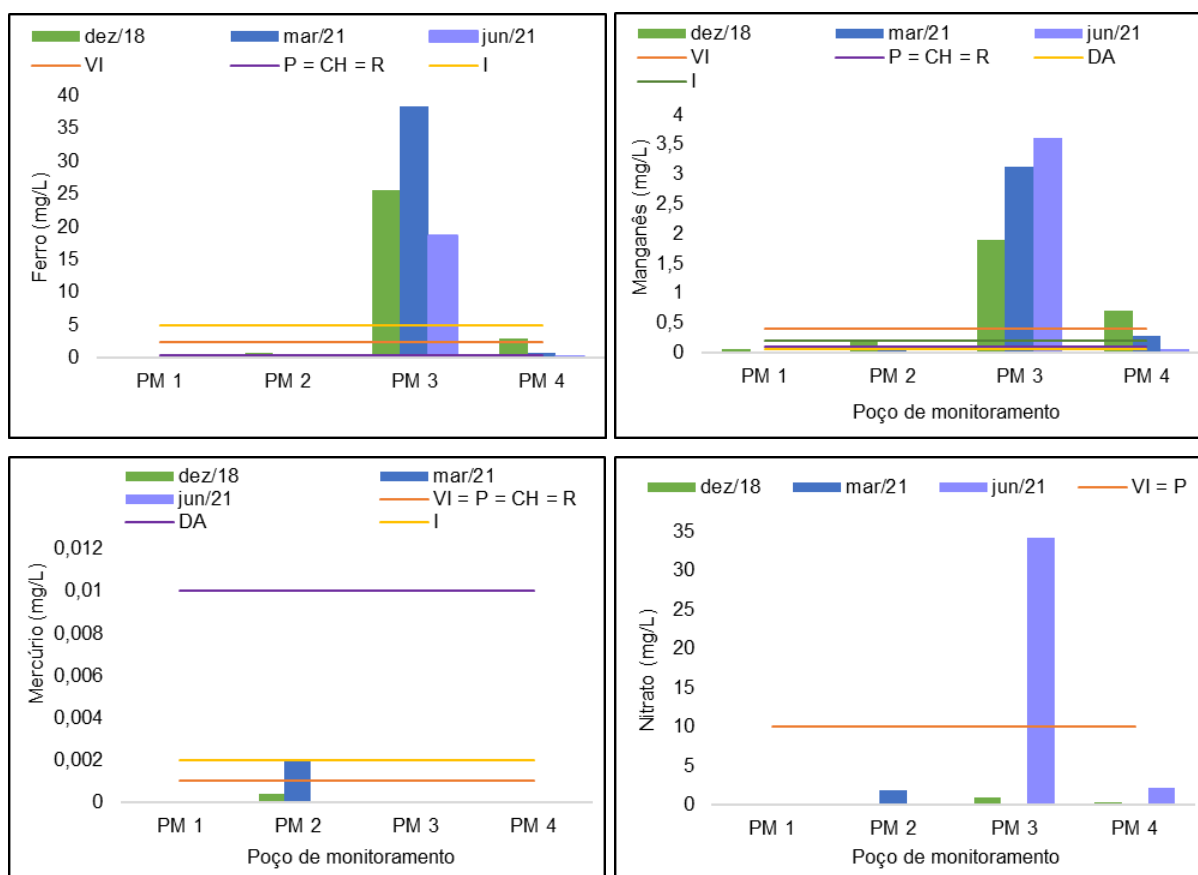
Os resultados obtidos da campanha de monitoramento de junho de 2021 foram comparados com os resultados obtidos nas campanhas anteriores, de março de 2021 e dezembro de 2018, como forma de avaliar a evolução histórica das concentrações. Além disso, os resultados também foram comparados com os valores orientadores e padrões definidos pela legislação vigente. Para fins de gerenciamento de áreas contaminadas, objeto principal da área em estudo, foram utilizados os valores de investigação (VI) definidos pela Resolução CONAMA nº

420/2009. Os resultados também foram avaliados, de forma secundária, para fins de potabilidade, conforme padrões definidos pela Portaria de Consolidação do MS nº 5/2017 (Anexo XX), e para fins de enquadramento para uso específicos (consumo humano (CH), dessedentação de animais (DA), irrigação (I) e recreação (R)), conforme valores máximos permitidos definidos pela Resolução CONAMA nº 396/2008.

Na campanha de junho de 2021 não foi possível coletar amostras no PM 1 e no PM 2 devido ao nível d'água do lençol freático superior a 10 m e 1,93 m, respectivamente, em ambos os casos situados abaixo da base da seção filtrante do poço, impossibilitando a amostragem. Tal fato é recorrente no PM 1, onde na campanha de março de 2021 também não foi possível a coleta, situação que se manteve na campanha atual, inclusive atingindo o PM 2. O baixo nível do lençol freático é reflexo do período de estiagem prolongada que teve início no final de 2020 em que os volumes de precipitação não têm sido suficientes para recarga dos aquíferos, não somente os subterrâneos, mas também os superficiais, ocasionando a situação de baixo nível d'água dos aquíferos da região.

Os resultados obtidos para as substâncias inorgânicas se apresentam, em sua maioria, concentrações inferiores aos valores de intervenção, com exceção para ferro, manganês, mercúrio e nitrato. O ferro e o manganês apresentaram nas três campanhas concentrações superiores ao VI no PM 3 (Fig. 13). O mercúrio apresentou concentração duas vezes superior ao VI na campanha de março de 2021 no PM 2, no entanto, não foi possível de ser avaliado na campanha seguinte, de junho de 2021 devido a impossibilidade de amostragem neste poço (Fig. 13). O nitrato, cujas concentrações eram inferiores a 2 mg/L nas duas primeiras campanhas, apresentou na campanha de junho de 2021 concentração superior ao VI no PM 3, alcançando 34,2 mg/L (Fig. 13).

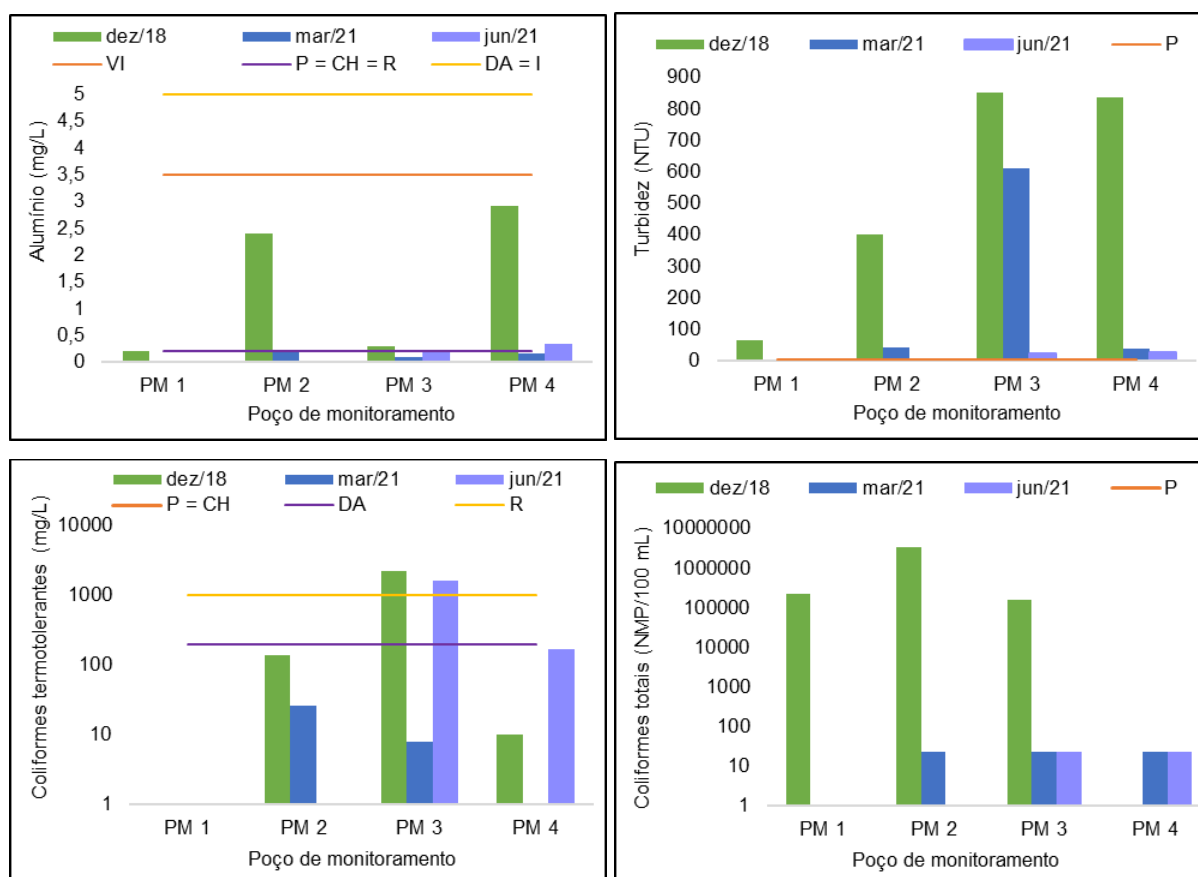
Figura 13 – Concentrações de ferro, manganês, mercúrio e nitrato nos quatro poços de monitoramento da água subterrânea instalados a montante e a jusante das células de disposição de RSU \*



\*Obs.: As barras dos gráficos referem-se aos valores de concentração de cada SQI nos poços de monitoramento avaliados, sendo que as concentrações abaixo do LQ (conforme Quadro 3) foram consideradas como sendo nulas para apresentação no gráfico, assim como os resultados do PM 1 da campanha de mar/2021 e dos PM 1 e 2 na campanha de jun/2021 que não foram obtidos. As linhas referem-se aos limites de concentração definidos pela legislação vigente: VI (valor de investigação) da Resolução CONAMA 420/2009; P (potabilidade) da PC nº 5/2017 do MS; CH (consumo humano), DA (dessedentação de animais), I (irrigação) e R (recreação) da Resolução CONAMA nº 396/2008.

Para fins de potabilidade, conforme padrões definidos pela PC nº 5/2017 do MS, há restrições devido as concentrações superiores aos limites para algumas SQI avaliadas. As restrições para potabilidade ocorrem novamente devido a turbidez e a concentração de alumínio acima dos limites nos poços monitorados (Fig. 14), as concentrações de ferro e manganês acima dos limites no PM 3 (Fig. 13) e a concentração de coliformes termotolerantes e totais acima do limite nos PMs 3 e 4 (Fig. 14).

Figura 14 – Concentrações de alumínio, coliformes termotolerantes e totais e turbidez nos quatro poços de monitoramento da água subterrânea instalados a montante e a jusante das células de disposição de RSU \*



\*Obs.: As barras dos gráficos referem-se aos valores de concentração de cada SQI nos poços de monitoramento avaliados, sendo que as concentrações abaixo do LQ (conforme Quadro 3) foram consideradas como sendo nulas para apresentação no gráfico, assim como os resultados do PM 1 da campanha de mar/2021 e dos PM 1 e 2 na campanha de jun/2021 que não foram obtidos. As linhas referem-se aos limites de concentração definidos pela legislação vigente: VI (valor de investigação) da Resolução CONAMA 420/2009; P (potabilidade) da PC nº 5/2017 do MS; CH (consumo humano), DA (dessedentação de animais), I (irrigação) e R (recreação) da Resolução CONAMA nº 396/2008.

Para outros usos específicos conforme padrões definidos pela Resolução CONAMA nº 396/2008, há restrições para recreação, irrigação e dessedentação animal. As restrições para recreação ocorrem devido a concentração de alumínio acima dos limites nos PMs 3 e 4 (Fig. 14), de ferro, manganês (Fig. 13) e coliformes termotolerantes (Fig. 14) acima dos limites no PM 3. As restrições para irrigação ocorrem devido também às concentrações de ferro e manganês acima no PM 3 (Fig. 13). E, por fim, as restrições para dessedentação animal ocorrem devido à concentração de manganês acima do limite no PM 3 (Fig. 13).

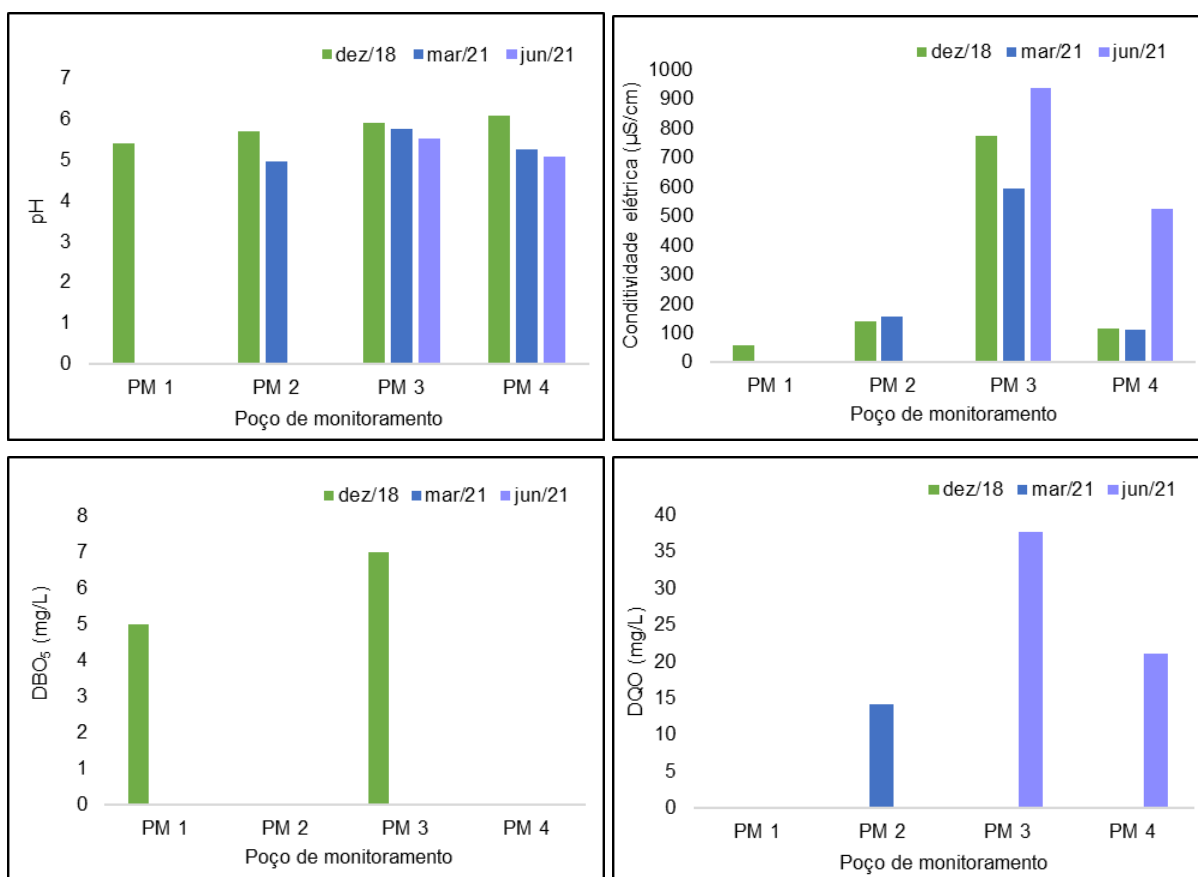
As concentrações de ferro e manganês superiores ao VI no PM 3 vêm sendo observadas durante todas as campanhas de monitoramento e podem estar relacionadas com o solo natural da área do aterro que serve de fonte destes metais para a água subterrânea, além de outros fatores relacionados à instalação do poço de monitoramento. Como visto nos resultados das análises de solo, apresentados no item 6.1, as concentrações naturais de alumínio, ferro e manganês são muito elevadas devido a composição química do solo, formado a partir de minerais que contêm óxidos e hidróxidos de alumínio, ferro e manganês. Assim, o solo natural da área é uma das principais fonte destes metais, sendo de difícil identificação e quantificação concentrações provenientes de uma fonte secundária, neste caso dos RSU. Além disso, em se tratando de análise da concentração total na água subterrânea, qualquer fração de solo na amostra que ocasiona aumento da turbidez, mesmo na forma coloidal, pode influenciar no resultado. Na campanha de março de 2021, da mesma forma da anterior, o método de amostragem seguiu as normas vigentes, relativos a purga e vazão de amostragem e foi observada diminuição da turbidez nas amostras, diminuindo a probabilidade de partículas de solo na amostra analisada, sugerindo que as concentrações de ferro e manganês observadas estejam na forma dissolvida.

A concentração de nitrato que aparece superior ao VI no PM 3 pode indicar influência do aterro na qualidade da água subterrânea, associando também ao surgimento de demanda química de oxigênio e condutividade elétrica elevada nos PMs 3 e 4 na campanha de junho de 2021 (Fig. 15). O aumento das concentrações de nitrato, DQO e condutividade elétrica podem estar relacionadas à lixiviação de chorume do aterro de RSU que é a fonte primária de compostos nitrogenados, matéria orgânica e constituintes inorgânicos.

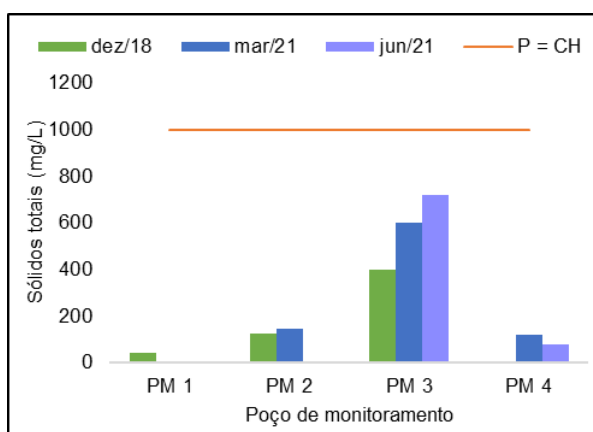
As concentrações de cádmio, chumbo, cobre, cromo, níquel e zinco encontram-se inferiores aos valores de investigação da Resolução CONAMA 420/2009, potabilidade da PC nº 5/2017 do MS, consumo humano, dessedentação de animais, irrigação e recreação da Resolução CONAMA nº 396/2008, e/ou não foram quantificadas pelo método (conforme Quadro 3) nas análises realizadas nos quatro poços de monitoramento da água subterrânea (Fig. 16).



Figura 15 – pH, condutividade elétrica, DBO<sub>5</sub>, DQO e sólidos totais nos quatro poços de monitoramento da água subterrânea instalados a montante e a jusante das células de disposição de RSU \*

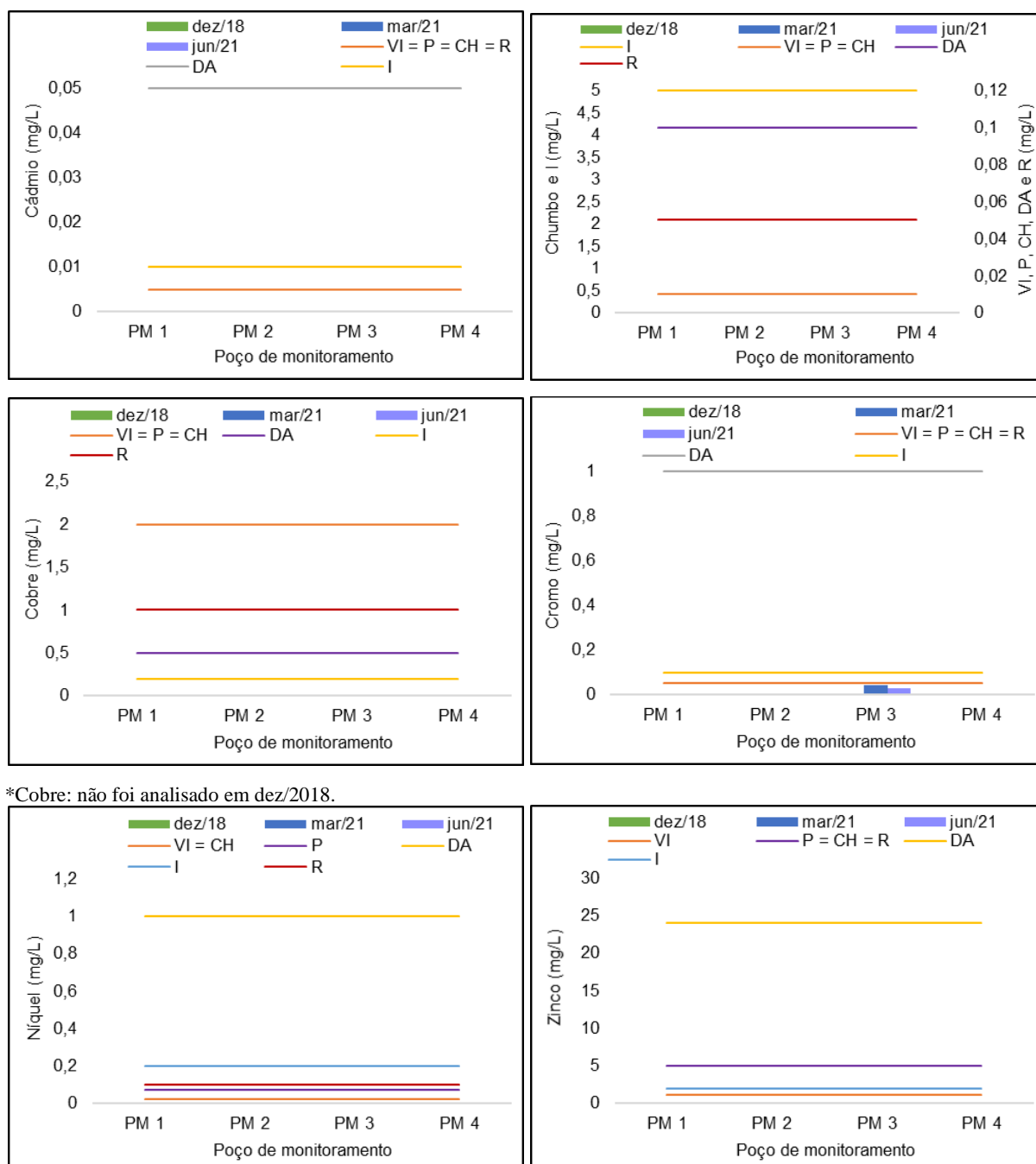


\*DQO: não foi analisada em dez/2018.



\*Obs.: As barras dos gráficos referem-se aos valores de concentração de cada SQI nos poços de monitoramento avaliados, sendo que as concentrações abaixo do LQ (conforme Quadro 3) foram consideradas como sendo nulas para apresentação no gráfico, assim como os resultados do PM 1 da campanha de mar/2021 e dos PM 1 e 2 na campanha de jun/2021 que não foram obtidos. As linhas referem-se aos limites de concentração definidos pela legislação vigente: VI (valor de investigação) da Resolução CONAMA 420/2009; P (potabilidade) da PC nº 5/2017 do MS; CH (consumo humano), DA (dessedentação de animais), I (irrigação) e R (recreação) da Resolução CONAMA nº 396/2008.

Figura 16 – Concentrações de cádmio, chumbo, cobre, cromo, níquel e zinco nos quatro poços de monitoramento da água subterrânea instalados a montante e a jusante das células de disposição de RSU \*



\*Cobre: não foi analisado em dez/2018.

\*Zinco: não foi analisado em dez/2018.

\*Obs.: As barras dos gráficos referem-se aos valores de concentração de cada SQI nos poços de monitoramento avaliados, sendo que as concentrações abaixo do LQ (conforme Quadro 3) foram consideradas como sendo nulas para apresentação no gráfico, assim como os resultados do PM 1 da campanha de mar/2021 e dos PM 1 e 2 na campanha de jun/2021 que não foram obtidos. As linhas referem-se aos limites de concentração definidos pela legislação vigente: VI (valor de investigação) da Resolução CONAMA 420/2009; P (potabilidade) da PC nº 5/2017 do MS; CH (consumo humano), DA (dessedentação de animais), I (irrigação) e R (recreação) da Resolução CONAMA nº 396/2008.

### 6.3 Águas superficiais

Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas das águas superficiais das lagoas e da sanga foram comparados com os valores orientadores e padrões definidos pela legislação vigente. Para fins de avaliação da qualidade das águas superficiais foram utilizados os padrões de qualidade para fins de classificação dos corpos de água definidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 e para fins de potabilidade conforme padrões definidos pela Portaria de Consolidação do MS nº 5/2017 (Anexo XX). A área do empreendimento está localizada na Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí que possui enquadramento das suas águas superficiais aprovado pela Resolução nº 122/2012 do Conselho de Recursos Hídricos do Rio Grande do Sul. A área faz parte da unidade de planejamento e gestão Nascente do Jacuí, cujo curso hídrico é o rio Jacuí, unidade de diagnóstico A, no segmento que vai da nascente do rio Jacuí até o início do reservatório da UHE Ernestina. A classe de qualidade, definida conforme a Resolução CONAMA nº 357/2005, por meio do diagnóstico realizado em 2012, foi Classe 4. A meta intermediária de classificação definida de acordo com os usos e demandas previstas para a bacia, a ser atingida no horizonte de 10 anos, até final de 2021, é Classe 3. E, o enquadramento final, a ser atingido até 2031, é Classe 2. Portanto, a classe atual de qualidade a ser atendida é Classe 3, de modo que ações deverão ser implementadas a partir de 2021 para que até 2031 esta unidade seja Classe 2. Esta foi a base para interpretação dos resultados das análises físico-químicas e microbiológicas da área do antigo aterro de RSU, de modo a verificar a influência do empreendimento na qualidade das águas superficiais diretamente afetadas e no seu enquadramento previsto pela legislação.

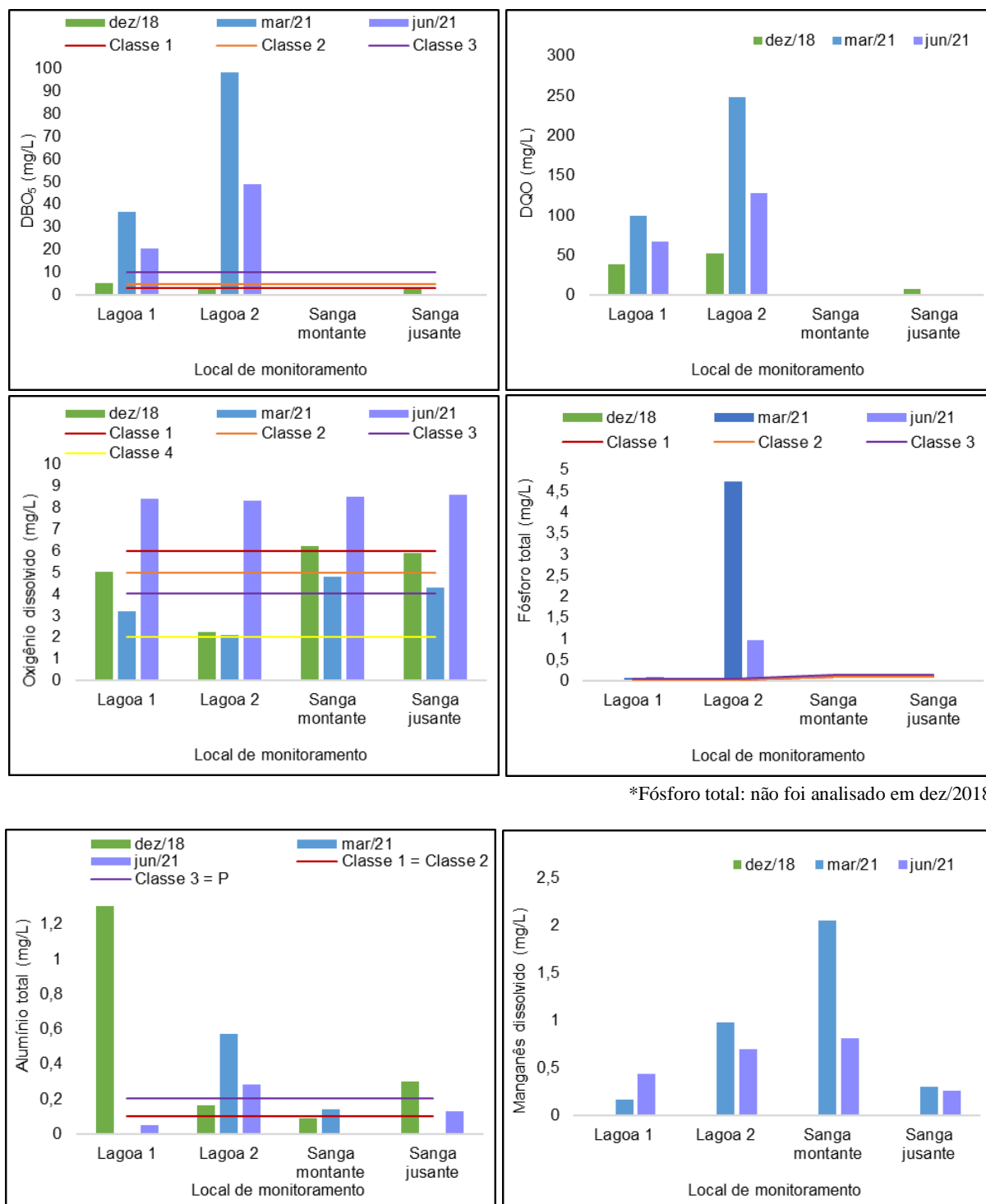
Os resultados obtidos da última campanha de monitoramento (junho/2021) também foram comparados com os resultados obtidos nas campanhas anteriores (março/2021 e dez/2018), como forma de avaliar a evolução histórica das concentrações.

As águas superficiais diretamente afetadas pelo empreendimento são divididas em dois tipos de ambientes conforme sua ocorrência: ambiente lântico, representado pelas lagoas e ambiente lótico, representado pela sanga, e que apresentam comportamentos e composições físico-químicas e microbiológicas diferentes. As lagoas (ambiente lântico) se situam dentro da área do empreendimento, a jusante das células, cujo acúmulo de água é proveniente do afloramento do aquífero freático e também da drenagem da água da chuva incidente em parte da área do empreendimento (inclusive sobre as antigas células de disposição de RSU). As lagoas são tributárias da sanga (ambiente lótico), que está situada mais a jusante. A nascente da

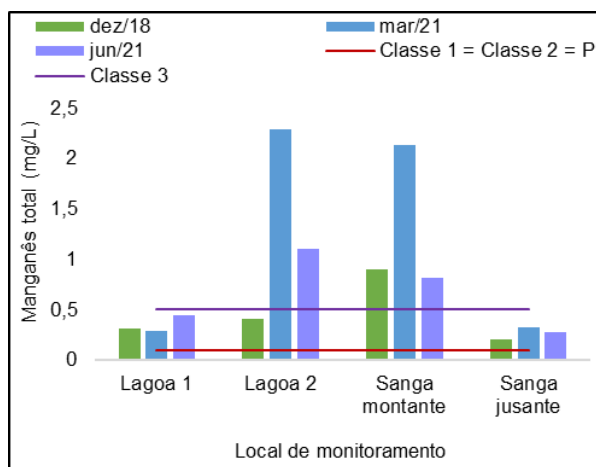
sanga está situada fora da área do empreendimento. Portanto, a sanga apresenta influência externa que pode comprometer sua qualidade antes de chegar na área do empreendimento e que poderá ser verificada pelos resultados das análises da amostra coletada a montante.

Foi observado na campanha de junho de 2021 que houve melhora aparente na qualidade da água das lagoas para algumas das variáveis analisadas porém mantendo a mesma classificação. Foi o caso da matéria orgânica avaliada pela  $DBO_5$ , onde houve redução da concentração quando comparada com a campanha anterior (março/2021), no entanto permanecendo no padrão de qualidade Classe 4 (Fig. 17). Na campanha de junho de 2021 a concentração de oxigênio dissolvido foi maior, alcançando valores pouco superiores a 8 mg/L justificada pela menor temperatura da água na campanha atual, ao redor de 11 °C, favorecendo a concentração maior de oxigênio dissolvido na água e a queda da  $DBO_5$  (Fig. 17). A concentração de fósforo, que embora apresentou diminuição na campanha de junho de 2021, permanece no padrão de qualidade Classe 4 em ambas as lagoas (Fig. 17). Ainda apresenta padrão Classe 4 para o alumínio e o manganês totais na lagoa 2, embora com pequena queda na concentração quando comparada com a campanha anterior (Fig. 17). A lagoa 2 também apresenta classe 4 para a concentração de coliformes termotolerantes, sendo classe 2 na lagoa 1, com aumento considerável desde a última campanha que foi abaixo do LQ em ambas as lagoas (Fig. 17). Houve melhora na concentração de mercúrio total na lagoa 1 ficando abaixo do LQ na campanha de junho de 2021, assim como na lagoa 2, obtendo padrão de qualidade classe 1. Outras variáveis que apresentam padrão de qualidade Classe 3, são o ferro dissolvido em ambas as lagoas e o manganês total na lagoa 1. E Classe 1 para as demais variáveis analisadas: alumínio total na lagoa 1, nitrogênio total, cádmio, chumbo, cobre, cromo, níquel, zinco, sulfato e sulfeto em ambas as lagoas. Quanto a potabilidade, ambas as lagoas apresentam restrição devido as concentrações de nitrogênio amoniacal, ferro e manganês totais e presença de coliformes totais, além da restrição devido ao alumínio total na lagoa 2 (Fig. 12). O pH de ambas as lagoas está situado dentro dos padrões definidos pela legislação na campanha atual (Fig. 12).

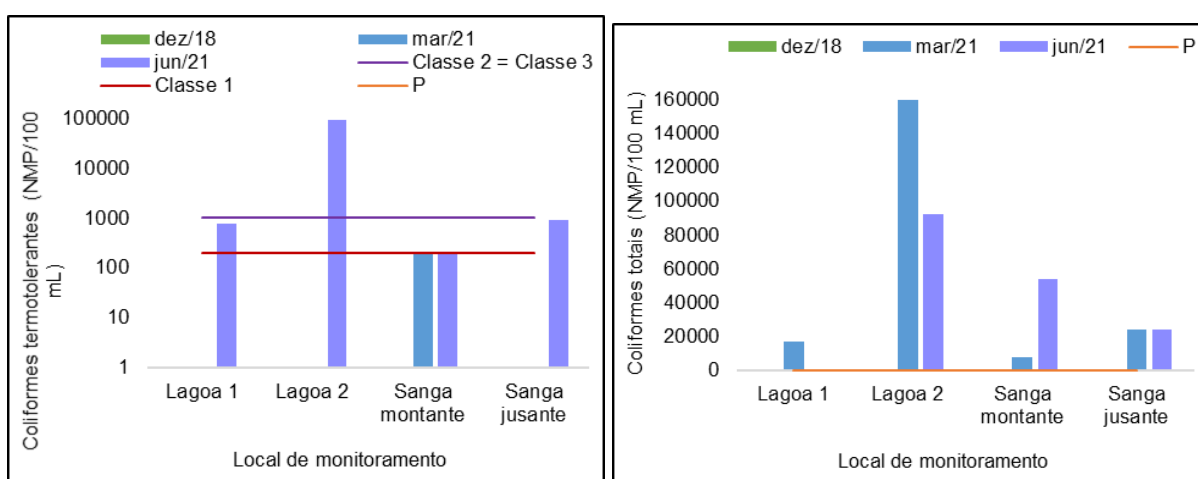
Figura 17 – Concentrações de DBO<sub>5</sub>, DQO, oxigênio dissolvido, fósforo, alumínio, manganês dissolvido e total e coliformes termotolerantes e totais nas lagoas de águas superficiais (1 e 2) e na sanga, a montante e a jusante do empreendimento \*



\*Fósforo total: não foi analisado em dez/2018.



\*Manganês dissolvido: não foi analisado em dez/2018.



\*Coliformes termotolerantes e totais: não foram analisados em dez/2018.

\*Obs.: As barras dos gráficos referem-se aos valores de concentração de cada SQI nos locais avaliados, sendo que as concentrações abaixo do LQ (conforme Quadro 4) foram consideradas como sendo nulas para apresentação no gráfico. As linhas referem-se aos limites de concentração definidos pela legislação vigente: Classes 1, 2, 3 e 4 conforme Resolução CONAMA 357/2005; P (potabilidade) da PC nº 5/2017 do MS.

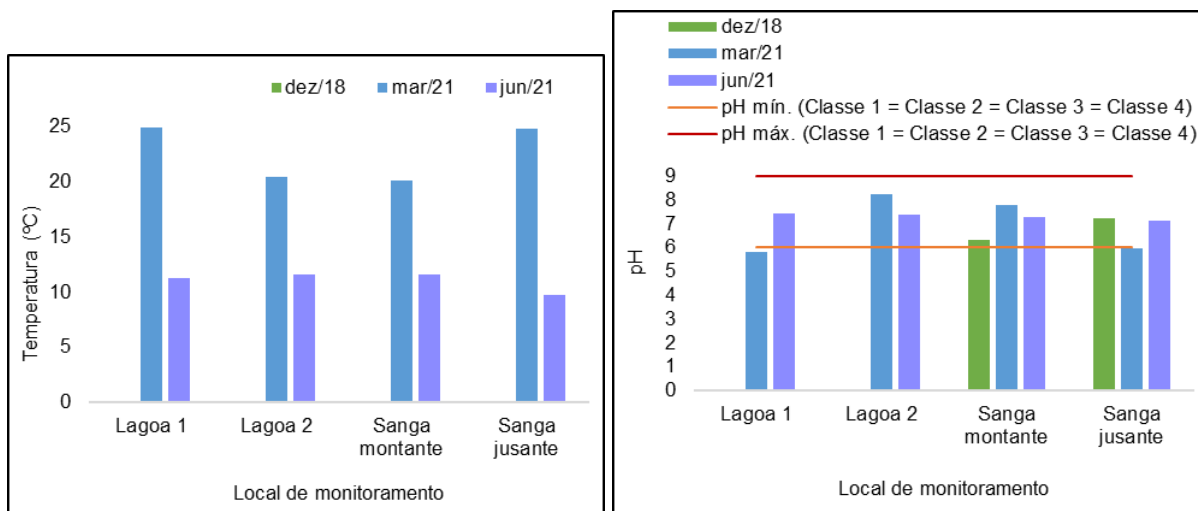
Em resumo, as concentrações de  $\text{DBO}_5$ , fósforo, alumínio, manganês e coliformes termotolerantes estão no padrão de qualidade para Classe 4, estando fora do enquadramento atual estipulado para a microbacia que é Classe 3. As concentrações de matéria orgânica que influenciam na  $\text{DBO}_5$  podem ser explicadas devido ao ambiente lântico das lagoas, cuja carga orgânica, que pode ser proveniente do escoamento superficial, é acumulada neste ambiente. As concentrações de alumínio e manganês podem ser provenientes do solo natural, fato já observado em outros compartimentos, no entanto, não se pode dizer o mesmo para o fósforo cuja origem tende a ser da lixiviação da massa de resíduos sólidos. Por outro lado, pelo fato das lagoas se tratar de locais de acúmulo de água e se apresentarem, de certa forma, isoladas do

curso hídrico a jusante (a sanga), as concentrações observadas na sanga tendem a apresentar comportamentos diferentes, também devido ao tipo de ambiente e ao fluxo hídrico.

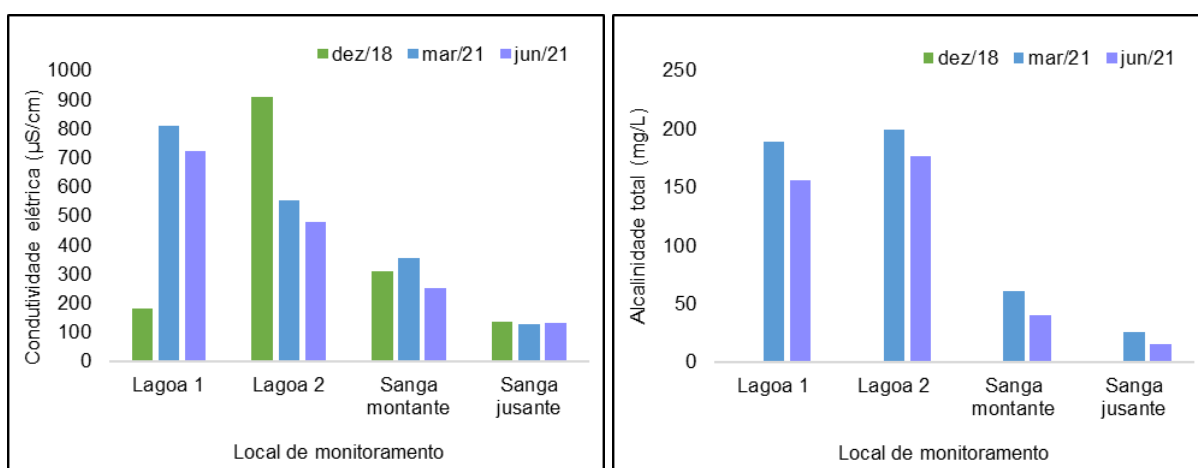
A influência do empreendimento na qualidade da água da sanga é menor quando comparado a água das lagoas. Houve melhora no pH da água desde a última campanha, estando dentro do padrão definido pela legislação tanto a montante como a jusante do empreendimento (Fig. 18). Quanto a presença de matéria orgânica, o padrão de qualidade continua sendo melhor do que nas lagoas, atualmente com concentrações de DBO<sub>5</sub> e oxigênio dissolvido no padrão da Classe 1 (Fig. 17), tanto a montante como a jusante, sendo a qualidade não influenciada pelo empreendimento. O comportamento é semelhante para as demais variáveis, sendo que no ponto a jusante, com exceção do alumínio e manganês totais e coliformes termotolerantes, as variáveis apresentaram padrão de qualidade Classe 1 (Fig. 18). Neste ponto, o alumínio e o manganês apresentaram padrão classe 3 e os coliformes termotolerantes padrão classe 2 (Fig. 17). No ponto a montante, com exceção do alumínio e manganês totais e ferro dissolvido que apresentaram padrão classe 3, o restante apresentou padrão classe 1 de qualidade (Fig. 18). Portanto, a contribuição do aterro de RSU na qualidade da sanga é restrita a presença de coliformes termotolerantes a jusante, no entanto dentro do padrão classe 2. Já para as demais variáveis, o aumento das concentrações é causado por fontes externas, como visto no ponto a montante. Quanto a potabilidade, apresenta restrição somente para ferro, manganês e coliformes termotolerantes e totais (Fig. 17).

As concentrações observadas evidenciaram as diferenças de comportamento das variáveis analisadas em ambientes lênticos e lóticos, mostrando que o empreendimento influencia mais negativamente nos ambientes lênticos (lagoas), mas que estão restritos ao perímetro do empreendimento. Já no ambiente lótico (sanga), sua qualidade é influenciada negativamente somente pela presença de coliformes que podem ser advindas do empreendimento. Qualquer estudo futuro visando ações de intervenção deve considerar esta observação. Os resultados observados para algumas variáveis nas lagoas estão acima dos padrões para a classe de enquadramento, sendo que deverão ser constantemente monitoradas para avaliar a evolução e necessidade de outras medidas de gerenciamento.

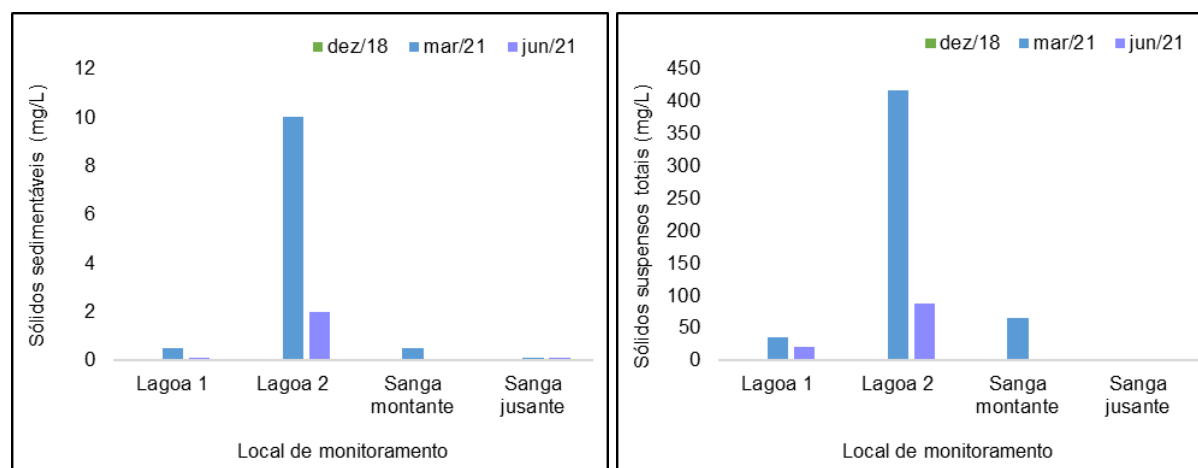
Figura 18 – Temperatura, pH, condutividade elétrica, alcalinidade total, sólidos sedimentáveis e suspensos, cloreto, sulfeto, sulfato, nitrogênio amoniacal e total, ferro dissolvido e total, cádmio, chumbo, cobre, cromo, mercúrio, níquel e zinco nas lagoas de águas superficiais (1 e 2) e na sanga, a montante e a jusante do empreendimento \*



\*pH e temperatura: não foram analisados em dez/2018.

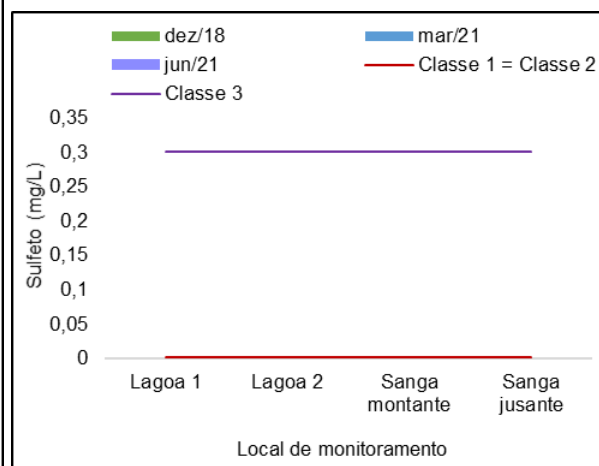
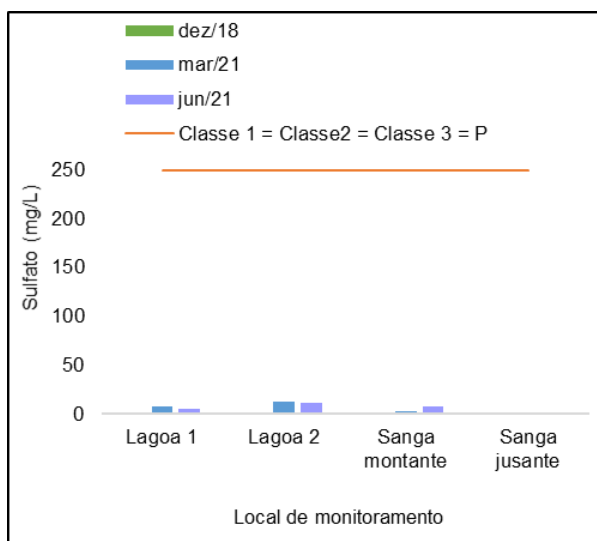


\*Alcalinidade total: não foi analisada em dez/2018.

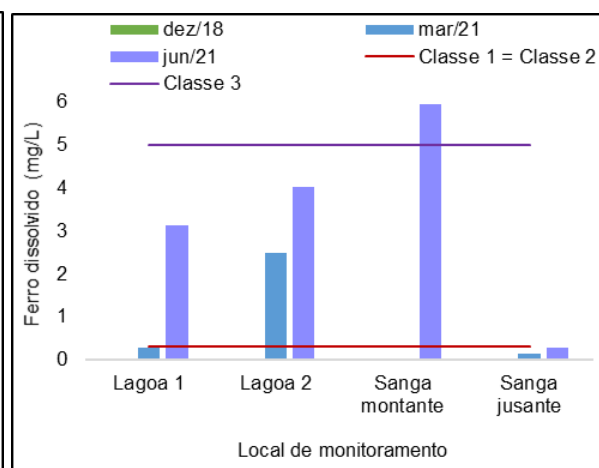
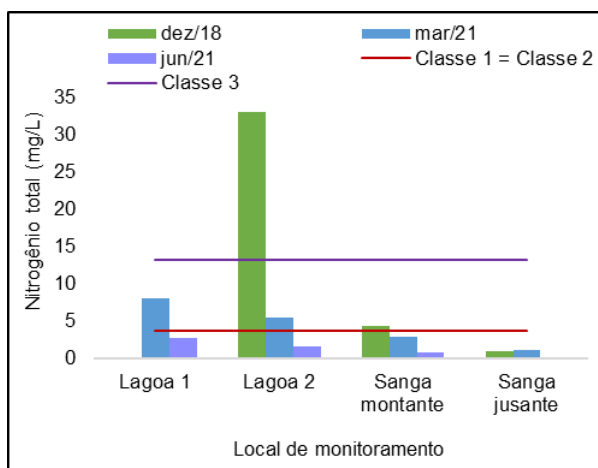
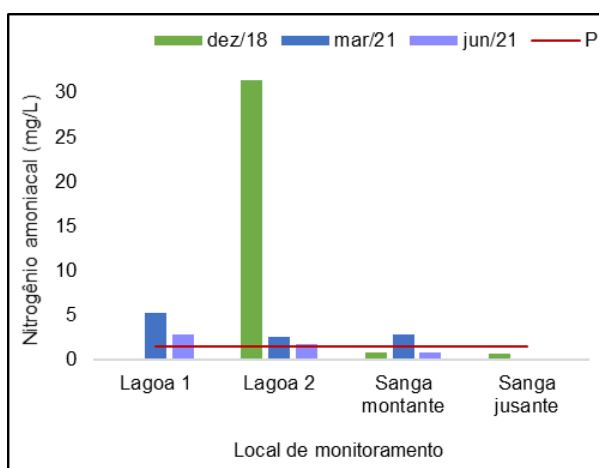
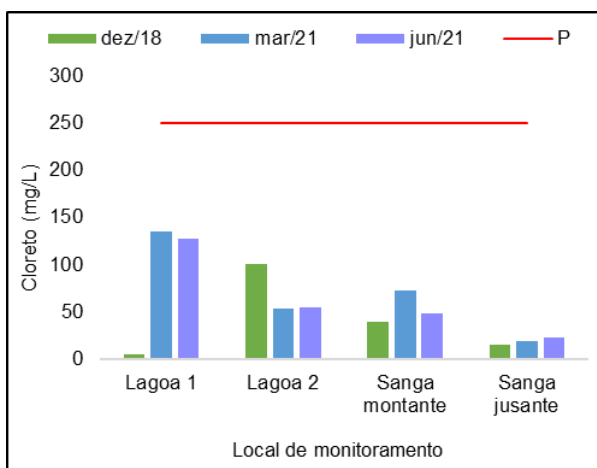


\*Sólidos sedimentáveis e sólidos suspensos totais: não foram analisados em dez/2018.

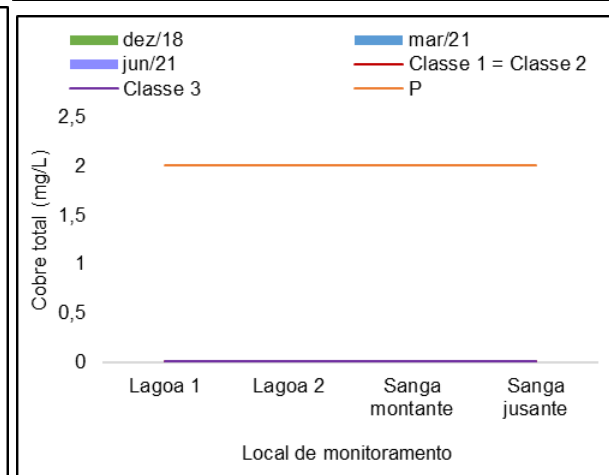
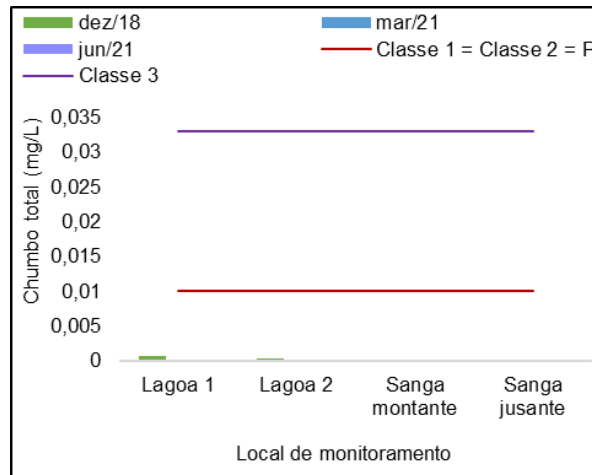
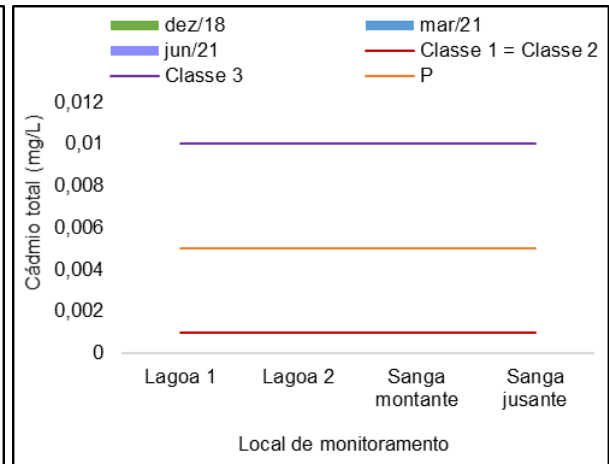
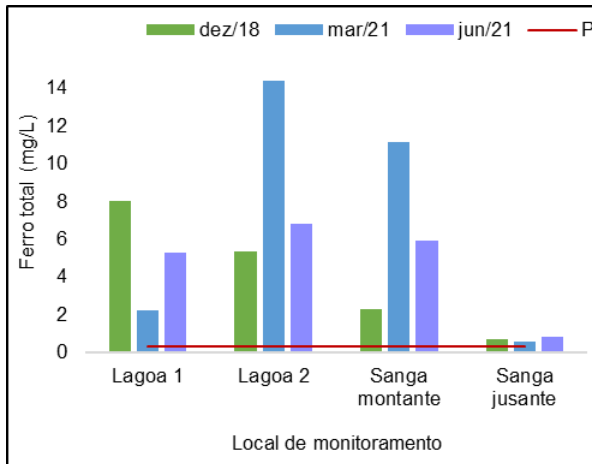




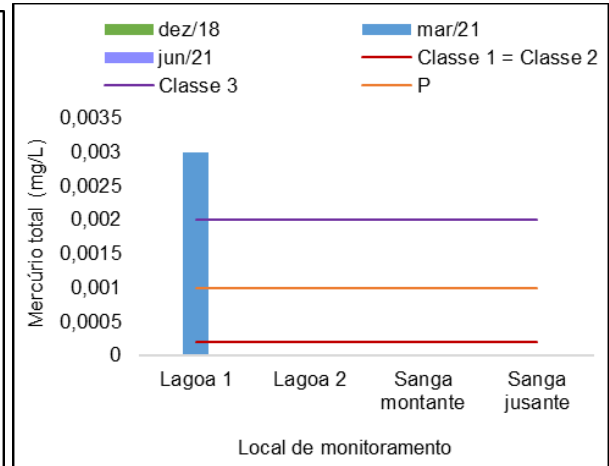
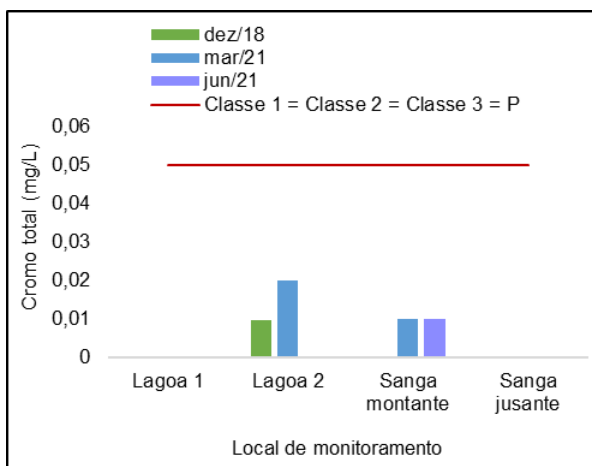
\*Sulfato e sulfeto: não foram analisados em dez/2018.

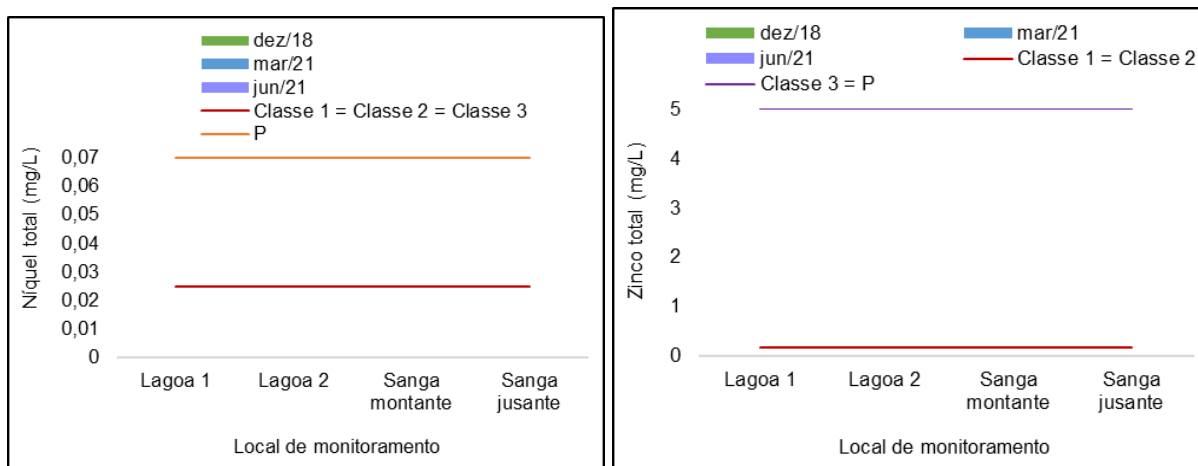


\*Ferro dissolvido: não foi analisado em dez/2018.



\*Cobre total: não foi analisado em dez/2018.





\*Níquel e zinco totais: não foram analisados em dez/2018.

\*Obs.: As barras dos gráficos referem-se aos valores de concentração de cada SQI nos locais avaliados, sendo que as concentrações abaixo do LQ (conforme Quadro 4) foram consideradas como sendo nulas para apresentação no gráfico. As linhas referem-se aos limites de concentração definidos pela legislação vigente: Classes 1, 2, 3 e 4 conforme Resolução CONAMA 357/2005; P (potabilidade) da PC nº 5/2017 do MS.

## 6.4 Efluentes

Os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas do efluente do aterro foram comparados para fins de avaliação de qualidade para lançamento em corpo hídrico superficial com a Resolução CONAMA nº 430/2011 e a Resolução CONSEMA nº 355/2017.

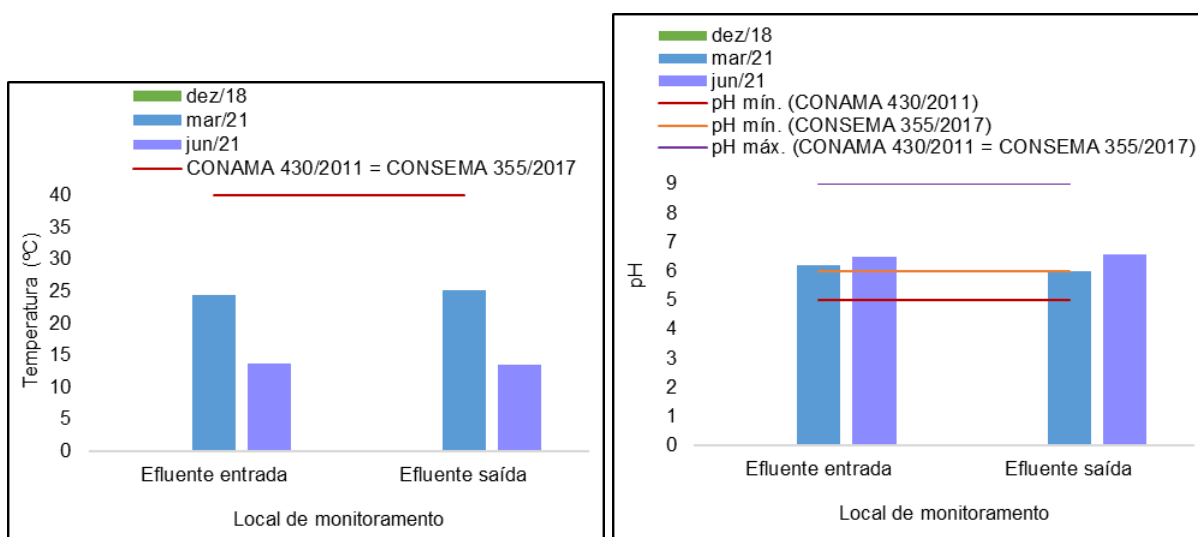
Os resultados obtidos da última campanha de monitoramento (junho/2021) também foram comparados com os resultados obtidos nas campanhas anteriores (março/2021 e dezembro de 2018), como forma de avaliar a evolução histórica das concentrações.

Embora foram coletadas duas amostras de efluente denominadas de efluente entrada e efluente saída, o empreendimento possui somente uma lagoa de armazenamento, e a denominação refere-se ao ponto de coleta, situado próximo a tubulação de entrada de efluente e da tubulação de saída, porém na mesma lagoa. Portanto, não se pôde fazer uma avaliação de eficiência de tratamento.

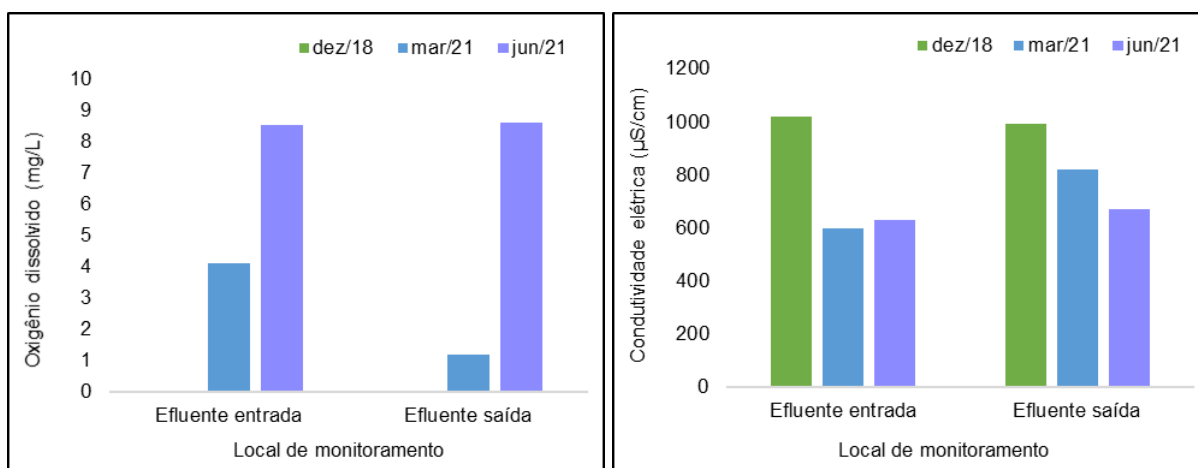
Analisando os resultados obtidos na campanha de junho de 2021, observa-se que houve uma melhora na qualidade do efluente quando comparado com a campanha anterior, sendo que na campanha de junho de 2021 todas as variáveis apresentaram concentrações em conformidade com os padrões definidos pela legislação (Resoluções CONAMA nº 430/2011 e CONSEMA nº 355/2017). Nesse caso o efluente estaria apto para lançamento em corpo hídrico superficial, no entanto, sua qualidade deverá ser continuamente monitorada para avaliação do lançamento no

meio ambiente, uma vez que na campanha anterior (março de 2021) os resultados não cumpriam com os padrões estabelecidos para lançamento direto e recomendava-se o tratamento.

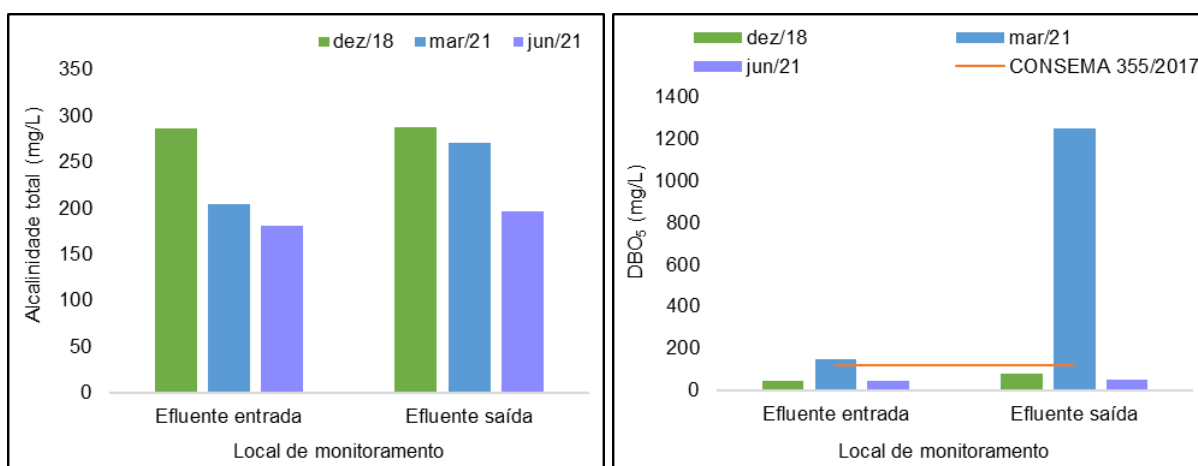
Figura 19 – Resultados gerais das análises físico-químicas e microbiológicas do efluente gerado pelo empreendimento a partir da lixiviação do chorume \*

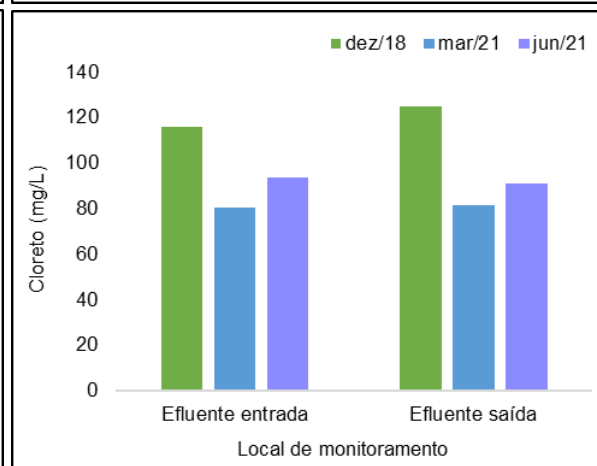
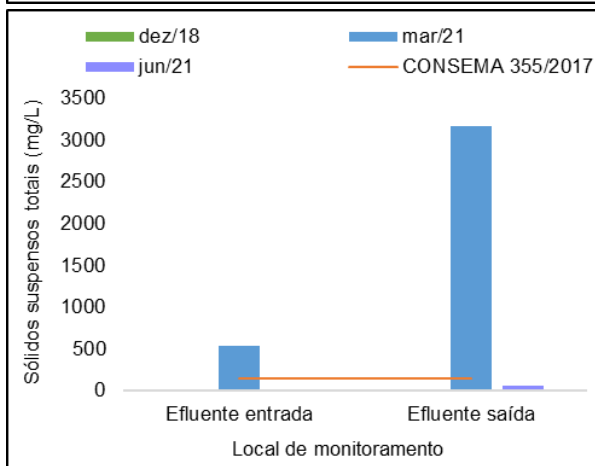
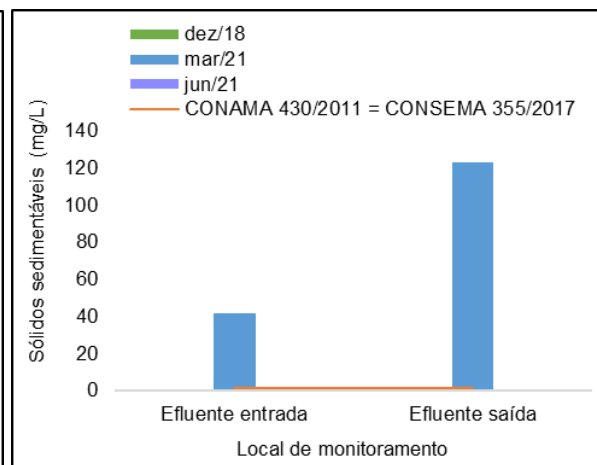
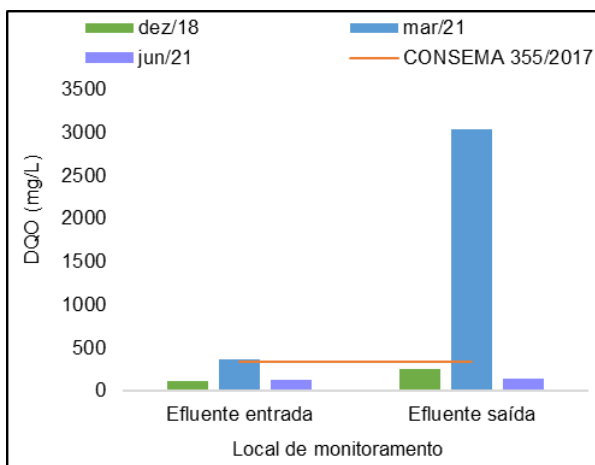


\*pH e temperatura: não foram analisados em dez/2018.

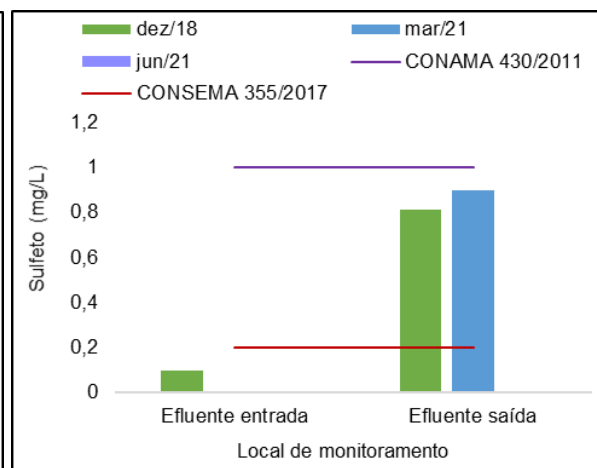
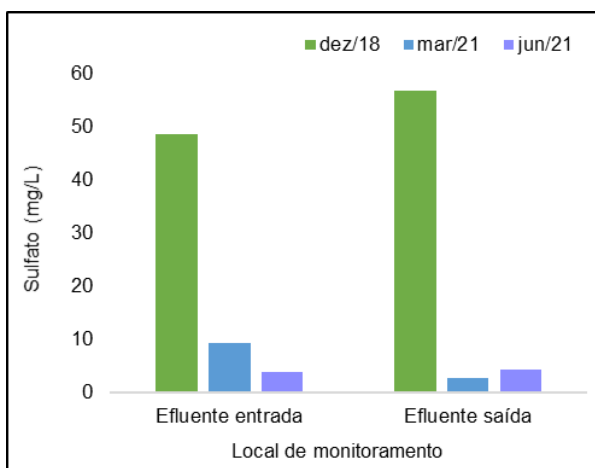


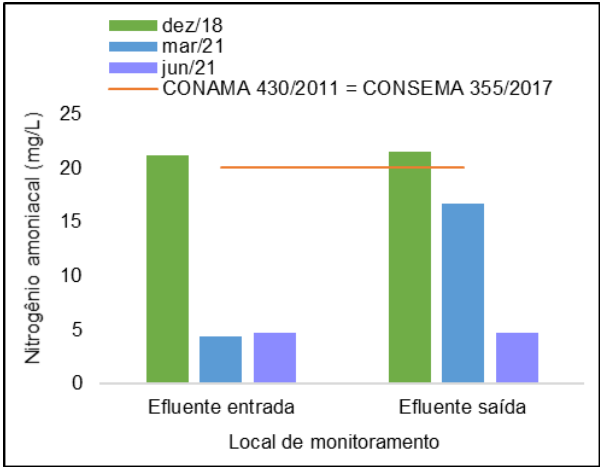
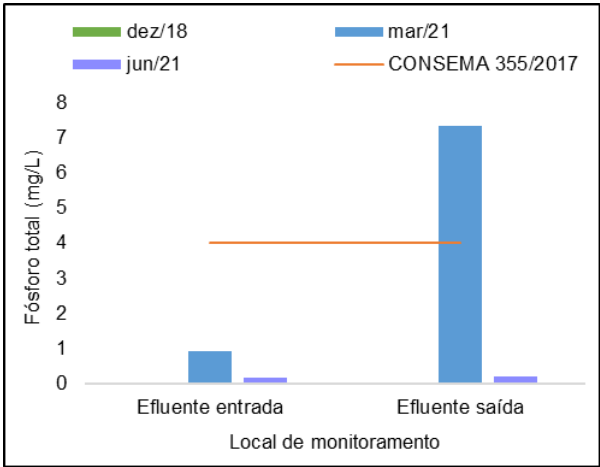
\*oxigênio dissolvido: não foi analisado em dez/2018.



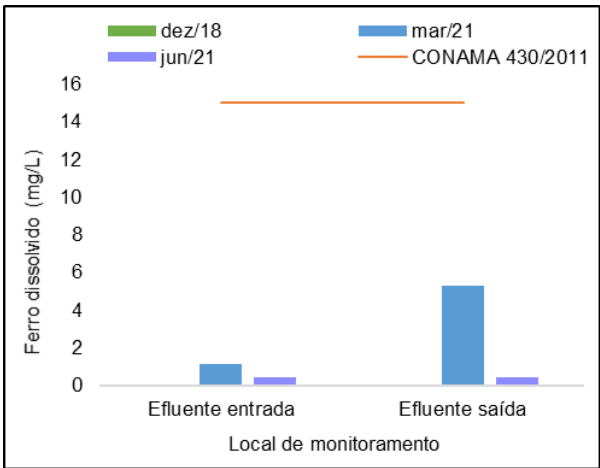
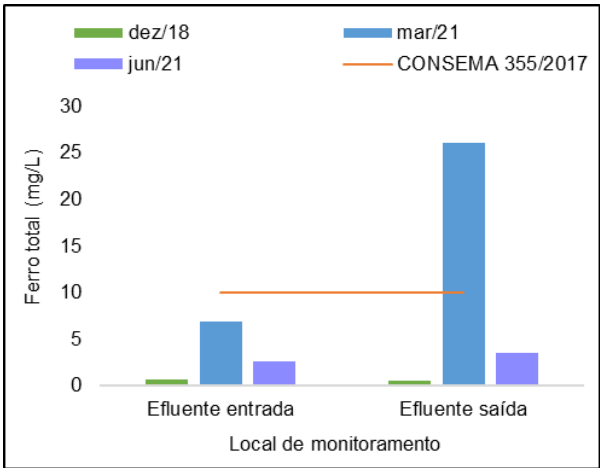
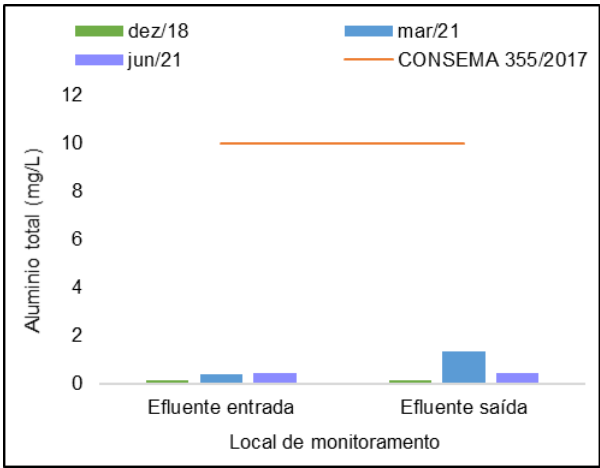
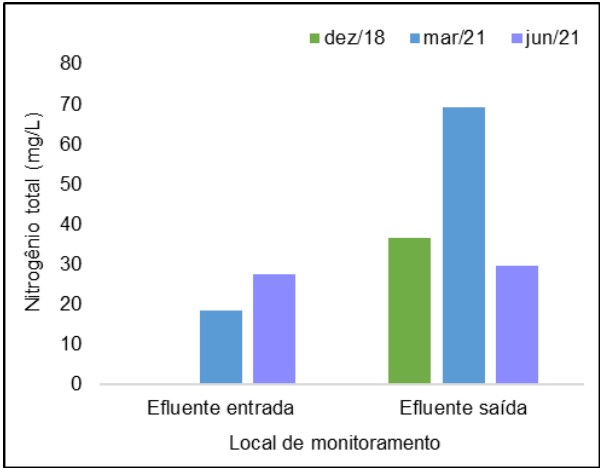


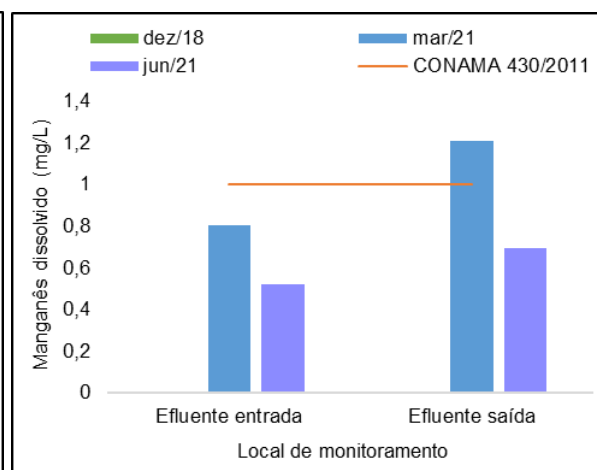
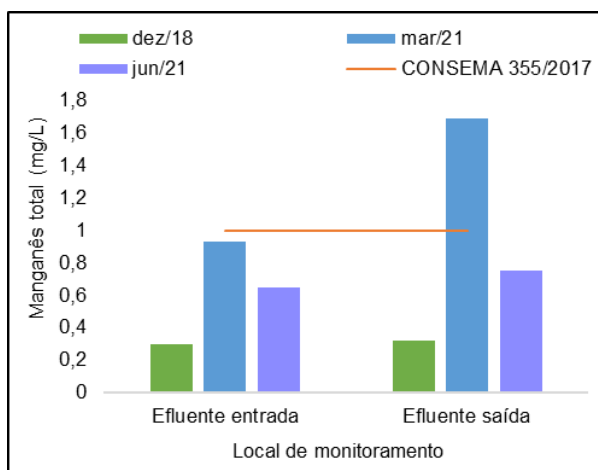
\*sólidos sedimentáveis e sólidos suspensos totais: não foram analisados em dez/2018.



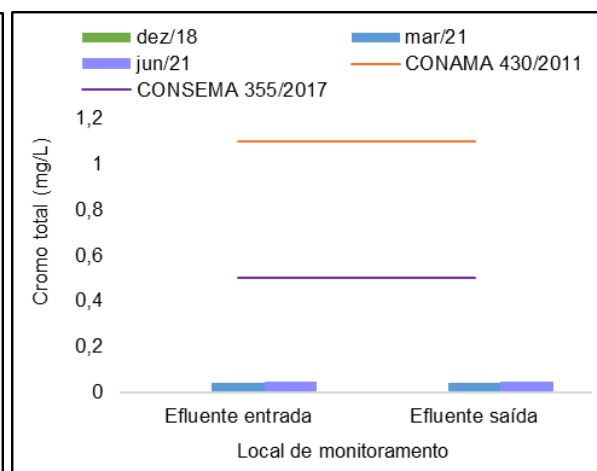
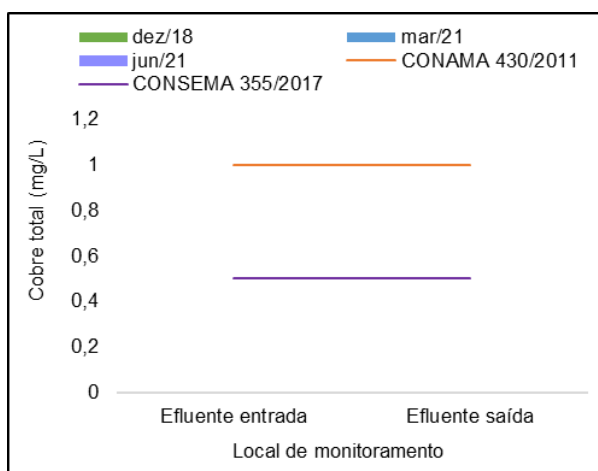
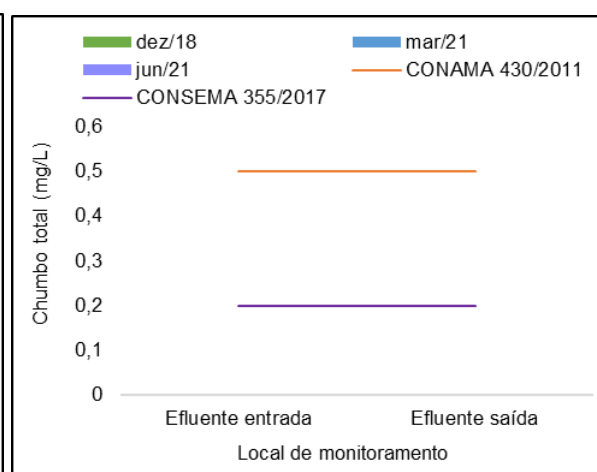
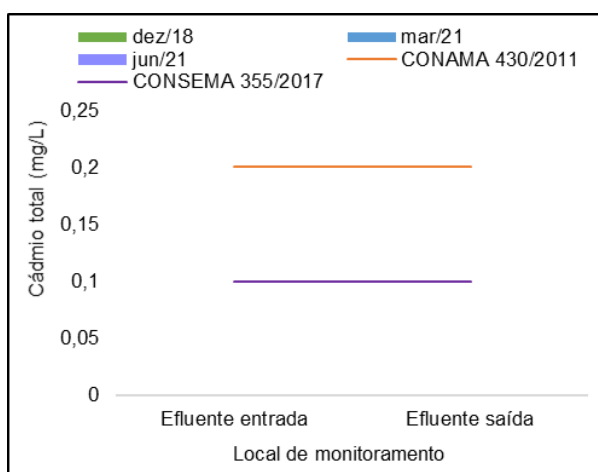


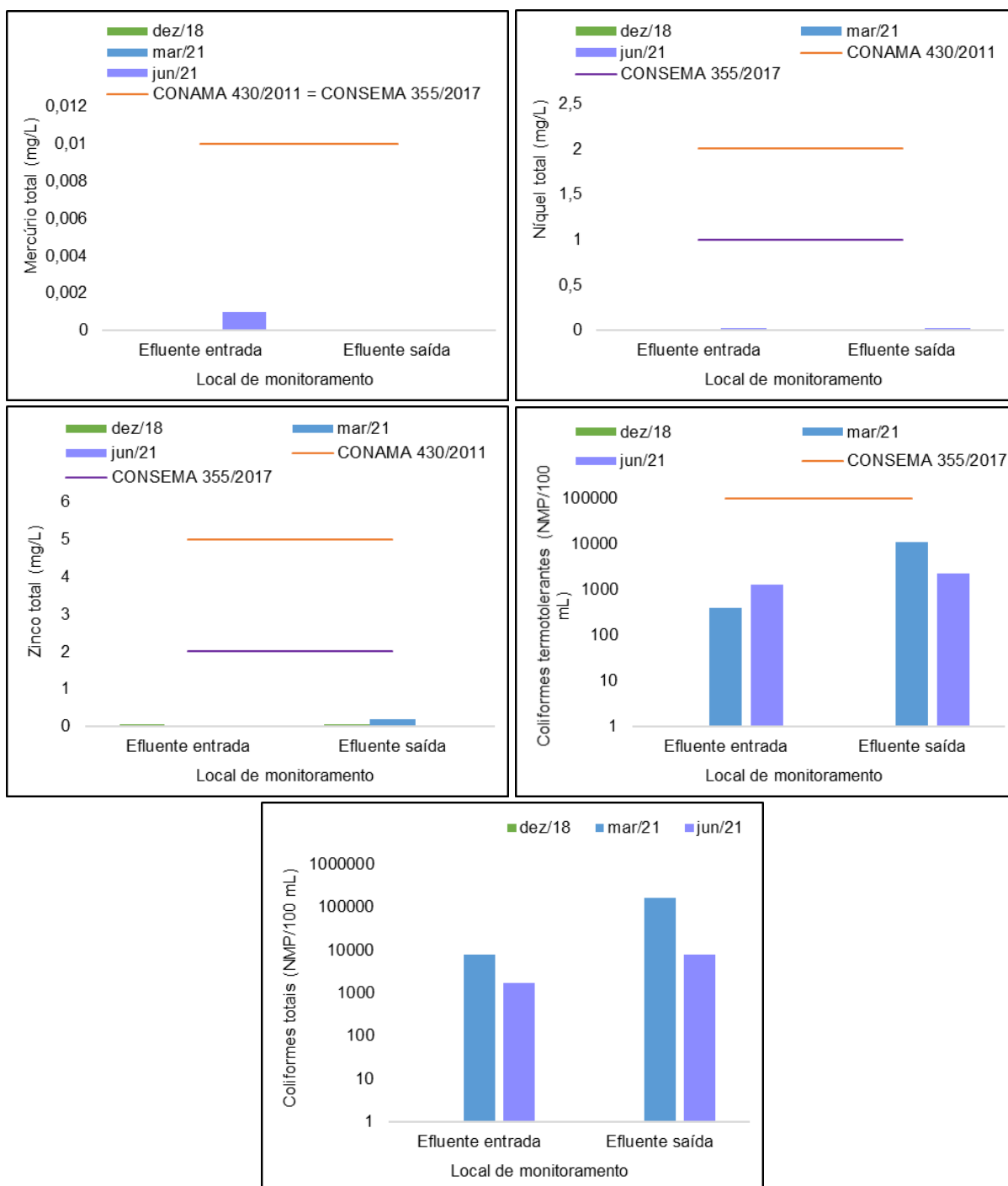
\*fósforo total: não foi analisado em dez/2018.





\*ferro e manganês dissolvidos: não foram analisados em dez/2018.





\*coliformes termotolerantes e totais: não foram analisados em dez/2018.

\*Obs.: As barras dos gráficos referem-se aos valores de concentração de cada SQI nos locais avaliados, sendo que as concentrações abaixo do LQ foram consideradas como sendo nulas para apresentação no gráfico. As linhas referem-se aos limites de concentração definidos pela Resolução CONAMA nº 430/2011 e Resolução CONSEMA nº 355/2017.



## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O monitoramento das variáveis físico-químicas e microbiológicas dos principais compartimentos ambientais (solo, águas superficiais e subterrâneas) diretamente afetados pelo antigo aterro de RSU de Passo Fundo, além dos efluentes gerados a partir do lixiviado, permitiu avaliar a influência do empreendimento sobre a qualidade ambiental desses compartimentos, considerando os valores de referência das principais substâncias químicas de interesse (SQI) definidos pela legislação.

O solo do entorno das células foi classificado como sendo Classe 3 de acordo com a legislação, apresentou concentração dos metais cromo, zinco, chumbo, mercúrio e arsênio acima dos valores de prevenção e de referência de qualidade em alguns pontos de amostragem, evidenciando a interferência na qualidade ambiental deste compartimento devido a presença do aterro como fonte primária de contaminação. No entanto, nenhuma das concentrações de metais está acima dos valores de investigação para uso agrícola definidos pela legislação, e, portanto, o controle da fonte de contaminação e o monitoramento permanente deverão ser mantidos e os resultados constantemente avaliados.

A qualidade das águas subterrâneas, que é um compartimento de avaliação ambiental importante, pois apresenta capacidade de fluxo de massa que pode transferir contaminantes para fora das áreas fonte, foi avaliada por meio de amostragens realizadas em três poços de monitoramento situados a jusante do empreendimento e os resultados comparados com as campanhas anteriores. Observou-se nas campanhas de março e junho de 2021 concentrações de ferro e manganês acima dos valores de investigação em pelo menos um poço de monitoramento, que pode ser justificado pelas características físico-químicas do solo natural, que é rico em minerais compostos por alumínio, ferro e manganês, como abordado no monitoramento do solo, servindo de fonte natural destes metais, sendo a contribuição pela fonte primária (RSU) de difícil quantificação e avaliação. A novidade na campanha de junho de 2021 foi a concentração de nitrato acima dos valores de investigação no PM 3, acompanhada de um incremento na DQO, que podem estar relacionadas à lixiviação de chorume do aterro de RSU que é a fonte primária de compostos nitrogenados e matéria orgânica. A concentração de mercúrio observada no PM 2 na campanha de março de 2021 não foi possível de ser verificada na campanha de junho de 2021 devido a impossibilidade de amostragem nesse poço, como dito anteriormente. A continuidade do monitoramento da água subterrânea, incluindo a amostragem em todos os poços, e a verificação de reincidência de concentrações acima dos valores de investigação,

poderá servir de base para a tomada de decisão quanto a necessidade de adoção futura de outras ações para o gerenciamento deste compartimento ambiental.

No que se refere a qualidade das águas superficiais das lagoas (ambiente lântico), foi verificado que houve uma melhora aparente nas concentrações, especialmente de oxigênio dissolvido e  $\text{DBO}_5$  na última campanha (junho de 2021) mas que possuem relação direta com a temperatura da água que quanto mais baixa maior é sua capacidade de dissolução de oxigênio, fato observado nessa campanha. No entanto, a DQO permanece no padrão de qualidade Classe 4. Da mesma forma para o fósforo, alumínio e manganês totais e coliformes termotolerantes nas lagoas (ambiente lântico) estão na faixa que classificam o esse recurso hídrico em Classe 4, acima da classificação atual definida pela legislação (Classe 3). Essas alterações na qualidade tendem a serem influenciadas pelo empreendimento, a partir do transporte destes contaminantes pelo fluxo subterrâneo ou escoamento superficial. Por outro lado, o empreendimento não influencia negativamente na qualidade da água da sanga (ambiente lótico), situada a jusante do empreendimento e das lagoas, apresentando qualidade da Classe 3 para as variáveis mais críticas (alumínio e manganês totais) e Classe 2 para coliformes termotolerantes, estando de acordo com a legislação, sendo para as demais variáveis padrão Classe 1.

Quanto a qualidade do efluente gerado a partir do lixiviado das células de disposição dos RSU foi verificado que houve uma melhora na qualidade desde a última campanha, sendo que na campanha atual o efluente apresenta padrão de qualidade para lançamento em corpo hídrico receptor, conforme padrões definidos pela legislação vigente, ao contrário dos resultados da campanha anterior quando havia restrições para lançamento sem tratamento. No entanto, a avaliação da qualidade do efluente deve ser continua a fim de se avaliar periodicamente a possibilidade de lançamento de forma segura no meio ambiente.

Por fim, a gestão atual e futura da área no que se refere ao gerenciamento de áreas contaminadas deverá ocorrer por meio do monitoramento contínuo dos diversos compartimentos ambientais afetados pelo empreendimento, com novas campanhas de monitoramento, de modo a obter dados robustos e representativos da situação atual da área. Os dados obtidos poderão servir de base para a investigação confirmatória, sendo, em caso positivo, encaminhada para elaboração do plano de investigação detalhada, cujo objetivo é mapear em detalhes a distribuição e a quantificação de massa dos contaminantes no meio e a extensão da contaminação. A investigação detalhada, em conjunto com análise de risco a saúde humana, norteará as possíveis ações de intervenção, a partir da definição dos usos atuais e

futuros da área do aterro e do entorno, além dos possíveis receptores considerando os cenários de exposição definidos.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9898** - Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. 1987.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8.419** - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.847** - Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento — Métodos de purga. Rio de Janeiro/RJ. 2010.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/IEC 17.025** - Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro/RJ. 2017.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. 2020. 2021.

ALENCAR, J. M. S. et al. Análise de arranjos eletródicos na caracterização da pluma de contaminação do aterro controlado do Jockey Clube de Brasília - DF. **14th International Congress of the Brazilian Geophysical Society & EXPOGEF**, Rio de Janeiro, Brazil. Anais...Brazilian Geophysical Society. 2015.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras - águas, sedimentos, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. Ministério do Meio Ambiente, 2011.

BRASIL. **Lei nº 12.305** - Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília. Agosto de 2010.

CHRISTENSEN, T.H. et al. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. **Applied Geochemistry** 16 (7–8): 659–718. 2001.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 357** - Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 2005.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 396** - Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. 2008.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 420** - Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. 2009.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 430** - Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. 2011.

CONSEMA – CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 355** - Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. 2017.

CRH – CONSELHO DE RECURSOS HÍDRICOS DO RIO GRANDE DO SUL. **Resolução nº 122** – Aprova o enquadramento das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí. 2012.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Humberto Gonçalves dos Santos [et al.]. – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. ISBN 978-85-7035-817-2.

FEE – FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA. **Atlas Fee** – O Rio Grande do Sul no seu mundo. Org. Tomás Pinheiro Fiori, et al. Coordenação de Mariana Lisboa Pessoa. Porto Alegre: FEE. 2017. 29 p.

FEITOSA, F. A. C.; FILHO, J. M. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. 2ª. ed. **CPRM Serviço Geológico do Brasil**. LABHID-UFPE. Fortaleza, 2000.

FEPAM - FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIZ ROESSLER. **Portaria nº 85**. Dispõe sobre o estabelecimento de Valores de Referência de Qualidade (VRQ) dos solos para 09 (nove) elementos químicos naturalmente presentes nas diferentes províncias geomorfológicas/geológicas do Estado do Rio Grande do Sul. 2014.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama Cidades**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/passos-fundo/panorama> 2021>. Acesso em 24 de setembro de 2021.

FREITAS, M. A. Cap. 5 – Recursos hídricos subterrâneos. In: **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul** / Organização Ana Cláudia Viero [e] Diogo Rodrigues Andrade da Silva. – Porto Alegre: CPRM, 2010. 250 p.

KÄMPF, N.; STRECK, E. V. Cap. 4 – Solos. In: **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul** / Organização Ana Cláudia Viero [e] Diogo Rodrigues Andrade da Silva. – Porto Alegre: CPRM, 2010. 250 p.

MELO, D. A. **Aterros de Resíduos: o uso de Ferramentas de Avaliação como apoio decisório para a reabilitação ambiental – Teoria e Prática**. 1ª ed. Curitiba: Appris, 2021. 329 p.

MS - MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria de Consolidação nº 05** - Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. ANEXO XX - Do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (origem: PRT MS/GM 2914/2011). 2017

MOODY, C. M.; TOWNSEND, T.G. A comparison of landfill leachates based on waste composition. **Waste Management** 63: 267–274. 2017.

PMPF – PREFEITURA MUNICIPAL DE PASSO FUNDO. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Passo Fundo – RS**. Passo fundo/RS. 2014

VIANA, E. et al. **Caracterização de resíduos sólidos – Uma abordagem metodológica e propositiva**. 1ª Ed. São Paulo/SP: Editora Biblioteca 24 horas, Sevem System International Ltda. 2015.

WILDNER, W. et al. Geologia e recursos minerais do estado do Rio Grande do Sul: escala 1:750.000. Porto Alegre: CPRM. 1 DVD-ROM. **Programa Geologia do Brasil**; Mapas Geológicos Estaduais. 2008.