



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS
GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**AVALIAÇÃO SAZONAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO ATERRO
SANITÁRIO DA CTRS-040 – BELO HORIZONTE, MG**

Júlia Rodrigues Barroso Coelho

**Belo Horizonte- MG
2023**

Júlia Rodrigues Barroso Coelho

**AVALIAÇÃO SAZONAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS NA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO ATERRO
SANITÁRIO DA CTRS-040 – BELO HORIZONTE, MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista

Orientador: Prof. MSc. André Luiz Marques Rocha

**Belo Horizonte
2023**



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC

JÚLIA RODRIGUES BARROSO COELHO

**AVALIAÇÃO SAZONAL DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA
ÁREA DE INFLUÊNCIA DO ATERRO SANITÁRIO DA CTRS-040 – BELO
HORIZONTE, MG**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.

Aprovado em 22 de junho de 2023

Banca examinadora:

André Luiz Marques Rocha – Presidente da Banca Examinadora
Prof. Mcs. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG –
Orientador(a)

Evandro Catrusca de Oliveira
Prof. Dr. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET/MG

Cícero Antônio Antunes Catapreta
Engenheiro Civil – Gerente de Monitoramento e Disposição Final de Resíduos – SLU

AGRADECIMENTOS

Gostaria de começar agradecendo a Deus por todas as portas que ele abriu para mim e todas as oportunidades que me deu, além de saúde, companhias de pessoas boas e a família que me deu.

Agradeço aos meus pais, Renata e Ronan, por me apoiarem em todos os momentos que passei ao longo da graduação, por todo carinho que me deram nos tempos difíceis, por toda educação que me deram e por me guiarem para que eu conseguisse chegar aonde estou hoje. Ao meu irmão João Pedro por me apoiar sempre que precisei. A minha avó Ivonete por sempre me apoiar e torcer por mim em todas minhas vitórias. A toda minha família que vibrou comigo em cada conquista.

Agradeço as minhas amigas Renata, Maria Eduarda e Júlia pela amizade e por todo apoio que foram de grande auxílio para a realização desta conquista.

Ao Clayton, obrigada por apoio, todo incentivo, todo carinho, todo amor, por me consolar nos momentos difíceis, por vibrar com minhas conquistas, por me ouvir sempre que precisei e por me ajudar a enfrentar cada desafio e por sempre acreditar em mim.

Aos meus companheiros do CEFET-MG, que estiveram comigo ao longo da caminhada me proporcionaram momentos de felicidade e apoio nos momentos de tristeza, em especial: Isabela, Carolina, Laura, Rafael, Daniel, Gabriel, Deborah, Anna Luiza, Ana Flávia, Letícia, Marco, Thais, Cléber, Rafael, Taynara, Rafaella, Júlia.

Agradeço também ao Cícero por todo apoio e por toda atenção que me deu ao longo do meu período de estágio na SLU e durante a realização do meu TCC. Agradeço a SLU pela oportunidade e pela documentação que disponibilizaram para a realização deste trabalho.

Ao CEFET-MG por todo conhecimento de qualidade que me foi passado e pelos professores excelentes que possui. Em especial agradeço ao meu orientador, André Luiz Marques Rocha, por me auxiliar em um momento complicado, onde mesmo com muitos alunos para orientar aceitou esse desafio comigo, sempre foi solícito e com várias sugestões para melhorar meu trabalho.

Obrigada a todos, que mesmo não citados, estiveram comigo ao longo desta caminhada!

RESUMO

COELHO, JÚLIA RODRIGUES BARROSO. **Avaliação sazonal da qualidade das águas subterrâneas na área de influência do aterro sanitário da CTRS-040 – Belo Horizonte, MG.** 2023. 73p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

A geração de resíduos sólidos está presente em todas as atividades e em todos os locais no mundo, portanto é necessária a disposição adequada destes resíduos. A disposição considerada adequada no Brasil é o aterro sanitário, mas mesmo sendo o destino correto para os resíduos é necessário o monitoramento contínuo durante e após o aterramento a fim de evitar a contaminação do meio ambiente, uma vez que a decomposição dos resíduos pode afetar a qualidade das águas subterrâneas, do solo e das águas superficiais. As águas subterrâneas possuem grande importância uma vez que a mesma pode afetar o lençol freático e atingir outras áreas. Além disso, as águas pluviais podem afetar na qualidade das águas subterrâneas se a impermeabilização das camadas de aterramento não for realizada de forma correta. Portanto, o presente trabalho possui o objetivo de avaliar a qualidade das águas subterrâneas do aterro sanitário presente na CTRS BR040 e se as águas pluviais possuem influência nos poços subterrâneos. Deste modo, foram analisados resultados dos parâmetros: DBO, DQO, pH, turbidez, potencial redox, coliformes termotolerantes e coliformes totais, sólidos dissolvidos, nitrato e nitrito e nível d'água de quatorze pontos durante cinco anos. Com isso, foi possível verificar que alguns poços possuem influência do aterro sanitário e que a sazonalidade não influencia.

Palavras-Chave: Resíduos Sólidos; Aterro Sanitário; Água Subterrânea; Monitoramento; Sazonalidade.

ABSTRACT

COELHO, JÚLIA RODRIGUES BARROSO. **Avaliação sazonal da qualidade das águas subterrâneas na área de influência do aterro sanitário da CTRS-040 – Belo Horizonte, MG.** 2023. 73p. Undergraduate thesis (Environmental and Sanitary Engineering) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2023.

The generation of solid waste is present in all activities and in all locations worldwide, therefore proper disposal of this waste is necessary. The disposal method considered appropriate in Brazil is the sanitary landfill, but even though it is the correct destination for the waste, continuous monitoring is required during and after landfilling in order to prevent environmental contamination, as the decomposition of the waste can affect the quality of groundwater, soil, and surface water. Groundwater is of great importance as it can affect the water table and reach other areas. Additionally, rainfall can affect the quality of groundwater if the impermeabilization of the landfill layers is not carried out correctly. Therefore, the present study aims to evaluate the quality of groundwater in the sanitary landfill located at CTRS BR040 and whether rainfall has an influence on the groundwater wells. Thus, results of the following parameters were analyzed over a period of five years: BOD, COD, pH, turbidity, redox potential, thermotolerant coliforms, total coliforms, dissolved solids, nitrate and nitrite, and water level at fourteen points. As a result, it was possible to verify that some wells are influenced by the sanitary landfill and that seasonality does not have an influence.

Keywords: Solid Waste; Landfill; Groundwater; Monitoring; Seasonality.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	11
2.1. Objetivo geral	11
2.2. Objetivos específicos.....	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1. Disposição de Resíduos	12
3.2. Conceitos	13
3.3. Problemas Ambientais Decorrentes da Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos	15
3.4. Lixiviado.....	16
3.5. Contaminação das Águas Subterrâneas pelos Aterros	17
3.6. Cuidados para Proteção das Águas Subterrâneas.....	18
3.7. Monitoramento da Qualidade das Águas Subterrâneas - Aspectos Técnicos e Legislações Aplicáveis	19
4. METODOLOGIA	23
4.1. Área de estudo.....	23
4.2. Monitoramento realizado pela SLU	24
4.3. Poços de monitoramento analisados	27
4.4. Parâmetros avaliados	28
4.5. Dados pluviométricos	29
4.6. Análise de dados.....	31
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
5.1. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)	32
5.2. Demanda Química de Oxigênio (DQO)	34
5.3. Potencial Hidrogeniônico (pH).....	35
5.4. Turbidez	37
5.5. Coliformes Totais	38
5.6. Coliformes Termotolerantes (E. coli)	39
5.7. Nitrato e Nitrito.....	40
5.8. Potencial Redox.....	42
5.9. Sólidos Dissolvidos Totais	44
5.10. Nível d'Água	45
5.11. Localização dos poços críticos.....	46
6. CONCLUSÃO	48

7. RECOMENDAÇÕES	49
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
APÊNDICE A – Gráfico DBO	57
APÊNDICE B – Gráfico DQO	59
APÊNDICE C – Gráfico pH	61
APÊNDICE D – Gráfico Turbidez.....	63
APÊNDICE E – Gráfico Nitrato	65
APÊNDICE F – Gráfico Nitrito	67
APÊNDICE G – Gráfico Potencial Redox	69
APÊNDICE H – Gráfico Sólidos Dissolvidos Totais	71
APÊNDICE I – Gráfico Nível d’Água	73

LISTA DE FIGURA

Figura 3.1 - Geração de RSU em 2010 e 2019	15
Figura 3.2 - Geração de RSU em 2021 e 2022	16
Figura 3.3 – Esquema do Lixão	16
Figura 3.4 – Esquema do Aterro Controlado	17
Figura 3.5 – Esquema do Aterro Sanitário	17
Figura 3.6 – Disposição adequada X inadequada de RSU no Brasil (t/ano e %)	19
Figura 3.7 – Camada impermeabilizante em aterros sanitários	22
Figura 3.8 - Localização dos poços de água subterrânea	25
Figura 4.1– Área densamente habitada no entorno do aterro sanitário desativado de Belo Horizonte	26
Figura 4.2 – Esquema de Poço Multinível	27
Figura 4.3 – Bailer	28
Figura 4.4 – Bomba de baixa vazão	29
Figura 4.5 – Sonda Multiprômetros	30
Figura 4.6 – Mapa da CTRS e pontos amostrados	31
Figura 4.7 – Estações meteorológicas da SLU (esquerda) e da SUDECAP (direita)	32
Figura 4.8 – Média de Precipitação de 1991-2020	33
Figura 5.1 - Reação química do nitrito e nitrato	42
Figura 5.2 - Esquema da localização dos poços críticos	48

LISTA DE TABELA

Tabela 3.1 – Principais fatores que influenciam a composição do lixiviado dos aterros.....	20
Tabela 3.2 – Parâmetros e valores limites	23
Tabela 4.1 – Localização dos poços de água subterrânea	30
Tabela 5.1 - Série histórica de monitoramento da DBO abril/2016 a abril/2020	35
Tabela 5.2 - Série histórica de monitoramento da DQO abril/2016 a abril/2020	36
Tabela 5.3 - Série histórica de monitoramento do pH abril/2016 a abril/2020	38
Tabela 5.4 - Série histórica de monitoramento da Turbidez abril/2016 a abril/2020	39
Tabela 5.5 - Série histórica de monitoramento de Coliformes Totais abril/2016 a abril/2020	40
Tabela 5.6 - Série histórica de monitoramento de Coliformes Termotolerantes abril/2016 a abril/2020	41
Tabela 5.7 - Série histórica de monitoramento do Nitrato abril/2016 a abril/2020	42
Tabela 5.8 - Série histórica de monitoramento do Nitrito abril/2016 a abril/2020	43
Tabela 5.9 - Série histórica de monitoramento do Potencial Redox abril/2016 a abril/2020	44
Tabela 5.10 - Série histórica de monitoramento dos Sólidos Dissolvidos Totais abril/2016 a abril/2020	45
Tabela 5.11 - Série histórica de monitoramento do Nível d'Água outubro/2016 a abril/2020 .	46

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente
COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental
CTRS – Central de Tratamento de Resíduos Sólidos
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO – Demanda Química de Oxigênio
DP – Desvio Padrão
ERE – Estação de Reciclagem de Entulho
GRSU – Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
NBR – Norma Brasileira
PEAD – Polietileno de Alta Densidade
pH – Potencial Hidrogeniônico
PVC – Policloreto de Vinila
RSU – Resíduo Sólido Urbano
SLU – Superintendência de Limpeza Urbana
SUDECAP – Superintendência de Desenvolvimento da Capital
URPV – Unidade de Recebimento de Pequenos Volumes
VMP – Valor Máximo Permitido

1. INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial e o conseqüente crescimento acelerado e desordenado da população mundial provocaram intensa degradação ambiental ao longo do tempo, comprometendo a qualidade do ar, do solo e das águas, notadamente devido ao aumento da geração de resíduos sólidos e sua destinação inadequada (MAIER, 2007).

No Brasil e em outros países considerados em desenvolvimento, além da questão ambiental, são observados outros problemas decorrentes da forma incorreta na gestão dos resíduos sólidos urbanos (GRU), como as doenças decorrentes da proliferação de vetores e a emissão de gases de efeito estufa, que agravam o aquecimento global (GODECKE; NAIME; FIGUEIREDO, 2012).

A disposição de resíduos sólidos sobre o solo é uma das formas de destinação existentes e, atualmente, a mais empregada no Brasil, em lixões, aterros controlados e aterros sanitários. Destes métodos, o aterro sanitário é considerado o mais adequado e simples de destinação final de resíduos sólidos, mas exige cuidados especiais e técnicas específicas a serem seguidas, desde o preparo e a seleção do local até a sua operação e monitoramento (CARVALHO, 2001).

Em um aterro sanitário são realizados procedimentos para impedir a contaminação do solo e da água existentes naquele local, como a impermeabilização do solo e a drenagem do lixiviado (chorume). Lixiviado este, que é decorrente da decomposição dos resíduos orgânicos ao longo do tempo e possui um elevado grau poluidor e de toxicidade, que pode gerar grandes impactos para a saúde humana e para o meio ambiente. Esse lixiviado é rico em carga orgânica, metais pesados e possui alta concentração de microrganismos, que podem contaminar o meio ambiente e a saúde pública (MATTOS, 2006).

Portanto, se faz necessário a implantação e execução de uma sistemática de monitoramento em um aterro, para analisar a existência de contaminação do local e, se for, necessário proceder à alguma intervenção. Em um programa de monitoramento os objetivos principais são o acompanhamento do comportamento dos taludes e do desempenho ambiental do aterro, para permitir à identificação de forma ágil, das alterações no padrão de comportamento previsto, além da definição dos critérios e elaboração dos projetos, para a proposição de medidas preventivas e corretivas (RECESA, 2008).

Nesse monitoramento ambiental é analisada a qualidade das águas subterrâneas e superficiais,

qualidade do ar (análise do material particulado e das partículas em suspensão) e monitoramento meteorológico (precipitação, temperatura e umidade), poluição sonora, líquidos lixiviados (medição de vazão e análise do lixiviado), gases (monitoramento do biogás), recalques na superfície, pressão nos líquidos e nos gases no interior das células de aterramento, inspeções de campo, análise do composto orgânico, entre outros. Com a coleta de todos os dados através dos monitoramentos citados são gerados relatórios analíticos que são encaminhados aos órgãos ambientais.

Dentre esses monitoramentos, aquele referente as águas subterrâneas demonstram uma maior importância, uma vez que a área ao entorno do aterro muitas vezes é uma área urbanizada e a população pode ter contato direto com a água dos lençóis freáticos. O monitoramento dessas águas é realizado através de coletas de amostras em poços de monitoramento específicos, e encaminhadas para um laboratório para realização das análises.

Outro fator que provavelmente afetaria a qualidade das águas subterrâneas pode estar relacionado a composição do solo e à possíveis influências das precipitações pluviométricas sobre sua qualidade. As águas pluviais podem infiltrar no solo e podendo carrear substâncias presentes aterradas no local da disposição de resíduos, podendo alterar os valores dos parâmetros avaliados. A percolação de partículas até os poços de água subterrâneos pode causar a contaminação desta água, que por sua vez irá contaminar outros corpos d'água onde deságua, podendo impactar o meio ambiente e a saúde humana.

Este trabalho visa analisar a qualidade das águas subterrâneas na área de influência do aterro sanitário de Belo Horizonte, que integra a Central de Tratamento de Resíduos Sólidos da BR 040 (CTRS BR040) para verificar se existe a influência do regime de chuva nos parâmetros físico-químicos e biológicos e a possibilidade da contaminação e, com isso, propor medidas para correção e prevenção se for o caso.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo verificar se há influência do regime de chuva nos parâmetros físico-químicos e biológicos na qualidade das águas subterrâneas, na área de influência do aterro sanitário da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos (CTRS) BR040, além de analisar a qualidade das águas e sua possível contaminação.

2.2. Objetivos específicos

Como objetivos específicos, esse trabalho visa:

- Avaliar a influência do regime de chuvas na região sobre a recarga do lençol freático.
- Analisar a qualidade das águas subterrâneas presentes na CTRS BR040 nas épocas de seca e de chuva.
- Avaliar se existe uma possível contaminação das águas subterrâneas.

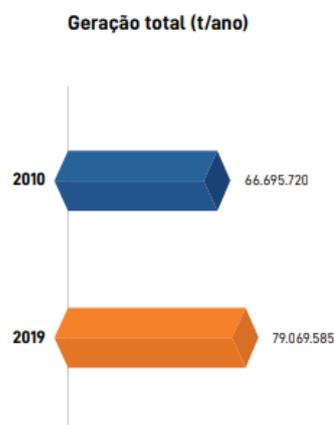
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Disposição de Resíduos

A revolução industrial iniciada no Século XVII teve como consequência o processo de migração da população do campo para as cidades, o que intensificou o crescimento da população urbana (CATAPRETA, 2008). Com esse aumento da população urbana e, conseqüentemente, do número de pessoas vivendo em conjunto, impulsionou o desenvolvimento da economia, fazendo com que houvesse um incremento no aumento da geração de resíduos, cuja forma de disposição era o despejo destes em áreas próximas às residências. Com o tempo, essa prática começou a ser associada com problemas de saúde e proliferação de vetores, em consequência disso foi iniciada a disposição em locais mais afastados, como terrenos baldios e áreas diversas, a céu aberto, possivelmente contaminando o solo e os recursos hídricos locais. Logo, o que se percebeu foi o crescimento exacerbado da população, a alta taxa de industrialização e a falta de planejamento das cidades acarretaram o aumento da produção de resíduos sólidos (SANTOS, 2007).

A geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), decorrente do desenvolvimento da economia no Brasil, foi aumentando (figura 3.1 e 3.2) através do uso excessivo de materiais e da expansão dos centros urbanos, o que tornou necessário a reciclagem, e o tratamento e destinação correta desses resíduos (DAI-PRÁ et al., 2018). No final da década de 70 no Brasil foi publicada a Portaria n° 53 do Ministério do Interior (BRASIL, 1979), onde foram estabelecidas normas de tratamento de disposição final de resíduos sólidos e orientar o controle dos RSU no país.

Figura 3.1.1– Geração de RSU em 2010 e 2019



Fonte: ABRELPE (2020).

Figura 3.1.2- Geração de RSU em 2021 e 2022.



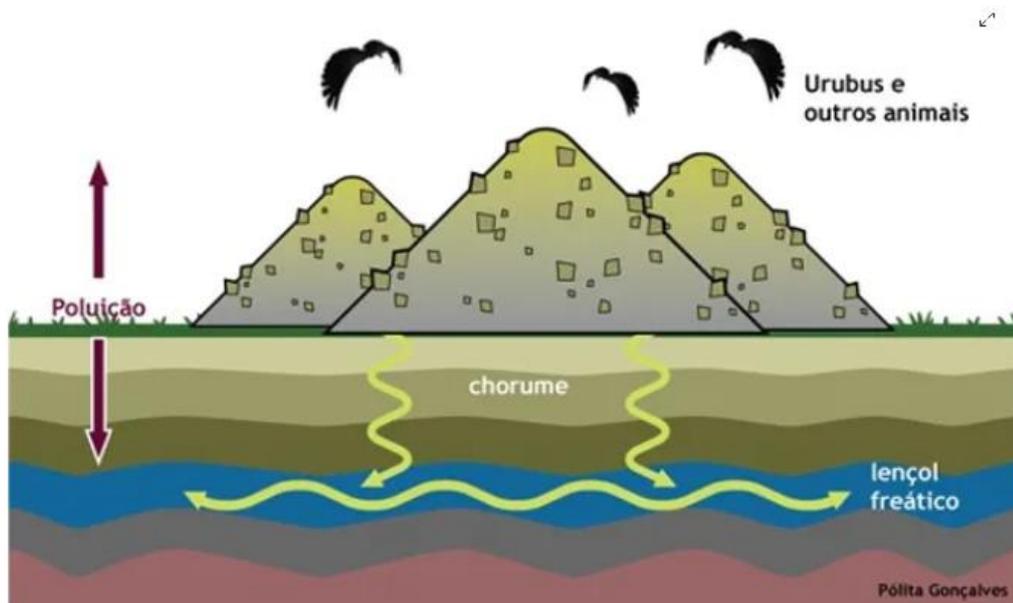
Fonte: ABRELPE (2022).

3.2. Conceitos

A disposição de resíduos a céu aberto, geralmente em áreas não muito distantes dos espaços urbanos, ainda existem em muitas cidades mesmo compreendendo que existem maneiras apropriadas de acondicionar esses resíduos (ALVES et al., 2013). Como forma de disposição final de resíduos sólidos no Brasil existe três principais: lixão, aterro sanitário e aterro controlado (ALFAIA et al., 2017).

O lixão é o depósito de RSU sem considerar a proteção do solo e do lençol freático do local em que se encontra, portanto é considerado como a disposição inadequada de resíduos sólidos (OLIVEIRA et al., 2013), como pode ser observado na Figura 3.3.

Figura 3.1.3 – Esquema do Lixão

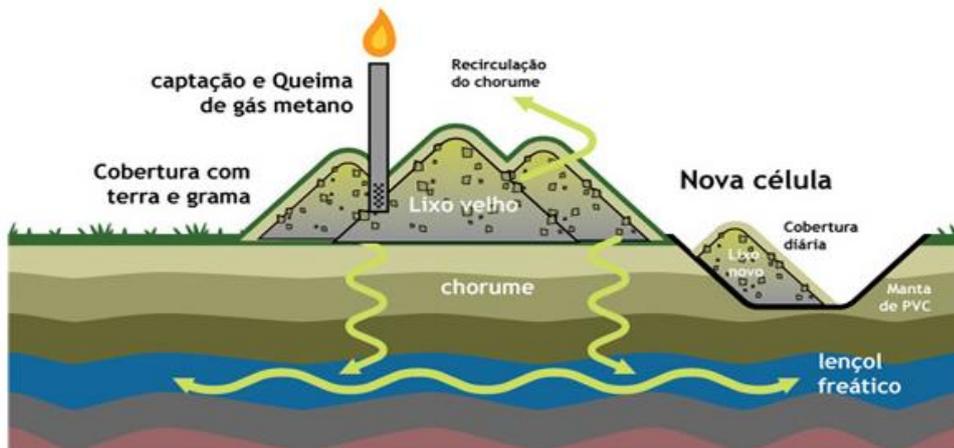


Fonte: ECOTRES (2019).

Já o aterro controlado é uma área utilizada para a disposição dos resíduos sólidos coletados e é

disposta uma camada de terra sobre o lixo, com o intuito de evitar os impactos ambientais e os problemas à saúde pública (IBGE, 2017), como pode ser observado na Figura 3.4.

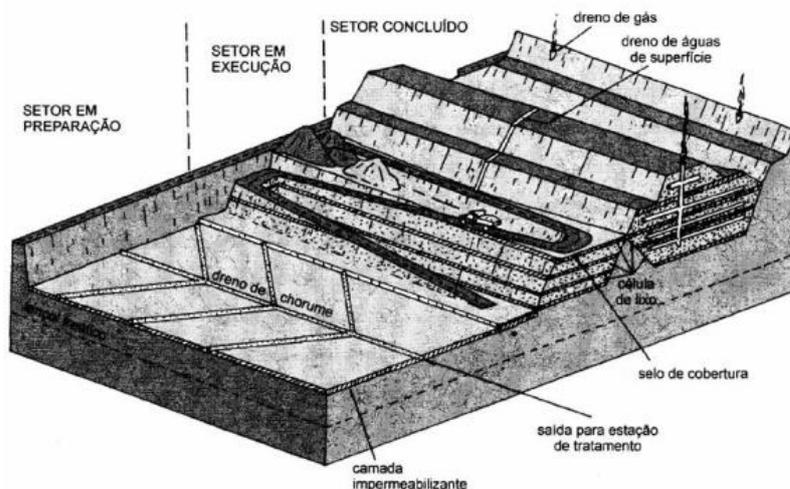
Figura 3.1.4 – Esquema do Aterro Controlado



Fonte: ECOTRES (2019).

Segundo a NBR 8419 que dispõe sobre Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos (ABNT, 1992), os aterros sanitários são locais de destinação de RSU, onde são confinados em uma menor área e reduzidos a um menor volume através da compactação, também são cobertos por uma camada de solo na conclusão do aterramento, como pode ser observado na Figura 3.5. Além disso, são realizados procedimentos para evitar os impactos no meio ambiente e na saúde pública.

Figura 3.1.5 – Esquema do Aterro Sanitário



Fonte: CEMPRE (2018).

Os aterros controlados e os aterros sanitários se diferem nos seguintes aspectos: a falta de

cobertura no solo antes do despejo do material para evitar a contaminação do solo e do lençol freático, a coleta e canalização dos gases gerados na decomposição, além de um sistema de drenagem do lixiviado produzido e das águas pluviais (PINTO et al., 2016).

Dentre essas alternativas, aquela definida como ambientalmente adequada, segundo a Lei 12305 (BRASIL, 2010) é o aterro sanitário por seguir padrões operacionais específicos definidos por normas que buscam evitar danos ao meio ambiente, a segurança e saúde pública, além de distribuir de maneira ordenada os rejeitos em aterros. A lei também dispõe que os aterros sanitários deveriam receber somente os rejeitos quando não exista outra disposição final que não seja ambientalmente adequada, depois de esgotadas todas as possibilidades de processamento e valorização utilizando processos técnicos existentes e economicamente viáveis possíveis resíduos sólidos. Nesse sentido, devido ao envio dos RSU para os aterros sem tratamentos iniciais, diversos impactos ambientais podem ser gerados.

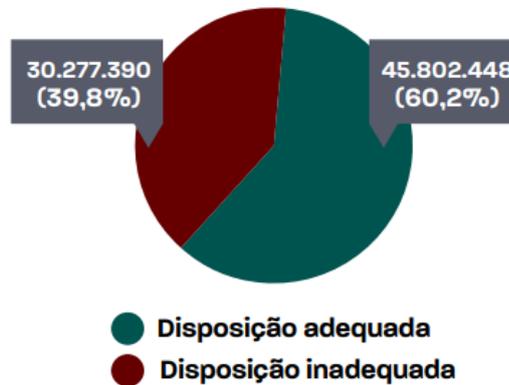
De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento (IBGE, 2017), o aterro sanitário deve ser planejado em todas as etapas do projeto (localização, instalação, operação e monitoramento) de forma a atender a legislação ambiental e as normas técnicas existentes.

3.3. Problemas Ambientais Decorrentes da Disposição Inadequada de Resíduos Sólidos

O despejo em locais incorretos pode trazer grandes consequências ambientais e a saúde pública, como por exemplo: a contaminação do solo, em consequência da falta da impermeabilização e do tratamento dos resíduos, além da degradação das águas superficiais e subterrâneas causada pela percolação do lixiviado que se infiltra no solo e alcança os corpos hídricos próximos (SCHUELER; MAHLER, 2005).

A disposição dos resíduos sólidos e seu manuseio no Brasil é uma das maiores contribuições na geração de impactos ambientais, que coloca em risco principalmente a saúde pública (COSTA, 2016). Em 2020, no território brasileiro cerca de 60% dos RSU coletados foram dispostos nos aterros sanitários e os outros 40% foram destinados para áreas de disposição incorreta, como lixões e aterros controlados, podendo ser observado na Figura 3.6 (ABRELPE, 2021).

Figura 3.1.6 – Disposição adequada X inadequada de RSU no Brasil (t/ano e %)



Fonte: ABRELPE (2021).

A degradação dos resíduos orgânicos que são aterrados nos aterros sanitários gera contaminantes, como o lixiviado que apresenta um problema ambiental devido ao seu alto potencial de contaminação (LANGE et al., 2006). A geração de RSU se relaciona diretamente com questões sobre a poluição do ar (emissões de CO₂ e CH₄, gases de efeito estufa), a poluição da água (águas superficiais e subterrâneas) e a contaminação do solo (BESEN, 2011).

Dentre esses problemas, a possível contaminação das águas subterrâneas é o mais preocupante já que a alteração destas pode afetar a saúde e o dia a dia de populações, tanto das que se encontram no entorno do aterro, como as que não se encontram na área próxima ao local. Isso é decorrente do carregamento dos poluentes no lençol freático que percorre grandes distâncias, além de encontrar com outro canal hídrico e contaminá-lo.

3.4. Lixiviado

Os lixiviados gerados nos aterros sanitários são resultado da decomposição biológica dos materiais orgânicos, além da umidade natural do solo, dos resíduos e da água de infiltração nas camadas do aterro, materiais dissolvidos ou suspensos presentes nos resíduos aterrados (PROSAB, 2009).

O lixiviado produzido nos aterros sanitários brasileiros possuem características variáveis de acordo com alguns fatores como é representado na Tabela 3.1, mas em sua grande maioria possuem grandes concentrações de amônia, nitrato e nitrito, sendo a principal causa de toxicidade do lixiviado, além de ácidos orgânicos dissolvidos, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), altos teores de nitrogênio amoniacal total, sais

inorgânicos, metais pesados e compostos orgânicos xenobióticos (como plásticos, inseticidas, produtos de limpeza, pesticidas, entre outros) (MAGALHÃES, 2014) (GOMES et al., 2018).

Tabela 3.1.1 – Principais fatores que influenciam a composição do lixiviado dos aterros

PRINCIPAIS FATORES QUE INFLUENCIAM A COMPOSIÇÃO DE CHORUME DE ATERRO SANITÁRIO	
Características do Lixo	Composição; Granulometria; Umidade; Idade do Resíduo; Pré-tratamento;
Condições Ambientais	Geologia; Regime Pluviométrico; Temperatura; Clima.
Características do Aterro	Aspectos construtivos das células; Balanço Hídrico; Grau de Compactação dos Resíduos; Propriedades do Terreno; Codisposição de Resíduos Líquidos; Irrigação; Recirculação.
Processos Internos	Hidrólises; Adsorção; Biodegradação; Especificação; Dissolução; Diluição; Redução; Troca Iônica; Tempo de Contato; Partição; Geração e Transporte de Gás

Fonte: MORAIS (2005).

A idade do aterro e a precipitação são os fatores que influenciam diretamente a toxicidade e a composição físico-química do lixiviado. O aterro é considerado jovem quando possui uma até 5 anos, intermediário de 5 a 10 anos e velho quando possui mais de 10 anos (AHMED; LAN, 2012). O lixiviado jovem possui maior toxicidade, uma vez que a concentração de ácidos graxos voláteis, DBO5, DQO e a relação DBO5/DQO são elevadas (RENOU et al., 2008). O aterro sanitário considerado velho possui menor toxicidade do seu lixiviado, uma vez que ao longo dos anos as substâncias tóxicas vão sendo degradadas.

Portanto, o impacto desses líquidos lixiviados no ambiente pode variar de acordo com a sazonalidade climática, além da forma de operação do local de disposição de resíduos.

3.5. Contaminação das Águas Subterrâneas pelos Aterros

As águas subterrâneas dentro de um aterro sanitário podem sofrer a contaminação pelo lixiviado produzido no local. A contaminação das águas subterrâneas tende a ser pior que nas águas

superficiais, uma vez que devido ao lento fluxo dos lençóis freáticos e dependendo do contaminante sua recuperação pode demorar anos e seu tratamento pode ter custos elevados (BRASIL, 2007).

Os líquidos lixiviados, que possuem alto grau de poluição, podem poluir águas superficiais, comprometer a sanidade ambiental e percolar no solo atingindo águas subterrâneas (BASSANI, 2010). A percolação dos líquidos lixiviados da zona vadoza (zona superficial do solo) até a zona saturada atinge o lençol freático alterando sua composição e sua qualidade, transformando-o inadequado para o uso (BORBA, 2019).

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, realizada pelo IBGE em 2008 18,64% os poços rasos sem proteção da captação eram contaminados pela disposição inadequada de RSU, já os poços profundos eram 16,79% (NAKAMURA et al., 2014).

3.6. Cuidados para Proteção das Águas Subterrâneas

De acordo com a NBR 13896 que dispõe sobre aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação (ABNT, 1997), impermeabilização é a deposição de camadas artificiais ou naturais que impeça a infiltração do líquido lixiviado no solo por meio dos resíduos aterrados. A impermeabilização do solo antes da disposição dos resíduos sólidos é fundamental para evitar que o lixiviado atinja as águas subterrâneas e superficiais. O sistema de impermeabilização pode ser constituído por materiais naturais (argilas) ou sintéticos (geomembranas de PEAD ou PVC), dependendo da condição do local, geologia, área disponível, clima, além do tipo de resíduo a ser aterrado (PIEIDADE JUNIOR, 2003) (Figura 3.7).

Quando a impermeabilização da base do aterro não é adequada e o lixiviado gerado não é drenado de forma correta, a pluma de contaminação do lixiviado pode atingir o lençol freático e contaminar vários quilômetros do local de disposição (REICHERT; SILVA; FLECK, 1998).

Figura 3.1.7 – Camada impermeabilizante em aterros sanitários.



Fonte: RECESA (2008).

Existem algumas resoluções que auxiliam na proteção da qualidade das águas subterrâneas, como: resolução CONAMA n° 357 (BRASIL, 2005), resolução CONAMA n° 396 (BRASIL, 2008) e a Deliberação Normativa COPAM/ CERH n° 05 (MINAS GERAIS, 2017).

3.7. Monitoramento da Qualidade das Águas Subterrâneas - Aspectos Técnicos e Legislações Aplicáveis

As Resoluções e as Normas são bases para análises e estudos, definindo valores limites de diversos parâmetros e restrições de uso e contaminação da água, solo e ar. Para este estudo foram utilizadas algumas resoluções nacionais e deliberações normativas estaduais e seus limites para parâmetros com o objetivo de avaliar a qualidade da água subterrânea. A seguir serão citadas as resoluções usadas e foi gerada a Tabela 3.2 com alguns parâmetros para efeito de ilustração e seus respectivos valores limites.

A Portaria GM/MS N° 888 de 4 de maio de 2021 que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS n° 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, foi utilizada para definir um limite máximo permitido para a turbidez e pH, uma vez que não existe limite águas subterrâneas que não serão utilizadas para consumo humano.

A Resolução CONAMA 357 de 17 de março de 2005 que 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. A Resolução CONAMA 420 de 28 de dezembro de 2009 que 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.

A Resolução CONAMA 396 de 3 de abril de 2008 que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. A Deliberação Normativa COPAM/ CERH N° 02/2010, de 8 de setembro de 2010 que institui o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, que estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas. E a Deliberação Normativa COPAM/ CERH 05 de 14 de setembro de 2017 que estabelece diretrizes e procedimentos para a definição de áreas de restrição e controle do uso das águas subterrâneas e dá outras providências.

Tabela 3.1.2 – Parâmetros e valores limites

PARÂMETRO	UNIDADES	CONAMA 396	COPAM 02
Alumínio	µg.L-1	50	3500
Boro	µg.L-1	200	500
Cobre	µg.L-1	50	2000
Ferro	µg.L-1	100	2450
Níquel	µg.L-1	10	20
Nitrato	µg.L-1	300	10000

Fonte: Adaptado do CONAMA 396 e da COPAM/ CERH 02, 2023.

Os parâmetros na tabela acima foram escolhidos por estarem presentes nas duas normas que dispõe sobre água subterrânea e para demonstrar que os limites definidos pelo CONAMA 396 (BRASIL, 2008) são mais restritivos. Os valores limites na Resolução CONAMA 396 (BRASIL, 2008) são chamados de VMP (valores máximos permitidos) e na Deliberação Normativa COPAM 02 (MINAS GERAIS, 2010) são chamados de valores de investigação.

Os monitoramentos realizados no aterro sanitário são embasados nas normas citadas anteriormente para determinar se existe alguma contaminação e quais medidas deverão ser tomadas. Os aterros sanitários necessitam de acompanhamento e monitoramento adequado para que se conformem como unidades de tratamento de RSU que não causem danos ao meio

ambiente e à saúde, com o auxílio de tecnologias existentes e normas previstas para tal (CATAPRETA, 2008).

A Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH nº 05, de 14 de setembro de 2017, diz que:

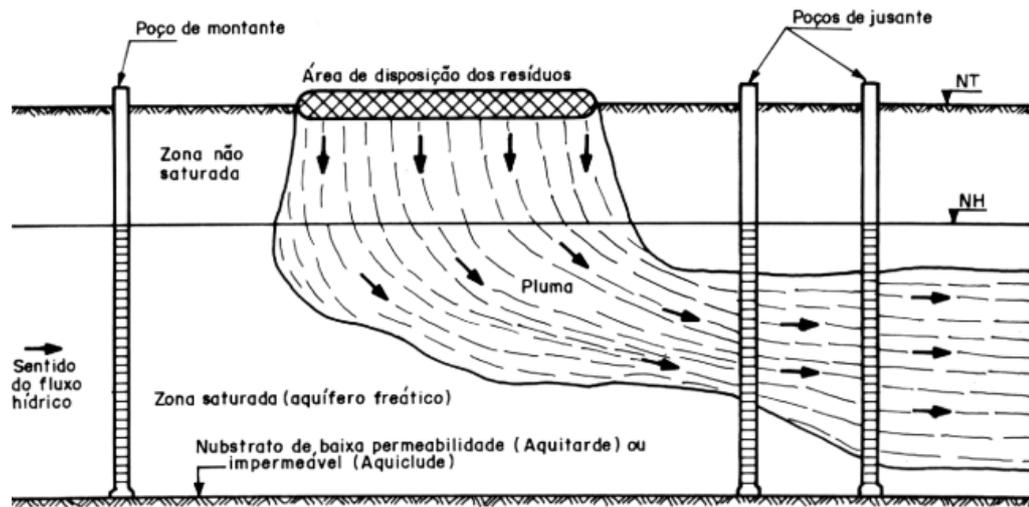
Monitoramento de água subterrânea: é a medição ou a verificação de parâmetros de qualidade e/ou quantidade das águas subterrâneas, de forma contínua, metodológica e tecnicamente padronizada, com frequência definida, que permita a geração de dados adequados para o suporte, estratégias e políticas de uso, proteção e conservação dos recursos hídricos subterrâneos (MINAS GERAIS, 2017, p. 2).

O monitoramento da qualidade das águas subterrâneas é necessário para verificar se existe alguma falha no projeto do aterro ou se existe algum risco para a população e para o meio ambiente. De acordo com Lima (2015) o monitoramento é fundamental para que reconheça a contaminação e que seja controlada através de medidas remediadoras e mitigatórias.

O monitoramento e os estudos hidrogeológicos das águas subterrâneas no Brasil em comparação com as águas superficiais é defasado, portanto é baixo o conhecimento do comportamento dessas águas e das características dos aquíferos, sendo necessária a implementação de mecanismos legais e capacitação técnica e social (BRASIL, 2007).

As análises das águas subterrâneas devem ser realizadas de forma contínua para que seja definida uma série histórica no local e para que exista um estudo apropriado do impacto do empreendimento nas águas subterrâneas. A coleta e a análise laboratorial de amostras d'água subterrânea permitem que conclusões sejam definidas e medidas mitigadoras sejam impostas no local.

Conforme a NBR 13895 que dispõe sobre construção de poços de monitoramento e amostragem, a rede de sistema de monitoramento de águas subterrâneas tem o objetivo de possibilitar uma avaliação da provável influência do lixiviado na qualidade da água (ABNT, 1997). Além disso, a norma também sugere que os poços de monitoramento sejam implantados em quantidades suficientes para que as amostras representem a qualidade das águas subterrâneas existente em todo o local, portanto é sugerida a implantação de no mínimo um poço de monitoramento a montante e três a jusante (Figura 3.8).

Figura 3.1.8 - Localização dos poços de água subterrânea

Fonte: ABNT (1997).

4. METODOLOGIA

4.1. Área de estudo

Esse trabalho foi desenvolvido no aterro sanitário da Central de Tratamento de Resíduos Sólidos da BR 040 (CTRS BR040), o qual é gerenciado pela Superintendência de Limpeza Urbana – SLU do município de Belo Horizonte/MG e está localizado na Região Noroeste da cidade, às margens da Rodovia Federal BR 040. Os dados para a realização da pesquisa foram disponibilizados e autorizados pela SLU.

Esse aterro sanitário esteve em funcionamento de 1975 até 2007, totalizando 32 anos para a disposição de resíduos sólidos urbanos e até 2010, para resíduos de construção civil e, 2017, para resíduos de serviços de saúde. Atualmente, continua recebendo resíduos de construção civil, que são processados na Estação de Reciclagem de Entulho (ERE), e resíduos orgânicos para processamento na unidade de compostagem. Cerca de vinte e três (23) milhões de toneladas de resíduos recebidos foram dispostos em sete (7) células de aterramento que ocupam aproximadamente de sessenta e cinco (65) ha.

O aterro se localiza em uma área urbana, cercado por comunidades que podem ser impactadas diretamente, por isso a importância do monitoramento realizado (figura 4.1). Portanto, desde 1998 é realizado de forma ininterrupta o monitoramento geotécnico e ambiental da área, o qual é realizado por uma equipe composta por engenheiros, técnicos e estagiários da SLU.

Figura 4.1– Área densamente habitada no entorno do aterro sanitário desativado de Belo Horizonte



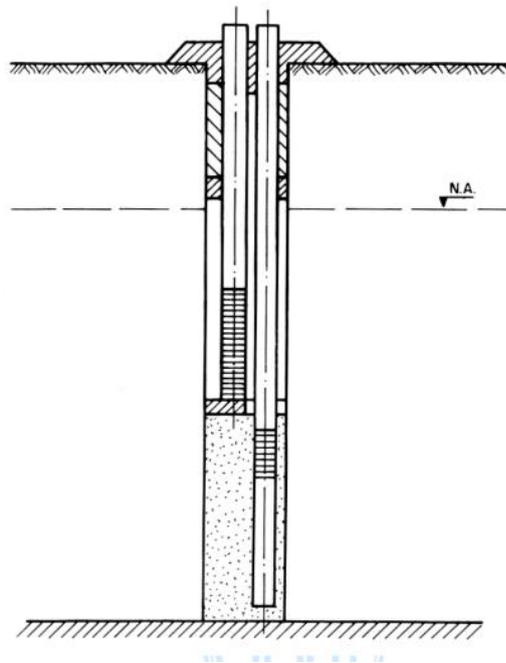
Fonte: GOOGLE (2023).

4.2. Monitoramento realizado pela SLU

Mesmo com o aterro desativado, ainda é necessário o monitoramento das águas subterrâneas durante 20 anos após seu encerramento, conforme sugere a NBR 13896: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação (ABNT, 1997) e o plano de encerramento do aterro sanitário desativado de Belo Horizonte, para ser possível certificar que não há nenhum impacto decorrente da presença do aterro sanitário e futuramente dar um novo uso ao local (ex.: parque urbano).

As águas subterrâneas são monitoradas através de poços subterrâneos localizados no entorno do aterro de acordo com o fluxo subterrâneo da água na área, seguindo o preconizado pela NBR 15495-1: Poços de monitoramento de águas subterrâneas em aquíferos granulares: Parte 1: Projeto e construção (ABNT, 2007). São vinte e sete (27) poços de água subterrânea, sendo seis (6) multiníveis com três profundidades e níveis d'água distintos (figura 4.2), totalizando trinta e nove (39) pontos de coleta subterrânea. De acordo com a NBR 13895, o poço multinível é implementado para ser possível uma amostragem em vários níveis dentro de uma mesma zona (ABNT, 1997).

Figura 4.2 – Esquema de Poço Multinível



Fonte: ABNT, 1997.

A análise da água dos poços subterrâneos começou a ser realizada mensalmente, em 1998, de acordo com o plano de monitoramento da CTRS-040, mas desde 2010 é realizada trimestralmente (janeiro, abril, julho e outubro). Em abril e outubro são realizadas coletas mais

amplas que englobam diversos parâmetros.

As amostras de água são coletadas e enviadas para um laboratório terceirizado definido pela SLU, onde passa por diversas análises físico-químicas em posteriormente, os resultados são encaminhados para o aterro, onde é realizada uma análise destes e emitido um relatório trimestral junto com outros dados coletados dos outros monitoramentos. O laboratório terceirizado responsável pela análise dos anos estudados por este trabalho, utilizava o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1999).

A coleta pode ser realizada de diversas formas, mas na CTRS-040 são utilizadas somente duas, por bailer e por baixa vazão (low flow). O bailer (figura 4.3) é utilizado quando a coluna d'água é inferior ou igual o tamanho da bomba, que geralmente mede um metro, mas não é o método mais indicado já que quando o bailer é inserido acaba revirando o fundo do poço, além de, eventualmente, haver possibilidade de se coletar água estagnada.

Figura 4.3 - Bailer



Fonte: A autora (2023).

A outra forma de coletar amostras de água nos poços é, principalmente, por meio de uma coleta de baixa vazão, onde a amostragem é feita através de baixa velocidade de sucção de água pela bomba (figura 4.4) inserida no poço durante o bombeamento. Essa baixa velocidade visa evitar o revolvimento dos sólidos no fundo do poço. A bomba se encontra a dois (2) metros do fundo

do poço, onde se localiza a seção filtrante e é necessário esperar a estabilização do poço, que é analisada por um equipamento chamado de sonda multiparâmetros e por um medidor de nível estático, para que não seja coletada água estagnada.

Figura 4.4 – Bomba de baixa vazão



Fonte: A autora (2023).

A sonda multiparâmetros (figura 4.5) realiza a leitura de alguns parâmetros na hora da coleta, como pH, temperatura, oxigênio dissolvido, potencial redox, condutividade. A coleta é realizada assim que o poço estabiliza, isto quer dizer quando o oxigênio dissolvido (variar $\pm 10\%$), a temperatura (variar $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$), a condutividade (variar $\pm 5\%$), potencial redox (variar $\pm 20\text{mV}$) e o pH (variar $\pm 0,2$) estiverem dentro do critério definido (ABNT, 2010).

Figura 4.5 – Sonda Multiprômetros

Fonte: A autora (2023).

4.3. Poços de monitoramento analisados

Nesse trabalho foram analisadas águas de 9 (nove) poços, distribuídos no entorno do aterro conforme descrito pela Tabela 4.1.

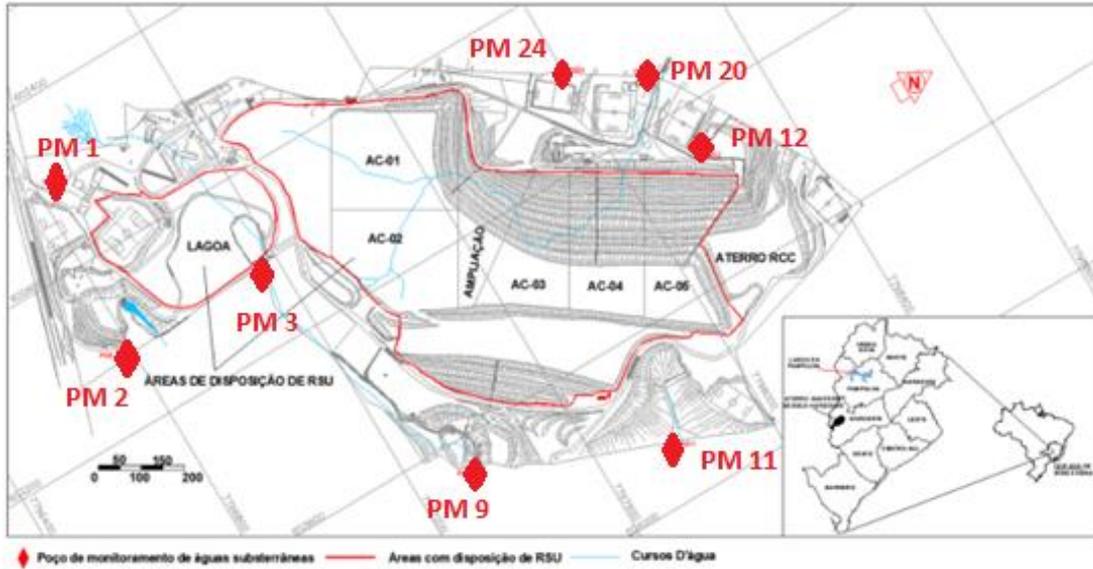
Tabela 4.1: Localização dos poços de água subterrânea.

N	Poço	Localização	Coordenadas	
			N	E
1	PM01	Horta - próximo à entrada do aterro pela BR040	603.445	7.797.180
2	PM02	Abaixa da estação de reciclagem de Entulhos	603.584	7.796.791
3	PM03	A jusante da lagoa	603.920	7.796.999
4	PM09	Divisa do aterro com a comunidade "Vila Califórnia"	604.415	7.796.532
5	PM11	Divisa do aterro com o bairro Álvaro Camargos	604.883	7.796.585
6	PM12	Atrás do Campo do Acaraí	604.942	7.797.266
7	PM20	Divisa do aterro com o bairro Pindorama	604.825	7.797.428
8	PM24	Campo do Remo	604.631	7.797.436

Fonte: A autora (2022).

A escolha desses poços se justifica por formar um arco no entorno do aterro como pode ser analisado na figura 4.6, para possibilitar a análise mais completa, além de possibilitar avaliar um possível impacto do aterro sobre a qualidade das águas subterrâneas em sua área de influência.

Figura 4.6 – Mapa da CTRS e pontos amostrados.



Fonte: A autora (2022).

4.4. Parâmetros avaliados

Foram avaliados os resultados de parâmetros físico-químicos das análises realizadas nos últimos 5 (cinco) anos, entre 2016 e 2020, referentes aos meses de abril e julho, considerado período de seca, e de outubro e janeiro, considerado período chuvoso. Os parâmetros analisados foram o nível d'água nos poços, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Potencial Hidrogeniônico (pH), turbidez, coliformes totais e coliformes termotolerantes, série nitrogenada, potencial redox (EH) e série de sólidos. Estes parâmetros foram escolhidos para avaliar os impactos causados pela possível infiltração do lixiviado e para avaliar a existência da influência da chuva na qualidade da água.

A análise dos anos de 2016 a 2020 foi de um aterro sanitário que se encontra há 09 (nove) anos desativado. Portanto, os resultados foram referentes a um aterro considerado velho possuindo um decaimento na degradação de seus resíduos e na geração de lixiviados, e conseqüentemente uma redução na sua toxicidade.

O pH foi escolhido para análise devido à sua influência no balanço químico existente ou nos processos de tratamento de água nas estações, além de sua influência no meio e no comportamento de algumas substâncias. O potencial redox possui valores positivos e negativos em uma análise, onde valores positivos de EH demonstram um ambiente oxidante, já valores negativos demonstram a disponibilidade de elétrons no ambiente. Portanto, dependendo destes dois parâmetros alguns elementos químicos como nitrogênio, enxofre, ferro, entre outros,

podem alterar sua toxicidade e sua mobilidade (JARDIM, 2014).

A turbidez está relacionada com a cor da água e com sólidos em suspensão, a série de sólidos foi analisada por ter relação com a turbidez e para verificar se ocorre o carregamento de sólidos pelas águas pluviais (CAMPOS, 2015).

Os coliformes totais é um parâmetro biológico importante para determinar a existência da contaminação das águas por dejetos humanos ou animais. A DBO e a DQO foram analisadas para verificar o nível de oxigênio presente na água e assim determinar um possível tratamento para ela. O nível d'água foi escolhido para observar o quanto a infiltração das águas pluviais altera os poços.

A série nitrogenada foi analisada, pois o nitrogênio presente nos resíduos pode ser carregado até os poços subterrâneos junto com o lixiviado pela ação da gravidade ou pelas águas pluviais. Além disso, o nitrogênio acarreta riscos à saúde humana, consumir a água contaminada com alta concentração do nitrogênio e o processo no sistema digestivo gera a formação de nitrito. De acordo com Weitzberg e Lundberd (2019), o nitrato oxida o ferro presente na hemoglobina do sangue dificultando o transporte de oxigênio no organismo causando a metahemoglobina (também conhecida por síndrome do bebê azul), fazendo com que as veias e a pele fiquem com tom azulado.

4.5. Dados pluviométricos

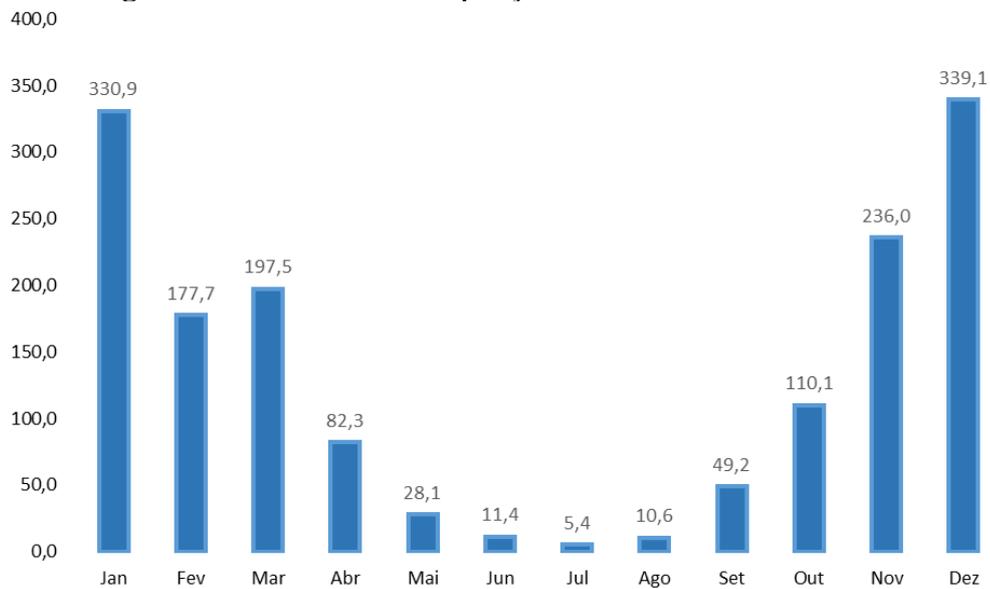
Os dados referentes às precipitações pluviométricas serão obtidos dos dados da série histórica do pluviômetro e pluviógrafo instalados na área da CTRS BR040. O aterro possui duas estações meteorológicas, uma estação manual e uma automática, sendo a última delas da Superintendência de Desenvolvimento da Capital (SUDECAP) (figura 4.7). Os dados coletados manualmente são comparados com os dados coletados da outra estação, e as duas estações servem de backup para o caso de alguma delas não coletar por algum motivo.

Figura 4.7 – Estações meteorológicas da SLU (esquerda) e da SUDECAP (direita).



Fonte: A autora (2022).

Os meses escolhidos para a análise das águas subterrâneas foram decorrentes das épocas de chuva e seca em Belo Horizonte. Para definição desses períodos (chuvoso e seco), foram utilizadas as normais climatológicas elaboradas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). De acordo com o INMET, as normais climatológicas são a média de valores calculados através de um período longo e uniforme (considerando no mínimo três décadas consecutivas) e que representam características médias do clima local (INMET, 2022). Na Figura 4.8, é possível observar a média pluviométrica de cada mês de 1991 a 2020, apresentando um período chuvoso compreendendo os meses de novembro a fevereiro, e um período seco compreendendo os meses de março a outubro.

Figura 4.8 – Média de Precipitação de 1991-2020 em mm

Fonte: Adaptado de INMET (2023).

4.6. Análise de dados

As análises de águas subterrâneas foram baseadas nos valores de referência (ou valor máximo permitido-VMP) que são definidos pela Resolução CONAMA nº 396 (BRASIL, 2008) e a Deliberação Normativa COPAM/ CERH N° 02 (MINAS GERAIS, 2010).

Os parâmetros foram organizados em tabelas elaborados no programa computacional Microsoft Excel e foram gerados tabelas e gráficos para auxiliar na visualização do comportamento dos parâmetros ao longo dos anos, para com isso ser possível uma comparação dos parâmetros com seus respectivos VMPs e analisar se existe a influência do período chuvoso nos poços.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir das análises dos resultados foi possível verificar que as águas pluviais não infiltram até os poços e que alguns poços sofrem influência do aterro, portanto deve ser realizada uma melhoria nestes pontos. A baixa infiltração das águas pluviais pode ser ocasionada pelo tipo de solo do aterro, além da impermeabilização do solo e da profundidade dos poços subterrâneos (Tabela 5.1).

Tabela 5.1- Profundidade dos poços subterrâneos

Ponto	Profundidade Total (m)
PM01	32,08
PM02	29,79
PM03-Furo1	10,03
PM03-Furo2	20,38
PM03-Furo3	30,68
PM09-Furo1	9,32
PM09-Furo2	19,36
PM09-Furo3	30,69
PM11	8,59
PM12	15,05
PM20-Furo1	10,00
PM20-Furo2	20,42
PM20-Furo3	30,27
PM24	30,60

Fonte: A autora (2023).

As tabelas apresentadas a seguir demonstram os resultados das análises físico-químicas realizadas entre o período de abril/2016 a abril/2020 e para melhor avaliação os dados foram divididos em dois gráficos de cada parâmetro citado anteriormente.

Além disto, foi realizada uma análise estatística dos dados onde foi calculado a média e a mediana, que são medidas de tendência central e que representam o centro dos resultados e transformam em um todo. Também foi analisado o desvio padrão (DP) que é considerado uma medida de dispersão e que é utilizado para representar a variação dos resultados em relação a média (CATAPRETA, 2008).

5.1. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

De acordo com CETESB (2019), o DBO presente na água corresponde a quantidade de oxigênio que é necessária para degradar a matéria orgânica através da decomposição microbiana aeróbia.

Logo, o aumento do DBO pode ser ocasionado pela presença de materiais orgânicos que foram aterrados ao longo dos anos de funcionamento do aterro.

Com a decomposição destes materiais o DBO, nos primeiros anos de aterramento, foi encontrado elevado, mas com o passar dos anos onde os materiais aterrados ainda estão passando pelo processo de decomposição e com o fechamento do aterro foi possível observar uma redução e uma constância nos valores das análises.

Tabela 5.2- Série histórica de monitoramento da DBO abril/2016 a abril/2020

Monitoramento da DBO (mg L⁻¹)														
Datas	Pontos													
	PM 01	PM 02	PM 3.1	PM 3.2	PM 3.3	PM 9.1	PM 9.2	PM 9.3	PM 11	PM 12	PM 20.1	PM 20.2	PM 20.3	PM 24
abr/16	3	3	3,2	3	3	3	3	0,001	-	3	3	3	3	3
jul/16	3	3	3	3	3	3	3	3	5,6	3	4,4	3	3	3
out/16	3	3	3	3	3	3	3	3	-	3	3	3	3	3
jan/17	3	3	3	3	3	3	3	3	8,5	3	3	3	3	3
abr/17	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
jul/17	3	3	3	3	3	3	3	3	6	3	3	3	3	3
out/17	3	3	3	3	3	3	3	3	8	3	3	3	3	3
jan/18	3	3	3	3	3	3	3	3	6,5	3	3	3	3	3
abr/18	3	3	3	3	3	3	3	3	5	3	3	3	3	3
jul/18	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
out/18	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
jan/19	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
abr/19	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
jul/19	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
out/19	3	3	3	3	3,8	3	3	3	5,2	3	3	3	3	3
jan/20	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
abr/20	3	3	5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
MÉDIA	3	3	3,13	3	3,05	3	3	2,82	4,59	3	3,08	3	3	3
MEDIANA	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
DP	0	0	0,48	0	0,19	0	0	0,73	1,97	0	0,34	0	0	0
MÁXIMO	3	3	5	3	3,8	3	3	3	8,5	3	4,4	3	3	3
MÍNIMO	3	3	3	3	3	3	3	0,001	3	3	3	3	3	3

Fonte: A autora (2023).

A partir dos dados presentes na Tabela 5.2 e no Apêndice A e B, foi possível notar que a maioria dos poços subterrâneos analisados trouxeram seus resultados constantes, 3 mg/L, ao longo dos anos. Somente o poço PM 11 que apresentou variações ao longo do período analisado, sendo que no mês de julho/16 apresentou um valor de 5,6 mg/L, um valor de 8,5 mg/L em janeiro/17, um valor de 6,5 mg/L em janeiro/18 e em outubro/19 apresentou um valor de 5,2 mg/L. Observou-se que os resultados nos meses de chuva foram mais significativos, podendo estar

out/19	5	5	5	5	5	5	5	5	5	48,4	5	5	5	5	5
jan/20	7,9	5	5	6,3	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
abr/20	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
MÉDIA	6,22	5	11,09	10,16	6,7	5,35	5,31	4,92	55,69	5,99	5,62	5,31	5,55	11,03	
MEDIANA	5	5	5	7,1	5,1	5	5	5	10	5	5	5	5	5	5
DP	3,43	0	9,37	10,42	2,67	1,31	1,26	1,54	64,08	4,10	1,82	1,14	2,26	22,07	
MÁXIMO	18,7	5	33	48,6	14,6	10,4	10,2	8,6	178	21,9	11,6	9,7	14,3	96,4	
MÍNIMO	5	5	5	5	5	5	5	0,001	5	5	5	5	5	5	5

Fonte: A autora (2023).

Após analisar a Tabela 5.3 e o Apêndice C e D, notou-se que somente alguns pontos apresentaram níveis elevados de DQO, em suma maioria os poços não apresentaram valores acima de 5 mg/L de DQO. Os poços PM 3.1, PM 3.2, PM 3.3 e PM 11 foram os poços que mais apresentaram variações ao longo dos anos.

Nos primeiros anos analisados foram encontrados valores elevados para o parâmetro em questão em meses de seca e de chuva, portanto não foi possível determinar se as chuvas impactaram na concentração de DQO. Além disso, ao decorrer dos anos foi observado uma redução nos resultados da análise do parâmetro, por consequência do encerramento do aterro e de sua idade, onde os resíduos já foram decompostos e a carga orgânica é inferior. Em janeiro/2019 foi encontrado um pico de valor no poço PM 5, mas nos próximos meses foi normalizado o valor. Portanto não foi possível definir uma causa para o fato.

Novamente, o PM11 apresentou valores elevados de DQO se comparado com os demais poços, tanto para os valores máximos quanto mínimos. Isso faz com a média, desvio padrão e mediana também se mostrem mais elevados que os demais poços.

5.3. Potencial Hidrogeniônico (pH)

A concentração de bases e ácidos na água determina o pH (LEIRA, 2017), pH da água pode ser influenciado por diversos fatores, como composição do solo, temperatura, entre outros. O pH pode ocasionar a precipitação de metais tóxicos e influenciar a solubilidade de nutrientes (CETESB, 2019).

A partir da análise da Tabela 5.4 e do Apêndice E e F foi possível perceber que o pH não demonstrou alterações significativas ao longo dos anos e não foi impactado pela sazonalidade.

Tabela 5.4- Série histórica de monitoramento do pH abril/2016 a abril/2020

Datas	Monitoramento do pH													
	PM 01	PM 02	PM 3.1	PM 3.2	PM 3.3	PM 9.1	PM 9.2	PM 9.3	PM 11	PM 12	PM 20.1	PM 20.2	PM 20.3	PM 24
abr/16	4,11	6,68	6,52	5,7	6	6,18	6,74	8,91		5,98	5,84	4,57	5,39	5,54
jul/16	6,47	6,04	6,38	5,77	5,83	5,82	7,97	7,82	6,22	6,44	6,59	6,59	6,61	5,5
out/16	5,2	6,8	6,76	6,04	6,1	6,65	9,98	8,38		6	5,71	5,82	5,73	5,9
jan/17	8,97	5,91	6,97	5,67	5,7	5,85	9,4	10,61	8,31	8,48	6,03	5,7	5,91	5,57
abr/17	5,61	6,54	6,71	5,82	6,1	5,84	8,62	7,71	6,68	5,56	5,64	5,61	5,58	5,52
jul/17	5,4	6,25	6,58	5,66	5,7	5,8	8,1	7,73	6,14	5,67	5,65	5,65	5,71	5,54
out/17	4,67	5,61	6,57	5,76	5,67	5,25	8,03	7,65	6,31	4,96	5,4	5,41	5,35	5,44
jan/18	4,95	6,41	6,29	5,5	5,77	5,79	7,06	6,8	5,92	6,02	5,43	5,49	5,7	5,82
abr/18	5,95	6,09	7,11	7,13	6,48	5,3	7,38	7,2	6,93	4,88	5,75	5,78	5,73	5,67
jul/18	5,11	6,01	6	5,66	5,9	5,58	7,35	7,53	6,71	5,29	5,9	6,17	5,81	5,6
out/18	2,85	5,17	6,26	5,48	5,65	5,52	7,73	7,46	6,09	5,39	5,48	5,54	5,55	5,01
jan/19	4,17	5,65	6,24	5,39	5,49	5,39	7,36	6,76	6,01	5	5,35	5,32	5,39	5,29
abr/19	4,77	6,56	6,15	5,27	5,35	6,18	8,44	7,98	6,92	5,34	5,25	5,24	5,27	5,37
jul/19	4,78	6,22	6,48	5,55	5,72	5,72	7,65	7,76	6,2	5,5	5,56	5,58	5,6	6,2
out/19	5,87	5,77	7,12	6,76	6,79	5,96	7,94	7,55	6,4	5,32	6,03	6,29	6,57	6,31
jan/20	5,25	5,85	6,35	5,82	5,99	5,6	8,02	7,81	6,03	5,37	5,88	5	5,7	5,45
abr/20	5,11	6,05	6,4	5,8	5,95	5,97	7,6	7,63	6	5,62	5,57	5,58	5,64	5,49
VALOR MÉDIO	5,25	6,10	6,52	5,81	5,89	5,79	7,96	7,84	6,45	5,70	5,71	5,61	5,72	5,60
MEDIANA	5,11	6,05	6,48	5,7	5,83	5,8	7,94	7,71	6,22	5,5	5,65	5,58	5,7	5,54
DP	1,26	0,42	0,32	0,47	0,35	0,35	0,81	0,87	0,61	0,83	0,32	0,47	0,37	0,32
MÁXIMO	8,97	6,8	7,12	7,13	6,79	6,65	9,98	10,61	8,31	8,48	6,59	6,59	6,61	6,31
MÍNIMO	2,85	5,17	6,00	5,27	5,35	5,25	6,74	6,76	5,92	4,88	5,25	4,57	5,27	5,01

Fonte: A autora (2023).

O pH não possui VMP pela CONAMA 396 (BRASIL, 2008) e pela COPAM COPAM/ CERH 02 (2010), mas de acordo com a Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, que delibera sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, o pH deve variar em uma faixa de 6 a 9. Como pode ser observado na Tabela 5.4 alguns poços apresentaram valores acima do padrão, como o PM 9.3 em janeiro/17 apresentou pH 10,61, PM 9.2 em outubro/16 apresentou pH 9,98 e o PM 01 apresentou um valor de pH mais baixo que o padrão, em outubro/18 de 2,85.

Por outro lado, observou-se diversos valores abaixo de pH = 6,0, inclusive o valor médio de pH em alguns poços, o que pode estar indicando que as águas na área do aterro sanitário apresentam característica ácida.

5.4. Turbidez

De acordo com a CETESB (2019), a turbidez pode ser ocasionada pela presença de sólidos em suspensão, matéria orgânica e inorgânica e outras substâncias não solúveis, além de poder ser ocasionada pelo descarte inadequado de esgotos domésticos e efluentes industriais. A turbidez não possui VMP pelas normas utilizadas neste estudo, mas de acordo com a Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, o valor máximo de turbidez permitido para águas potáveis é de 5 NTU.

Tabela 5.5- Série histórica de monitoramento da Turbidez abril/2016 a abril/2020
Monitoramento da Turbidez (NTU)

Datas	Pontos													
	PM 01	PM 02	PM 3.1	PM 3.2	PM 3.3	PM 9.1	PM 9.2	PM 9.3	PM 11	PM 12	PM 20.1	PM 20.2	PM 20.3	PM 24
abr/16	0,68	4,33	255	2,9	6,28	1,23	21,3	0,89		15,6	614	9,18	8,39	3,64
jul/16	9,04	12,3	1390	10,5	12,9	1,5	1,49	2	1490	164	6,37	49,4	7,49	26,6
out/16	2,45	2,67	348	1,64	7,76	12,6	3,86	60,7		64,1	2,37	8,08	0,85	11,7
jan/17	73,2	2,28	700	1,29	2,31	2,15	5,97	8,9	2290	309	13,7	66,1	3,48	22,6
abr/17	123	0,91	387	1,21	9,01	3,93	2,82	13,8	175	2560	148	19,5	1,54	11,5
jul/17	363	4,26	585	6,03	6,3	3,05	15,2	4,47	604	182	17,1	8,16	6,59	48,4
out/17	146	22,1	425	8,35	7,21	0,65	10,4	1,88	247	0,58	1	3,18	0,49	28,5
jan/18	15,3	2,27	857	9,68	6,1	3,85	3,94	4,51	460	67,1	25,9	73,8	10	38,2
abr/18	16,7	2,37	241	2,89	5,77	2,4	3,26	1	12,2	28,8	1,59	1,22	6,51	4,3
jul/18	102	185	327	7,29	1,55	4,07	3,53	0,52	1100	255	1,3	1,78	2,34	18,3
out/18	96,5	1,67	796	1,76	74,1	0,89	3,94	0,85	921	137	0,55	13,3	1,94	13,8
jan/19	4,95	2,42	444	4,72	16	0,98	3,24	3,52	388	26,9	2,4	4,53	3,04	4,71
abr/19	63,7	6,85	423	8,2	4,37	0,71	0,1	0,1	458	0,91	6,12	8,18	9,1	1,85
jul/19	83,6	2,88	312	1,42	15,3	1,99	1,4	0,58	489	57,3	1,01	0,1	3,61	1,61
out/19	8,41	0,59	198	4,46	18,6	0,1	1,53	2,44	786	44,2	2,29	0,35	1,47	13,8
jan/20	8,86	1,8	85,4	1,08	52,6	0,16	0,34	1,8	367	159	0,73	0,65	2,71	1,34
abr/20	116	2,56	229	46,8	141	36,2	18	54,9	397	36,1	0,1	1,54	1,55	0,66
MÉDIA	72,5	15,1	470,7	7,1	22,7	4,5	5,9	9,5	678,9	241,6	49,6	15,8	4,1	14,7
MEDIANA	63,7	2,6	387	4,5	7,8	1,99	3,5	2	460	64,1	2,4	8,1	3,04	11,7
DP	89,82	44,09	318,13	10,73	35,96	8,67	6,4	18,51	584,66	604,29	149,62	23,55	3,13	14,05
MÁXIMO	363	185	1390	46,8	141	36,2	21,3	60,7	2290	2560	614	73,8	10	48,4
MÍNIMO	0,68	0,59	85,4	1,08	1,55	0,1	0,1	0,1	12,2	0,58	0,1	0,1	0,49	0,66

Fonte: A autora (2023).

Na Tabela 5.5 e no Apêndice G e H, foi possível de identificar que a turbidez na maior parte dos pontos, nos primeiros anos analisados, teve seu valor entre 1 e 10 NTU e sem grandes

alterações. Além disso, no ponto PM 11 foi encontrado valores entre 12,2 a 2290 NTU, PM 12 em abril/2017 foi encontrado um valor de 2560 NTU e PM 3.1 foi observado em julho/2016 um valor de 1390 NTU, portanto foi possível inferir que os valores independem da sazonalidade (sendo encontrados valores elevados na época de seca e de chuva) e a idade do aterro influenciou todos os pontos.

5.5. Coliformes Totais

Os coliformes totais são bactérias presentes no sistema digestivo do ser humano e de alguns animais, mas não é um indicativo de contaminação fecal, uma vez que o coliforme total está presente em diversos grupos de bactérias (CONTE, 2004). As análises realizadas pelos laboratórios terceirizados contratados pela SLU são análises qualitativas (presença ou ausência de coliformes totais), conforme a Tabela 5.6.

Tabela 5.6- Série histórica de monitoramento de Coliformes Totais abril/2016 a abril/2020

Datas	Monitoramento de Coliformes Totais (P/A 100ml)													
	Pontos													
	PM 01	PM 02	PM 3.1	PM 3.2	PM 3.3	PM 9.1	PM 9.2	PM 9.3	PM 11	PM 12	PM 20.1	PM 20.2	PM 20.3	PM 24
abr/16	Aus	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	-	Pres	Aus	Aus	Aus	Pres
jul/16	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Aus	Pres	Aus	Pres	Pres	Pres
out/16	Pres	Pres	Pres	Pres	Aus	Pres	Pres	Pres	-	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres
jan/17	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres
abr/17	Pres	Pres	Aus	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Aus
jul/17	Aus	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres
out/17	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Aus	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres
jan/18	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Aus	Pres	Pres
abr/18	Pres	Pres	Aus	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres
jul/18	Pres	Pres	Aus	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Aus	Aus	Pres
out/18	Pres	Pres	Aus	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres
jan/19	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Aus	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres
abr/19	Pres	Pres	Pres	Aus	Pres	Pres	Pres	Pres	Aus	Pres	Pres	Pres	Pres	Aus
jul/19	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Aus	Aus	Pres
out/19	Pres	Pres	Aus	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Aus	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres
jan/20	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres
abr/20	Pres	Pres	Aus	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Aus

Aus = Ausente; Pres = Presente

Fonte: A autora (2023).

Através das análises dos dados foi possível analisar que todos os poços e na maioria dos meses analisados foi encontrada a presença de coliformes totais. Alguns destes poços apresentaram

coliformes totais em todos os meses analisados, sendo eles PM 02, PM 9.1, PM 9.2, PM 9.3, PM 12 e PM 24.

5.6. Coliformes Termotolerantes (*E. coli*)

O parâmetro *E. coli* está ligado a presença de materiais fecais de animais homeotérmicos (capazes de manter a temperatura corporal) e dejetos humanos, além de estar presente em compostos orgânicos (SIQUEIRA, 2012). O gráfico dos dados não foi possível de ser gerado devido ao método de análise (qualitativo, onde é analisado a presença ou ausência do coliforme termotolerante) utilizado pela empresa terceirizada contratada pela SLU, conforme a Tabela 5.7.

Tabela 5.7- Série histórica de monitoramento de Coliformes Termotolerantes
abril/2016 a abril/2020

Monitoramento de Coliformes Termotolerantes (<i>E. coli</i>) (P/A 100ml)														
Datas	Pontos													
	PM 01	PM 02	PM 3.1	PM 3.2	PM 3.3	PM 9.1	PM 9.2	PM 9.3	PM 11	PM 12	PM 20.1	PM 20.2	PM 20.3	PM 24
abr/16	Aus	Pres	Pres	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	-	Pres	Aus	Aus	Aus	Aus
jul/16	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Pres	Aus	Aus	Aus	Pres	Aus	Aus	Aus	Aus
out/16	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	-	Pres	Aus	Aus	Aus	Aus
jan/17	Aus	Aus	Aus	Aus	Pres	Pres	Aus	Aus	Pres	Aus	Pres	Pres	Pres	Aus
abr/17	Pres	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Pres	Aus	Aus	Aus	Pres
jul/17	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus
out/17	Aus	Aus	Pres	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus
jan/18	Aus	Aus	Pres	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Pres	Aus
abr/18	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Pres	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus
jul/18	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus
out/18	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus
jan/19	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Pres	Pres	Pres	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Pres
abr/19	Aus	Aus	Pres	Aus	Aus	Pres	Pres	Pres	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus
jul/19	Aus	Pres	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus
out/19	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Pres	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus
jan/20	Pres	Aus	Aus	Aus	Aus	Pres	Pres	Pres	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus
abr/20	Aus	Aus	Aus	Pres	Pres	Pres	Pres	Pres	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Pres

Aus = Ausente; Pres = Presente

Fonte: A autora (2023).

Os dados dos meses analisados demonstram a presença de Coliformes Termotolerantes em todos os poços em meses variados. Os poços PM 3.1, PM 9.1, PM 9.2, PM 9.3 e PM 12 apresentaram a presença em mais de quatro (04) meses, mas não foi possível identificar a

influência da sazonalidade, uma vez que os coliformes foram encontrados nos períodos de seca e de chuva.

A presença de coliformes na amostras analisadas pode estar relacionada à presença de animais que se fazem presentes, de forma indevida, na área do aterro sanitário.

5.7. Nitrato e Nitrito

De acordo com Celligoi (1999), o nitrato e o nitrito estão ligados diretamente a matéria orgânica presente no ambiente analisado, uma vez que a oxidação da matéria orgânica através de microrganismos (DBO) transforma nitrito em nitrato. Através disso, é possível assegurar que a presença de nitrato na água representa contaminação antiga.



Fonte: JONG, 2018.

O nitrato é um composto nocivo a saúde humana e ele pode ser observado em águas poluídas por efluentes domésticos e industriais, além de águas decorrentes de drenagem pública. Os valores de nitrato ao longo dos anos analisados não demonstraram reduções nos últimos anos, portanto, a idade do aterro não influenciou no parâmetro.

**Tabela 5.8- Série histórica de Nitrato abril/2016 a abril/2020
Monitoramento do Nitrato (como N) (mg L⁻¹)**

Datas	Pontos														VMP
	PM 01	PM 02	PM 3.1	PM 3.2	PM 3.3	PM 9.1	PM 9.2	PM 9.3	PM 11	PM 12	PM 20.1	PM 20.2	PM 20.3	PM 24	
abr/16	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	3,7	0,05	0,5	-	11,6	11,5	12,9	12,2	21,3	10
jul/16	500	0,722	0,5	0,5	0,5	4,16	0,742	0,5	0,5	12,2	11,4	10,9	12,6	20,4	10
out/16	0,5	0,826	0,5	0,5	0,5	3,69	0,5	0,5	-	12	11,6	10,6	11,7	20,5	10
jan/17	0,5	0,751	0,5	0,5	0,5	3,97	0,5	0,5	0,5	12	13	12,3	12,6	19,2	10
abr/17	0,5	1,01	0,5	0,5	0,5	3,94	0,5	0,5	0,5	11,6	11,2	10,9	11,7	20,2	10
jul/17	0,5	0,78	0,5	0,5	0,5	3,91	0,5	0,5	0,5	12,1	11,1	11	11,9	20,3	10
out/17	0,5	0,87	0,5	0,5	0,5	3,98	0,5	0,5	0,5	10,6	12,9	11,1	12,6	20,3	10
jan/18	0,5	1,48	11,5	1,7	0,87	5,86	0,5	1,68	1,35	12,8	10,6	10,6	11,7	20,5	10

out/17	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	1
jan/18	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	1
abr/18	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	1
jul/18	0,01	0,43	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	1,25	0,01	0,01	0,01	0,01	1
out/18	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,2	0,12	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	1
jan/19	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,21	0,02	0,01	0,01	0,01	21,3	1
abr/19	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	1
jul/19	0,04	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	1
out/19	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	1
jan/20	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	1
abr/20	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	1
MÉDIA	1,19	0,04	0,02	0,01	0,01	1,19	0,02	0,03	0,04	0,09	0,01	0,01	0,01	1,23	
MEDIANA	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	
DP	4,85	0,1	0,01	0,01	0,01	4,85	0,01	0,05	0,06	0,3	0,01	0,01	0,01	5,16	
MÁXIMO	20	0,43	0,03	0,02	0,02	20	0,027	0,2	0,21	1,25	0,02	0,02	0,02	21,3	
MÍNIMO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	

Fonte: A autora (2023).

Através da análise realizada em cima da Tabela 5.9 e do Apêndice K e L, os poços apresentaram valores de nitrito baixos, além de poucos valores acima do VMP, como nos poços PM 01 e PM 9.1 em julho/16, ambos com o valor de 20 mg/L, o poço PM 12 em julho/2018 com um valor de 1,25 mg/L e no poço PM 24 em janeiro/2019 com o valor de 21,3 mg/L.

5.8. Potencial Redox

O potencial de oxirredução ou simplesmente, potencial redox é um parâmetro utilizado para verificar as condições do ambiente, isto é, analisar se o ambiente possui características oxidantes (sistema favorável para microrganismos aeróbios) ou características redutoras (sistema favorável para organismos anaeróbios) (MARIANO, 2006).

Logo, o potencial redox auxilia a determinar a concentração de oxigênio de um meio, além disso o potencial redox pode apresentar valores negativos e positivos, onde um indica as condições oxidantes e o outro indica as condições redutora (presença de elétrons na amostra) (JARDIM, 2014).

Tabela 5.10- Série histórica de monitoramento do Potencial Redox abril/2016 a abril/2020

Monitoramento do Potencial Redox (mV)														
Datas	Pontos													
	PM 01	PM 02	PM 3.1	PM 3.2	PM 3.3	PM 9.1	PM 9.2	PM 9.3	PM 11	PM 12	PM 20.1	PM 20.2	PM 20.3	PM 24
abr/16	339,2	89	-289	39	-49	109,8	-120,6	-69,9	-	67,7	400,4	191,5	419,9	59,2
jul/16	80,5	-10,6	-129,9	-42,9	-66,3	-13,4	-106,4	104,1	-63	10,9	23,3	26,4	55,5	56,2
out/16	279,9	84,4	56,1	52,9	87,3	196,2	-115,9	-171,2	-	94,1	196,5	198	275,3	241,2
jan/17	-72	11,1	-170,7	74,2	46,1	77,8	121,3	105,3	8	-128,8	49,6	48,5	42,9	344,1
abr/17	37,6	29,2	-118,6	7,53	22	138,9	-25	-8,1	-65	139,7	73,4	92,4	89,4	51,5
jul/17	260	166,2	121,6	177,5	181	102,3	178,9	249,4	117,5	34,8	103,7	82,6	142,1	345
out/17	335,5	396,7	-221,6	-121,8	-153	171,1	66,3	55,3	-56,8	216	209,5	236,8	179,3	229,5
jan/18	79,9	66,2	-110,6	77,3	53,6	37,4	-57,5	-156,1	-23,4	53,3	75,4	84,9	82,4	82,9
abr/18	102	90,1	140,4	116,3	99,7	160,2	80,6	83	-55,1	193,3	67,9	-51,1	-42,4	53,3
jul/18	25,1	27,1	-116,3	7,6	-29,3	39,6	10	4,8	-17,6	-20,8	43,8	30,1	37	67,9
out/18	226,1	96,2	102,3	79,9	40,1	154,5	33	-43,5	-62,7	163,3	170,7	185,9	153,2	87,6
jan/19	237	138,6	-108	61,3	50,1	147,6	145,1	-86	-52,7	175,4	153,1	147,1	143,1	155,7
abr/19	143,2	116,5	-73,7	132,4	93,1	147,4	17,9	-143,2	-50,8	154,7	146,1	160,2	147,7	112,3
jul/19	262,6	174,5	-103,3	118,3	99,3	195,7	87,6	-42,3	-13,9	153,2	217,2	197,2	207,7	219,7
out/19	210,9	175,3	-91,1	75,2	75,6	156,2	106,8	99,3	-31,4	172,1	380	501,8	767	118,6
jan/20	341,1	196,7	-99,2	13	-32,1	216,9	163,1	-20,6	-16	223,2	172,6	169,4	175,8	217,9
abr/20	270,3	253,5	-103,7	72,3	19	118,2	113,3	122,8	5,4	207,4	260,3	261,5	236,5	277,8
MÉDIA	185,82	123,6	-77,37	55,30	31,6	126,85	41,09	4,89	-25,17	112,32	161,38	150,78	183,08	160,02
MEDIANA	226,1	96,2	-103,7	72,3	46,1	147,4	66,3	-8,1	-31,4	153,2	153,1	160,2	147,7	118,6
DP	124,43	100,3	117,65	69,98	78,92	62,26	97,86	114,36	46,63	97,14	110,25	123,55	183,97	102,50
MÁXIMO	341,10	396,70	140,40	177,50	181,00	216,90	178,90	249,40	117,50	223,20	400,40	501,80	767,00	345,00
MÍNIMO	-72,00	-10,60	-289,00	-121,80	-153,00	-13,40	-120,60	-171,20	-65,00	-128,80	23,30	-51,10	-42,40	51,50

Fonte: A autora (2023).

A partir da análise da Tabela 5.10 e do Apêndice M e N, foi possível observar que existe uma variação em todos os pontos de valores negativos e positivos, mas alguns pontos predomina o valor negativo, sendo eles o poço PM 3.1, PM 3.3, PM 9.2, PM 9.3 e PM 11. O valor negativo demonstra que o meio onde foi realizada a análise possui disponibilidade de elétrons e com baixa concentração de oxigênio, podendo ser a causa de valores altos de nitrato e baixos de nitrito na amostra, uma vez que a disponibilidade de elétrons auxilia reações químicas.

5.9. Sólidos Dissolvidos Totais

Os sólidos dissolvidos totais são as partículas encontradas em uma amostra de forma dissociada e não dissociadas, como por exemplo sais inorgânicos (cálcio, potássio, sódio, entre outros) e matéria orgânica que se dissolve na amostra (CELLIGOI, 1999). As partículas em suspensão não podem ser consideradas para o cálculo de sólidos dissolvidos. O parâmetro em questão possui VMP definido pela CONAMA 396 de 1000 mg/L.

Tabela 5.11- Série histórica de monitoramento dos Sólidos Dissolvidos Totais
abril/2016 a abril/2020

Datas	Monitoramento dos Sólidos Dissolvidos Totais (mg L ⁻¹)														VMP
	PM 01	PM 02	PM 3.1	PM 3.2	PM 3.3	PM 9.1	PM 9.2	PM 9.3	PM 11	PM 12	PM 20.1	PM 20.2	PM 20.3	PM 24	
abr/16	17	107	494	380	342	185	190	153	-	152	315	314	308	251	1000
jul/16	15000	78	357	363	328	181	254	173	115	177	351	289	280	265	1000
out/16	41	58	406	274	304	188	140	188	-	140	460	507	398	394	1000
jan/17	19	118	469	333	357	195	179	245	105	192	294	324	353	282	1000
abr/17	32	140	353	293	304	191	180	130	82	203	363	372	339	299	1000
jul/17	22	111	362	304	316	176	183	153	92	213	285	282	305	280	1000
out/17	44	116	391	275	265	214	175	176	116	327	155	296	354	345	1000
jan/18	18	112	345	353	277	145	131	160	115	210	384	342	370	248	1000
abr/18	38	118	429	349	341	283	154	146	758	226	342	454	343	322	1000
jul/18	13	81	268	340	315	199	169	181	73	127	374	324	357	273	1000
out/18	31	187	404	369	415	211	127	220	59	244	351	306	459	398	1000
jan/19	10	112	348	369	369	215	224	195	111	154	308	356	337	320	1000
abr/19	14	95	381	357	309	220	139	217	97	202	320	308	366	331	1000

jul/19	33	79	267	332	335	178	163	170	80	168	274	299	301	259	1000
out/19	18	127	362	336	288	175	161	199	71	207	300	220	334	240	1000
jan/20	28	98	368	349	359	230	159	180	200	173	332	354	342	286	1000
abr/20	16	114	284	360	338	162	182	162	66	146	286	316	284	226	1000
MÉDIA	906	109	370	337	327	197	171	179	143	192	323	333	343	295	
MEDIANA	22	112	362	349	328	191	169	176	97	192	320	316	342	282	
DP	3632	29	62	33	37	31	32	29	174	48	63	66	43	50	
MÁXIMO	15000	187	494	380	415	283	254	245	758	327	460	507	459	398	
MÍNIMO	10	58	267	274	265	145	127	130	59	127	155	220	280	226	

Fonte: A autora (2023).

Após analisar os resultados dos dados dos sólidos dissolvidos totais na Tabela 5.11 e no Apêndice O e P foi possível perceber que ao longo dos anos analisados foi encontrado um único valor acima do VMP, que foi no poço PM 01 em julho/2016 com o valor de 15000 mg/L. O parâmetro não sofreu alterações ao longo dos anos, portanto a sazonalidade não influencia e a idade do aterro também não foi um fator influente, assim como a legislação foi atendida.

5.10. Nível d'Água

O nível d'água de um poço subterrâneo é medido através do cálculo da profundidade do poço menos o valor encontrado entre a boca do poço e a película d'água medido através do medidor de nível, este medidor de nível possui um sensor na ponta que apita em contato com água.

Tabela 5.12- Série histórica de monitoramento do Nível d'Água outubro/2016 a abril/2020

Datas	Monitoramento do Nível d'Água (m)														
	Pontos														
	PM 01	PM 02	PM 3.1	PM 3.2	PM 3.3	PM 9.1	PM 9.2	PM 9.3	PM 11	PM 12	PM 20.1	PM 20.2	PM 20.3	PM 24	
out/16	12,9	11,8	4,29	5,5	4,07	2,63	4,07	2,07	4,12	4,43	2,4	2,14	2,06	7,07	
jan/17	12,11	11,07	4,7	5,16	5,88	2,38	2,04	2,78	3,15	4,06	2,17	1,89	1,85	6,71	
abr/17	9,25	10,97	5,06	5,36	6	2,59	3,8	1,95	3,78	4,29	1,38	2,09	2,03	6,72	
jul/17	13	10,92	5,2	5,5	6,15	2,67	2,36	2,75	3,79	3,79	2,45	2,19	2,09	6,57	
out/17	13,51	11,99	5,42	5,65	6,26	2,74	3,79	2,04	4,2	4,68	2,48	2,18	2,14	7,09	
jan/18	11,67	11,04	4,75	5,1	5,8	2,65	2,1	1,67	2,92	4	2,3	1,99	1,93	6,75	
abr/18	10,59	10	4,64	5,06	5,79	2,1	2,1	3,52	2,32	3,83	2,3	1,99	1,94	6,57	

jul/18	12,22	19,46	5,11	5,4	6,05	2,33	2,27	1,3	2,82	4,21	2,4	2,07	2,63	6,57
out/18	12,2	11,13	5,42	5,62	6,19	2,48	3,15	1,91	3,21	4,21	2,46	2,11	2,06	7
jan/19	10,6	10,2	4,75	4,98	5,77	2,12	1,89	1,59	2,16	3,6	2,25	1,9	1,87	6,56
abr/19	11,22	10,12	5	5,31	6,01	2,09	2,45	1,59	2,32	3,79	2,3	1,95	1,87	6,54
jul/19	12,24	10,51	5,33	5,52	6,12	2,33	2,16	2,32	2,73	4,04	2,45	2,08	2	6,85
out/19	13,48	11,74	5,8	5,7	6,3	2,45	2,39	1,75	3,28	4,34	2,51	2,59	2,16	7,25
jan/20	10,26	10,77	4,38	4,69	5,33	2,17	2,04	2,46	2,51	4,13	2,14	1,77	1,7	6,41
abr/20	10,65	8,31	4,38	4,83	5,62	1,6	2,7	1,13	0,84	3,25	2,11	1,71	1,61	5,64
MÉDIA	11,73	11,34	4,95	5,29	5,82	2,36	2,62	2,06	2,94	4,04	2,27	2,04	2,00	6,69
MEDIANA	12,11	10,97	5,00	5,36	6,00	2,38	2,36	1,95	2,92	4,06	2,30	2,07	2,00	6,71
DP	1,26	2,42	0,44	0,31	0,55	0,30	0,73	0,63	0,87	0,36	0,28	0,21	0,23	0,38
MÁXIMO	13,51	19,46	5,8	5,7	6,3	2,74	4,07	3,52	4,2	4,68	2,51	2,59	2,63	7,25
MÍNIMO	9,25	8,31	4,29	4,69	4,07	1,6	1,89	1,13	0,84	3,25	1,38	1,71	1,61	5,64

Fonte: A autora (2023).

A série histórica de dados analisada não apresenta os resultados dos pontos nos meses de abril e julho de 2016, portanto a análise foi realizada a partir do mês de outubro de 2016 até abril de 2020. Após analisar os dados presentes na Tabela 5.12 e no Apêndice Q foi possível perceber uma constância nos valores ao longo dos meses analisados, com isso é possível determinar que o nível d'água não é influenciado pela sazonalidade.

Nos pontos PM 02 e PM 01, foram verificados picos atípicos de valores nos períodos considerados de seca, como em julho/2017, julho/2018 e em outubro/2019, não podendo inferir que se deve à presença ou não do período chuvoso.

Interessante mencionar, que o nível d'água nos poços monitorados pode possuir uma influência tardia das chuvas, com a influência das precipitações pluviométricas podendo se observada após o fim do período chuvoso. Essa condição não observada nos resultados analisados.

5.11. Localização dos poços críticos

Após as análises realizadas dos valores de cada parâmetro foi possível observar alguns poços que apresentam valores acima do VMP ou destoantes de outros pontos que podem ser considerados poços críticos. Os poços denominados críticos foram os poços PM 3.1, PM 3.2, PM 3.3, PM 11, PM 20.1, PM 20.2 e PM 20.3.

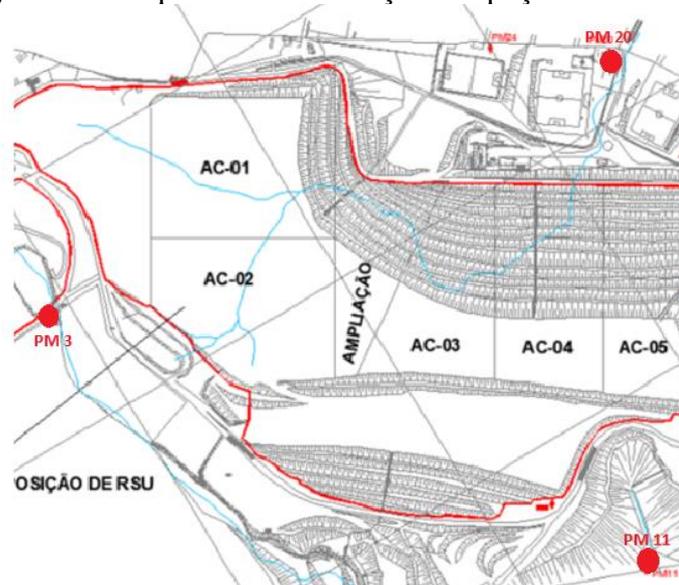
O comportamento desses poços pode derivar da localização deles na área do aterro sanitário. Os poços PM 3.1, PM 3.2, PM 3.3 se localizam no mesmo lugar e estão denominados como

PM 3 na Figura 5.1, o PM 3 se localiza a jusante de uma antiga bacia de contenção de lixiviado, portanto possivelmente seus resultados são influenciados por esse motivo. Além disso, foi possível observar a presença de uma nascente no mesmo local e que tem seu percurso abaixo da bacia de contenção do chorume.

O poço PM 11 se localiza nos limites do aterro com um bairro residencial, além de se encontra em um local onde possui uma nascente e essa nascente é considerada intermitente, isso significa que ela só possui fluxo d'água na época de chuva. Além disso, a nascente e o ponto podem ser influenciados pelo aterro que se encontra a montante.

Os poços PM 20.1, PM 20.2 e PM 20.3 se localizam no mesmo local, estes poços recebem um nome geral de PM 20. O poço PM 20 se localiza dentro de uma unidade de recebimento de pequenos volumes (URPV), a jusante das células de aterramento e no mesmo sentido de uma nascente que percorre as células de aterramento, portanto o poço pode ter seus resultados influenciados.

Figura 5.2- Esquema da localização dos poços críticos



Fonte: A autora (2023).

6. CONCLUSÃO

A geração exacerbada de resíduos sólidos urbanos e a destinação de forma inadequada são algumas das problemáticas encontradas presentes no mundo atual. Os aterros sanitários são a forma adequada encontrada para a disposição dos resíduos, porém sem o devido monitoramento e acompanhamento ao longo dos anos de aterramento podem contaminar o solo e a água ao seu entorno.

A efetivação deste trabalho possibilitou analisar se o aterro sanitário da CTRS BR040 possui influência nas águas subterrâneas presentes em poços localizados ao redor do aterro. Além disso, também foi possível analisar se as águas pluviais influenciam na qualidade das águas subterrâneas e se o lençol freático sofre alguma alteração.

Após as análises dos resultados, verificou-se que alguns poços apresentaram alterações em vários parâmetros e a partir da análise da localização desses poços pode-se inferir que o aterro sanitário pode estar interferindo na qualidade da água, uma vez que todos os poços críticos possuem nascentes que estão presentes no mesmo local e que antes de chegar nos poços as nascentes possuem seus percursos abaixo de locais de aterramentos e de uma lagoa que era utilizada como bacia de contenção de lixiviado nos primeiros anos de funcionamento do aterro.

A partir das observações realizadas dos resultados no período de seca e de chuva, foi possível observar a sazonalidade não possui influência significativa nos poços subterrâneos. Além disso, o nível d'água não foi afetado no período de chuva conclui-se que a infiltração das águas pluviais não é significativa.

O monitoramento contínuo em um aterro sanitário é de suma importância para verificar algum problema operacional ou físico que um aterro possa apresentar ao longo dos anos de aterramento e de encerramento. O presente trabalho contribui para demonstrar a importância de um monitoramento e para destacar os poços que precisam de manutenção e de medidas corretivas.

7. RECOMENDAÇÕES

Conforme apresentado no trabalho são necessárias medidas mitigadoras, por exemplo: realizar uma análise confirmatória de contaminação de acordo com a DN COPAM/CERH nº 02, de 08 de setembro de 2010, realizar análises das águas das nascentes para definir se existe a contaminação por parte do aterro, se existir deve ser implantada uma forma de tratamento e o monitorar sempre todos os poços e sempre realizar a comparação entre montante e jusante do aterro.

Portanto, recomenda-se buscar estudos e ações para controlar a possível contaminação do lixiviado nos poços subterrâneos presentes na área do aterro sanitário. Além disso, recomenda-se um estudo mais aprofundado em relação a pluma de contaminação que pode existir e pode afetar a qualidade das águas subterrâneas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1992. **Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos – NBR 8419**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.ipaam.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/NBR-8419-92-Apresentacao-de-Projetos-de-Aterros-Sanitarios-de-Residuos-Solidos-Urbanos.pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2022.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1997. **Construção de poços de monitoramento e amostragem – NBR 13895**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://www.solisconsultoria.com.br/downloads/NBR-13.895-Construc%C3%A3o-de-po%C3%A7os-de-monitoramento-e-amostragem.pdf>>. Acesso em: 06 jun. 2022.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 1997. **Norma para Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação – NBR 13896**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://engcivil20142.files.wordpress.com/2018/04/nbr-13896-aterros-de-resc3adduos-nc3a3o-perigosos.pdf>>. Acesso em: 18 abr. 2023.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2007. **Norma para construção de Poços de Monitoramento em Aquíferos Granulares – NBR 15.495-1**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/40428/nbr15495-1-pocos-de-monitoramento-de-aguas-subterraneas-em-aquiferos-granulados-parte-1-projeto-e-construcao>>. Acesso em: 18 abr. 2023.

ABNT– ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. 2010. **Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento — Métodos de purga – NBR 15847**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://www.solisconsultoria.com.br/downloads/NBR%2015847.pdf>>. Acesso em: 14 jul. 2022.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. – São Paulo, 2020. 52p. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>>. Acesso em: 24 mar. 2023.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. – São Paulo, 2021. 54p. <<https://abrelpe.org.br/download-panorama-2021/>>. Acesso em: 24 mar. 2023.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. – São Paulo, 2022. 64p. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/download-panorama-2022/>>. Acesso em: 24 mar. 2023.

AHMED, F.N.; LAN, C.Q. **Treatment of landfill leachate using membrane bioreactors: a review. Desalination**, v. 287, p. 41-54, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916411010320>>. Acesso em: 28 abr. 2023.

ALFAIA, R. G. de S. M., COSTA, A. M., CAMPOS, J. C. **Municipal solid waste in Brazil: A review: Waste Management e Research**. 2017. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0734242X17735375>>. Acesso em: 26 ago. 2022.

ALVES, T. L. B., GUIMARÃES, J. B. R., SILVA, J. R., ALVES, I. J. B. R., ABREU, I. G. **Lixão de campina grande-PB versus aterro sanitário de Puxinanã: transferência de**

problema socioambiental. 2013. Disponível em: <<https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/polemica/article/view/8014>>. Acesso em: 12 mai 2022.

ARAÚJO, L. G. S.. **Avaliação do lixiviado de aterro sanitário: geração e tecnologias de tratamento.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Pernambuco, CAA. 2019. 111 f. Disponível em: <<https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/37920/1/DISSERTA%20Liz%20Geise%20Santos%20de%20Ara%20bajo.pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2023.

BASSANI, F. **Monitoramento do lixiviado do aterro controlado de Maringá, Paraná, e avaliação da tratabilidade com coagulantes naturais, radiação ultravioleta (UV) e ozônio.** 2010. 144f. Disponível em: <<http://repositorio.uem.br:8080/jspui/bitstream/1/3570/1/000211188.pdf>>. Acesso em: 12 mai 2022.

BESEN, G. R. **Coleta seletiva com inclusão de catadores: construção participativa de indicadores e índices de sustentabilidade.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2011. (Tese Doutorado). Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-28032011-135250/publico/GinaRizpahBesen.pdf>>. Acesso em: 17 nov. 2022.

BORBA, W. L. **Avaliação da contaminação ambiental em um aterro sanitário de pequeno porte, sem utilização de geomembrana, na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul.** 2019. 170f. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/18501/TES_PPGEC_2019_BORBA_WILLIAN.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 mai 2022.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Secretaria dos Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. **Revista Águas Subterrâneas.** Um recurso a ser conhecido e protegido. Brasília, 2007. Disponível em: <<https://www.docsity.com/pt/aguas-subterraneas-um-recurso-a-se-conhecido-e-protegido/4725813/>>. Acesso em 22 jun. 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 396 de 03 de abril de 2008.** Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Brasília. DOU n.66, de 07 de abril de 2008. Disponível em: <<http://portalpnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%20CONAMA%20n%20396.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2022.

BRASIL. **Lei nº. 12.305, de 02 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em 22 de jun. de 2022.

BRASIL. **Portaria 53, de 01 de março de 1979.** Dispõe sobre a destinação final de resíduos sólidos, 1979. Disponível: <<https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=91684>>. Acesso em: 22 jun 2022.

BRASIL. **Resolução CONAMA n 357,** de 17 de março de 2005. Dispõe sobre classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf>. Acesso em: 14 jun 2022.

BRASIL. **Resolução CONAMA n° 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. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2017/09/resolucao-conama-420-2009-gerenciamento-de-acs.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2022.

CAMPOS, R. F. **Análise da qualidade das águas subterrâneas e determinação do índice de vulnerabilidade do aquífero Serra Geral no município de Medianeira** – PR. 2015. 108f. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2504/1/MD_PPGTAMB_M_Campos%20C%20Rafael%20Flores%20de_2015.pdf>. Acesso em: 14 jun 2022.

CARVALHO, A. L. **Contaminação de águas subsuperficiais em área de disposição de resíduos sólidos urbanos e o caso do antigo lixão de Viçosa (MG)**. 2001. 122f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2001. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/9652/1/texto%20completo.pdf>>. Acesso em: 17 mai. 2023.

CATAPRETA, C. A. A. **Comportamento de um aterro sanitário experimental: avaliação da influência do projeto, construção e operação**. 2008. 316 f. Disponível em: <<https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/FRPC-7NXGDZ/1/236d.pdf>>. Acesso em: 14 mai 2022.

CELLIGOI, A. **Considerações sobre análises químicas de águas subterrânea**. GEOGRAFIA (Londrina), [S.1.], v.8, n.1, p. 91-97, 2011. DOI: 10.5433/2447-1747.1999v8n1p91. Disponível em: <<https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/10207>>. Acesso em: 2 jun. 2023.

CEMPRE. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado** – 4. ed. São Paulo (SP), 2018. 316 p. Disponível em: <https://cempre.org.br/wp-content/uploads/2020/11/6-Lixo_Municipal_2018.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2023.

CETESB. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo 2019/ CETESB, Apêndice E, Significado Ambiental e Sanitário das Variáveis de Qualidade das Águas e dos Sedimentos e Metodologias Analíticas e de Amostragem**. Coordenação geral Maria Helena R.B. Martins; Coordenação técnica Fábio Netto Moreno, Marta Condé Lamparelli, Beatriz Durazzo Ruiz; Coordenação cartográfica Carmen Lúcia V. Midaglia; Equipe técnica Luiz Antônio Medeiros ... [et al.]. – São Paulo: CETESB, 2020. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/12/2018/03/Apendice-E-Significado-Ambiental-e-Sanitario-das-Variaveis-de-Qualidade-2016.pdf>>. Acesso em: 31 mai 2023.

CONTE, V. D.; COLOMBO, M.; ZANROSSO, A. V.; SALVADOR, M. **Qualidade microbiológica de águas tratadas e não tratadas na região nordeste do Rio Grande do Sul**. Revista Infarma, v.16, n° 11-12, 2004. Disponível em: <<https://www.cff.org.br/sistemas/geral/revista/pdf/77/i02-qualidademicro.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2023.

DAI-PRÁ, L. B., MORAIS, C. A. M., GOMAS, L. P., MARQUES, V. M.. **Avaliação de ciclo de vida (ACV) aplicada à gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) em aterros: uma revisão**. Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento, [S. l.], p. 1-12, 1 ago. 2018. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbpd/article/view/8640/5325>>. Acesso em: 20 jun. 2022.

ECOTRES. **Entenda a diferença entre Aterro Sanitário e Lixão**, 2019. Disponível em: <<https://www.ecotres.com.br/entenda-a-diferenca-entre-aterro-sanitario-e-lixao/>>. Acesso em: 24 mar. 2023.

GADELHA, F. J. S.; DOMINGOS, M. S. C.; NOGUEIRA, M. F. L.; SILVA, M. L. L.; MACEDO, R. E. F.; SOUZA, G. C.; NESS, R. L. L. **Verificação da presença de nitrito em águas de consumo humano da comunidade de Várzea do Cobra em Limoeiro do Norte-CE**. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 57., Fortaleza. Anais... Fortaleza: UECE, 2005. p. 2. Disponível em: <http://www.sbpcnet.org.br/livro/57ra/programas/senior/resumos/resumo_266.html>. Acesso em: 25 abr. 2023.

GODECKE, M. V.; NAIME, R. H.; FIGUEIREDO, J. A. S. **O Consumismo e a Geração de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil**. Rio Grande do Sul, 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/6380/pdf>>. Acesso em: 28 jan. 2023.

GOMES, N. A., ALMEIDA, M. V. A., MELO, M. C., MONTEIRO, V. E. D., OLIVEIRA, R.. **Influência de parâmetros físico-químicos na composição de constituintes tóxicos em lixiviado de aterro sanitário**. *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 23, n. Matéria (Rio J.), 2018 23(3), p. e12155, 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rmat/a/HjZTfJJWjTQs6tsspSxzpPD/abstract/?lang=pt#>>. Acesso em: 17/03/2023.

GOOGLE. **Google Earth website**. 2023. Disponível em: <https://earth.google.com/web/@-19.91349236,-44.01199594,933.38587798a,3049.21066892d,35y,-56.41758873h,0.7708687t,359.98759999r?utm_source=earth7&utm_campaign=vine&hl=pt-BR>. Acesso em: 24 mar 2023.

HAMADA, J., SILVA, C. L., GIACHETI, H., L.. **Análise crítica de sistemas para tratamento de chorume de aterros para resíduos sólidos urbanos**. 2004. 10 f. Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável, Costão do Santinho, Florianópolis, Santa Catarina, 2004. Disponível em: <<https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ictr/2004/ARQUIVOS%20PDF/12/12-031.pdf>>. Acesso em: 02 jun 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2017**. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101734.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2022.

JARDIM, W. F.. **Medição e interpretação de valores do potencial redox (E_H) em matrizes ambientais**. *Química Nova*, v. 37, n. 7, p. 1233–1235, 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/rXscfXjzdzqVyG688PLZprLC/?lang=pt#>>. Acesso em: 01 jun 2023.

JARDIM, W. F.. **Medição e interpretação de valores do potencial redox (E_H) em matrizes ambientais**. *Química Nova*, v. 37, n. 7, p. 1233–1235, 2014. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/qn/a/rXscfXjzdzqVyG688PLZprLC/?lang=pt&format=pdf>>. Acesso em: 14 jun. 2023.

JONG, E. **Caso clínico: Mortalidade aguda devida a intoxicação por nitritos**. 3tres3, 2018. Disponível em: <https://www.3tres3.com.pt/artigos/mortalidade-aguda-devida-a-intoxicac%C3%A3o-por-nitritos_11188/>. Acesso em: 13 jun. 23.

LANGE, L. C., ALVES, J. F., AMARAL, M. C. S., JÚNIOR, W. R. M.. **Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por processo oxidativo avançado empregando reagente de**

fenton. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/ZdbP7jbbHRFQN4tHnBrV59j/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 jun. 2022.

LEIRA, M., HERNANDES LEIRA, M., TAVARES DA CUNHA, L., SILVIA BRAZ, M., CICINATO VIEIRA MELO, C., APARECIDA BOTELHO, H., & SILVA REGHIM, L. (2017). **Qualidade da água e seu uso em pisciculturas.** Pubvet, 11(01). Disponível em: <https://www.pubvet.com.br/uploads/917aff074367e4333b44c8551115a114.pdf>. Acesso: 04 jun. 2022.

LIMA, A. N. **Análise do monitoramento da contaminação ambiental no solo do aterro de resíduos sólido urbano encerrado de Seropédica.** Dissertação (Mestrado em Ciências na área de Saúde Pública) – Escola Nacional de Saúde Pública Sérgio Arouca, Rio de Janeiro, 2015. 166 f. Disponível em: https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/13920/andreaia_lima_ensp_mest_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 07 abr. 2022.

MAGALHÃES, N. C. **Remoção e recuperação de amônia de lixiviado de aterro sanitário utilizando membranas contactoras e comparação com processos convencionais.** 2014. Dissertação (Mestrado em Saneamento, meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. p. 153. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/3523/TESE%20DOUT%20PPGQ%20JO SMARIA%20LOPES%20DE%20MORAIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 24 mar. 2023.

MAIER, C. **Qualidade de Águas Superficiais e Tratamento de Águas Residuárias por Meio de Zonas de Raízes em Propriedades de Agricultores Familiares.** 2007. 96f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/5585/clamarion.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 17 set. 2022.

MARIANO, A. P. **Avaliação do potencial de biorremediação de solos e de águas subterrâneas contaminados com óleo diesel.** 2006. 162 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/102864/mariano_ap_dr_rcla.pdf?sequence=1. Acesso em: 27 jul. 2022.

MATTOS, J. C. P. **Poluição Ambiental por Resíduos Sólidos em Ecossistemas Urbanos: Estudo de Caso do Aterro Controlado de Rio Branco – AC.** 2006. 111f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Manejo de Recursos Naturais) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco. 2006.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM-CERH n° 05, de 14 de setembro de 2017. **Estabelece diretrizes e procedimentos para a definição de áreas de restrição e controle do uso das águas subterrâneas e dá outras providências,** 2017. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=45258>. Acesso em: 24 mar. 2023.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM/ CERH 02 de 8 de setembro de 2010. **Institui o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, que estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas.** Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=14670>. Acesso em: 19 abr. 2023.

MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM/ CERH 05 de 14 de setembro de 2017. **Estabelece diretrizes e procedimentos para a definição de áreas de restrição e controle do uso das águas subterrâneas e dá outras providências.** Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=45258>. Acesso em: 19 abr. 2023.

MORAIS, J. L. **Estudo da potencialidade de processos oxidativos avançados, isolados e integrados com processos biológicos tradicionais, para tratamento de chorume de aterro sanitário.** 2005. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-AAHHDJ/1/disserta__o_de_mestrado_natalie_cristine_magalh_es.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2023.

NAKAMURA, C. Y., MARQUE, E., VILELA, P., ODA, T., LIMA, L., COSTA, R., AZEVEDO, I. C.. **Avaliação da qualidade da água subterrânea no entorno de um aterro sanitário.** Águas Subterrâneas [S.l.], v. 28, n. 2, 2014. DOI: 10.14295/ras.v28i2.27399. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27399>>. Acesso em: 5 jun. 2022.

OLIVEIRA, L.F.C., NOGUEIRA, J. G., FRIZZARIM, S. S., FIA, R., FREITAS, J. S., FIA, F. R. L.. **Sorção e mobilidade do lítio em solos de áreas de disposição final de resíduos sólidos urbanos.** 2013. Engenharia Sanitária e Ambiental. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/GKMFgDhtfvTQrchLfK4mSHd/abstract/?lang=pt>>. Acesso em 24 jun 2022.

PIEADADE JÚNIOR, C. R. C. **Análise da potencialidade de alguns solos não lateríticos para utilização em barreiras impermeáveis.** 2003. 124 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2003. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18132/tde-07052008-150323/publico/dissertacao.pdf>>. Acesso em: 19 mar. 2023.

PINTO, R. R.; BRAZ, A. C. S.; SANTOS, P. R.; SILVA, G. K. N.; SILVA, G. H.; RESENDE, F. M. **Avaliação dos indicadores do aterro controlado do Município de Alagoa Grande-PB e seus impactos ambientais.** Rev. Bras. Gest. Amb. Sustent. [online]. 2016, vol. 3, n. 4, p. 69-77. ISSN 2359-1412. DOI: 10.21438/rbgas.030407. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/ae39/3c9694a73113f6a9b8713ded2c67b9790e50.pdf>>. Acesso em: 8 nov. 2022.

PROSAB – Programa de Pesquisa de Saneamento Básico. **Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras /** Luciana Paulo Gomes (coordenadora). Rio de Janeiro: ABES, 2009. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_3.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2022.

RECESA – Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental. **Resíduos sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários: guia do profissional em treinamento: nível 2 /** Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Belo Horizonte: ReCESA, 2008. 120 p. Disponível em: http://www.dec.uem.br/mbr/Saneamento%20IV/aterro/aterro_sanitario.pdf>. Acesso em: 27 jul. 2022.

REICHERT, G. A.; SILVA, A. A.; FLECK, E. **Proteção de águas subterrâneas na implantação de aterro sanitário.** Águas Subterrâneas, [S. l.], n. 1, 1998. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22297>. Acesso em: 23 jun. 2022.

RENOU, S.; GIVAUDAN, J.G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F.; MOULIN, P. **Landfill leachate treatment: review and opportunity.** *Journal of Hazardous Materials*, v. 150, n. 3, p. 468-493, 2008. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389407013593>>. Acesso em: 19 fev. 2023.

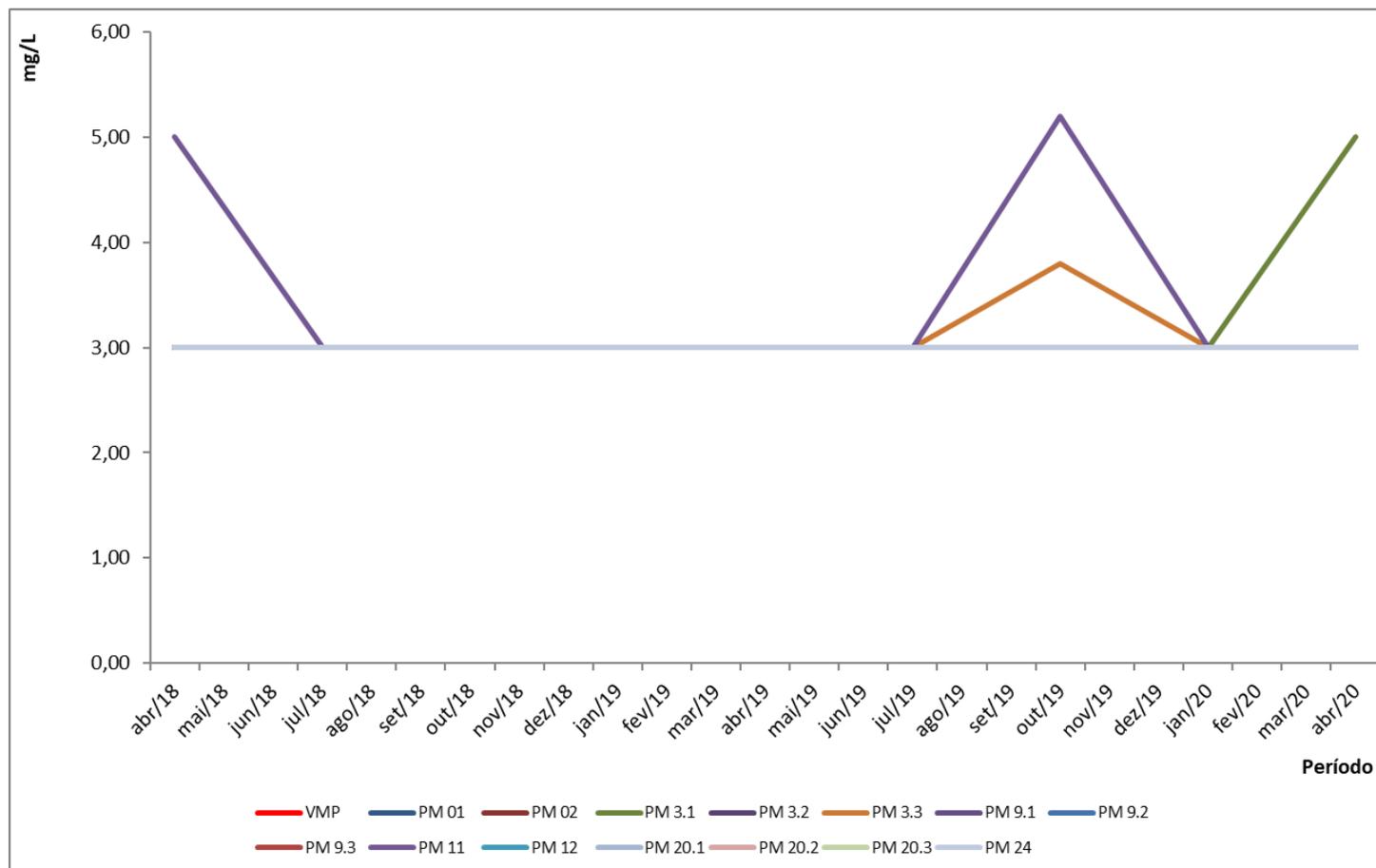
SANTOS, F. da C. **A Logística Reversa de Resíduos Sólidos em Ituiutaba: do Diagnóstico à Elaboração de um Modelo Pró-ativo.** 2007. 254f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, 2007. Disponível em: <<http://www.ppgeo.ig.ufu.br/node/74>>. Acesso em: 20 jun. 2022.

SCHUELER, A. S.; MAHLER, C. F. **Sistema de Avaliação para Classificar Áreas de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos visando a Remediação e a Pós-ocupação.** Engenharia Sanitária e Ambiental. 2007. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/esa/a/cmTqFQ8rHXJYkYscpSQJMDy/abstract/?lang=pt>>. Acesso em: 5 mar. 2023.

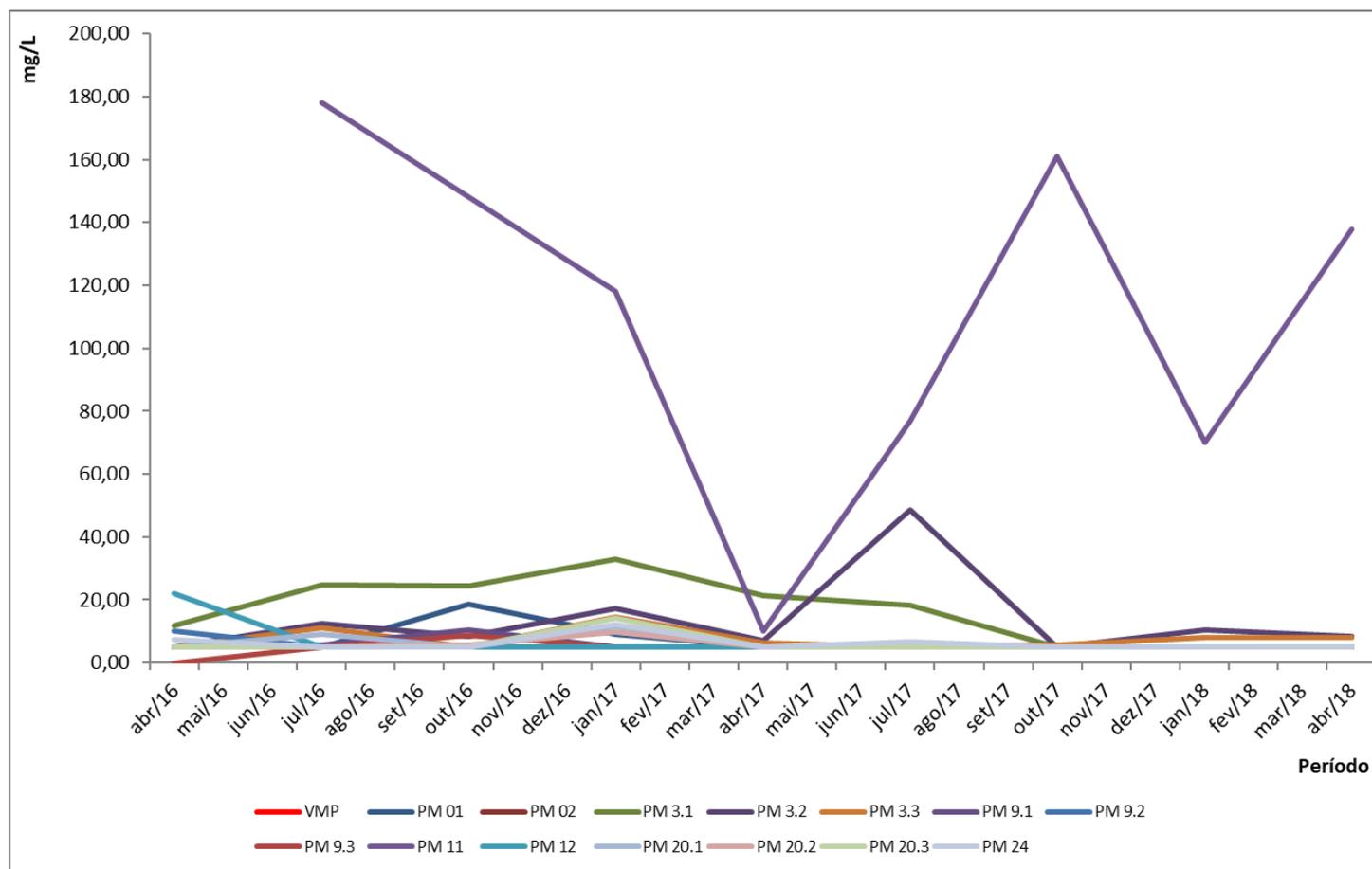
SIQUEIRA, G. W.; APRILE, F.; MIGUÉIS, A. M.. **Diagnóstico da qualidade da água do rio Parauapebas (Pará - Brasil).** *Acta Amazonica*, v. 42, n. 3, p. 413–422, set. 2012. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/aa/a/9Cg9yfdKW4r4GDsC7v64brtf/abstract/?lang=pt#>>. Acesso em: 31 mai. 2023.

WEITZBERG, E.; LUNDBERG, J.O. 2013. **Novel aspects of dietary nitrate and human health.** *Annual Review of Nutrition*, 33: 129-159. Disponível em: <https://www.annualreviews.org/doi/10.1146/annurev-nutr-071812-161159>. Acesso em: 13 abr. 2023.

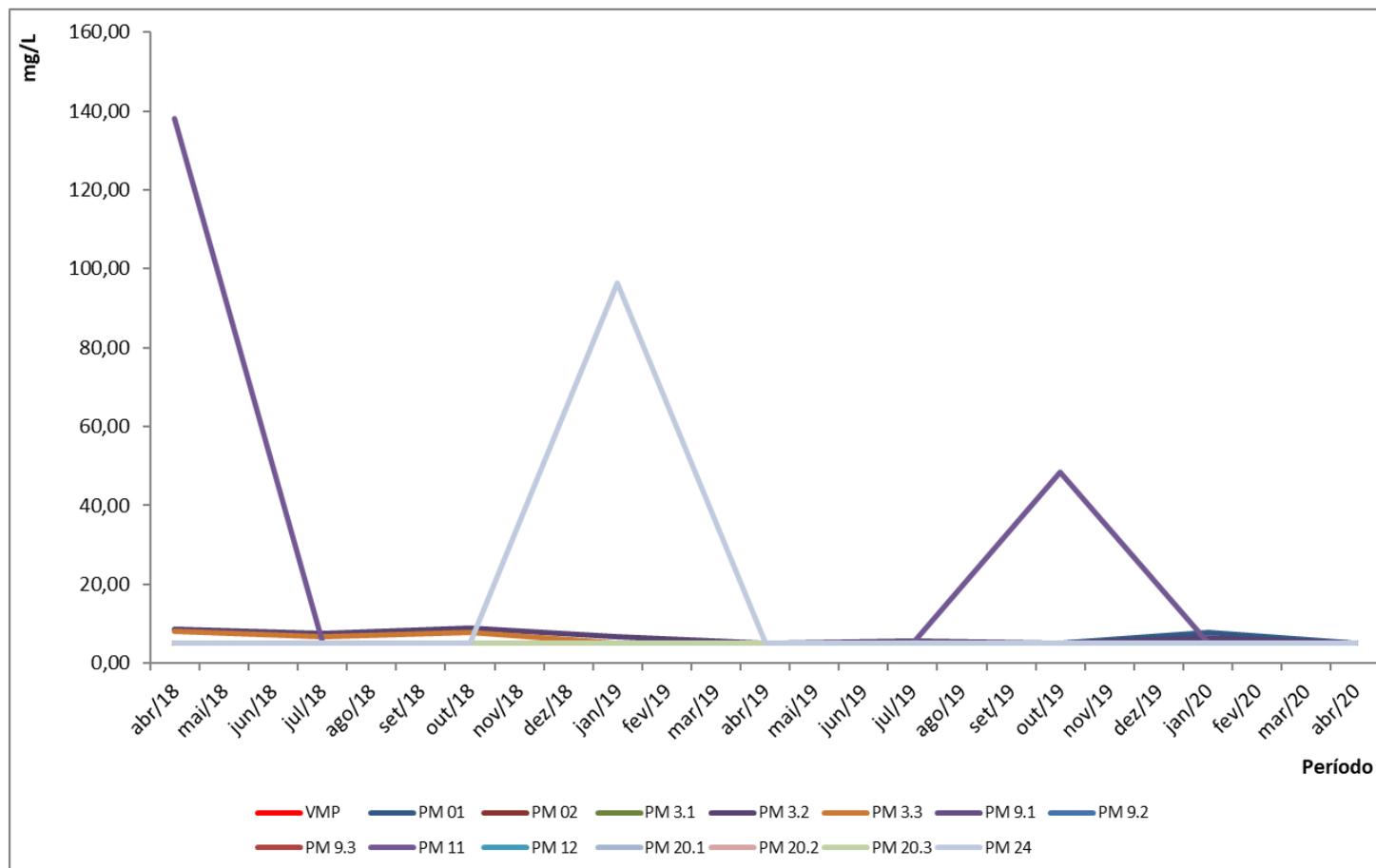
APÊNDICE B – Continuação gráfico DBO



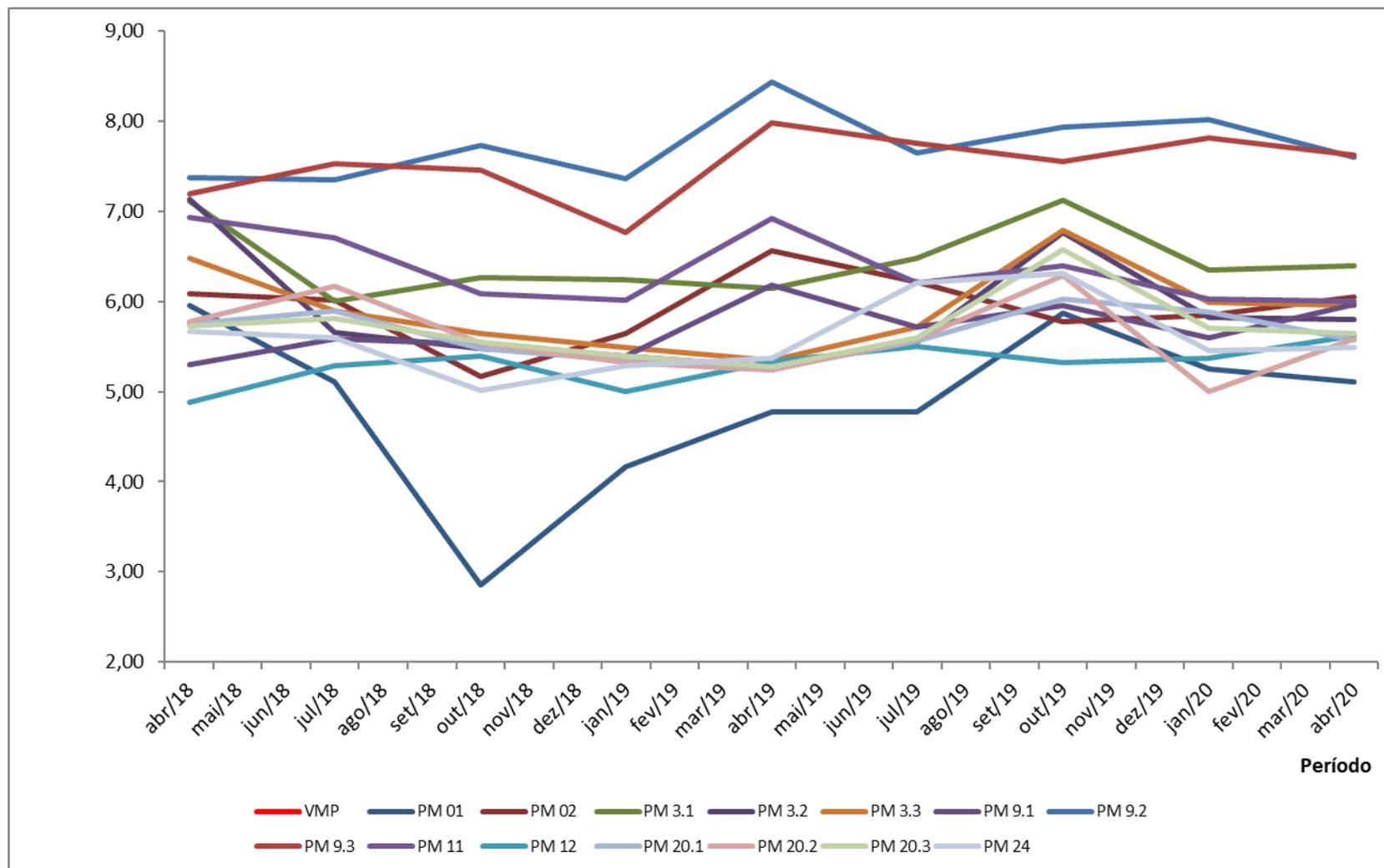
APÊNDICE C – Gráfico DQO



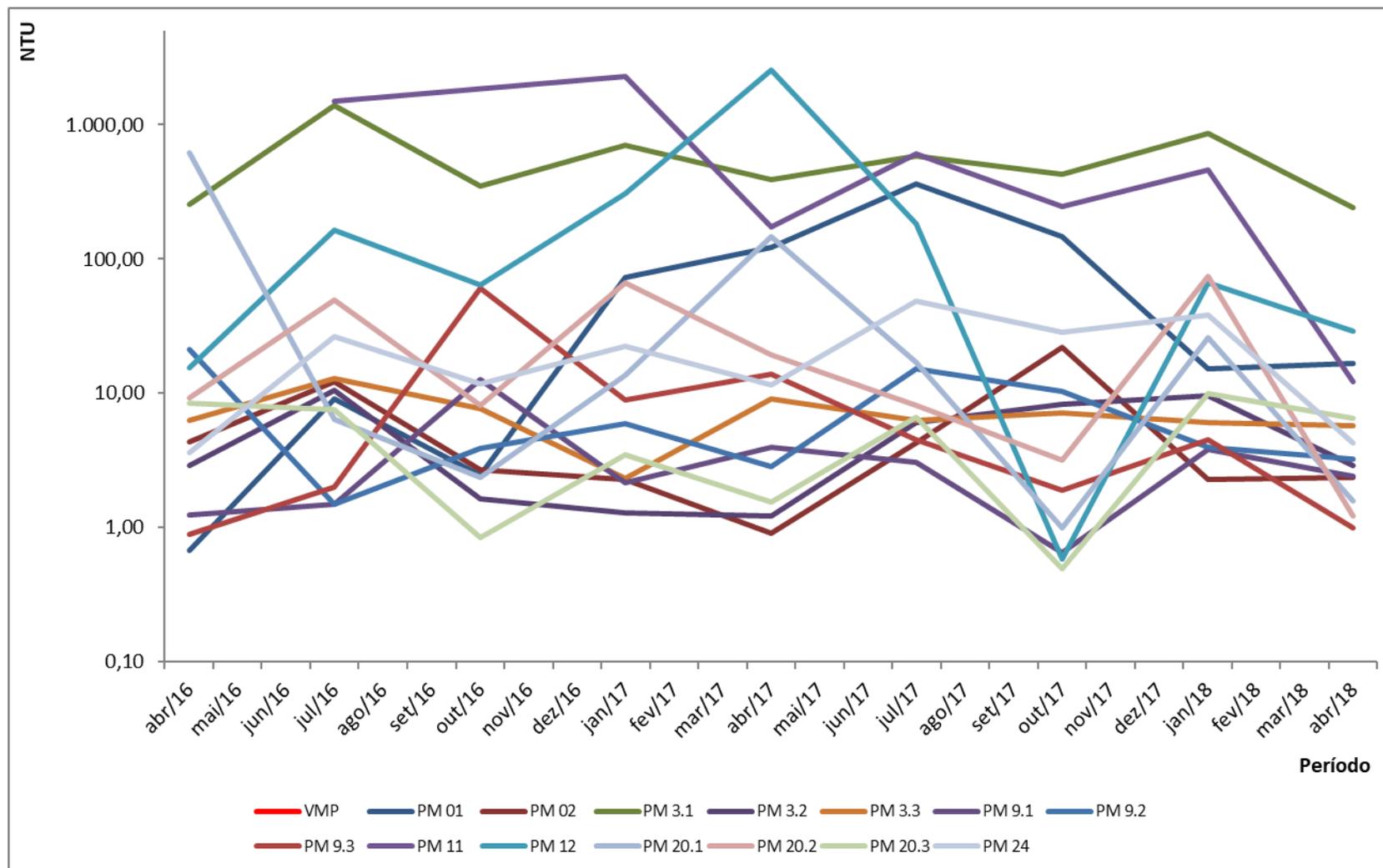
APÊNDICE D – Continuação gráfico DQO



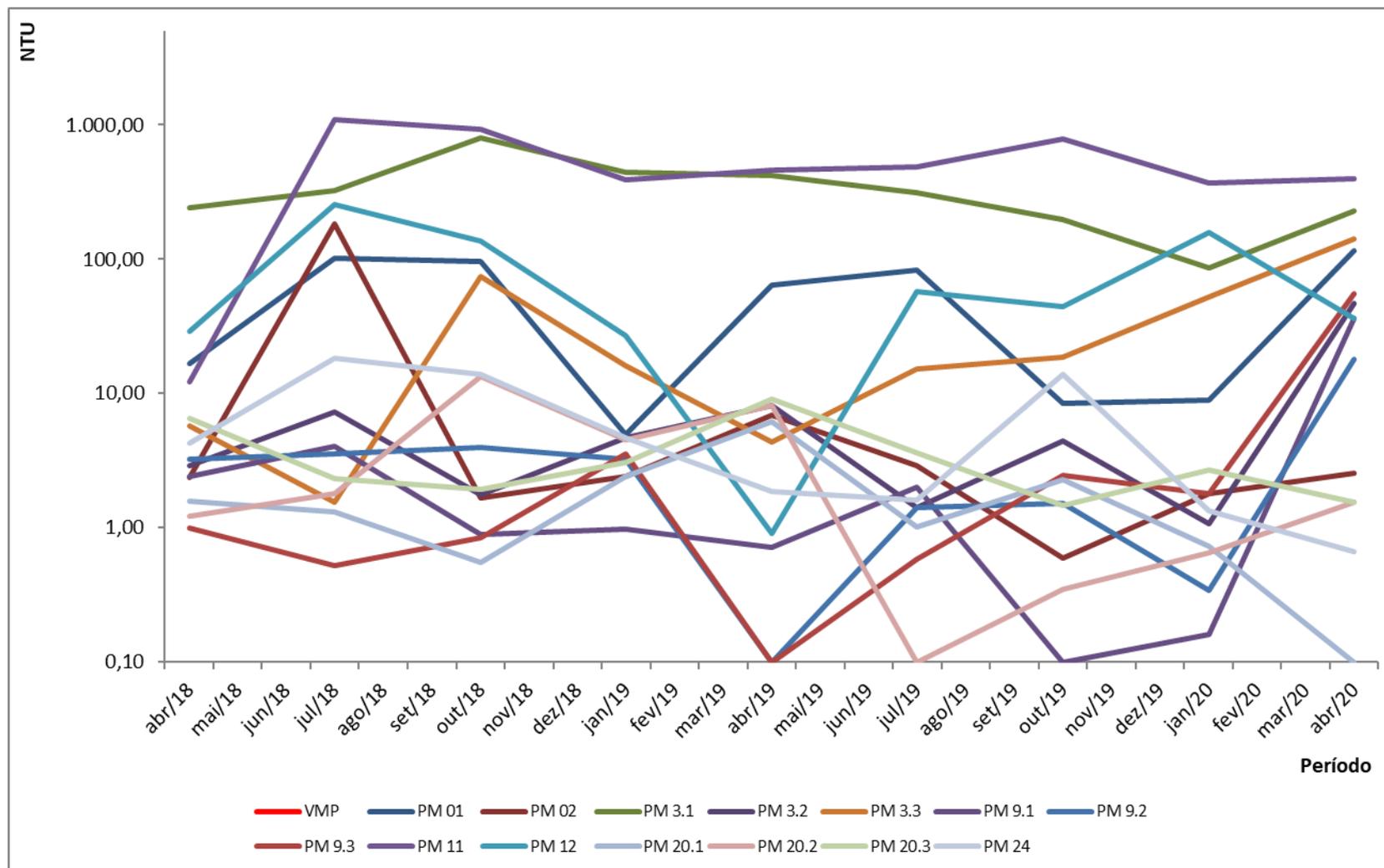
APÊNDICE F – Continuação gráfico pH



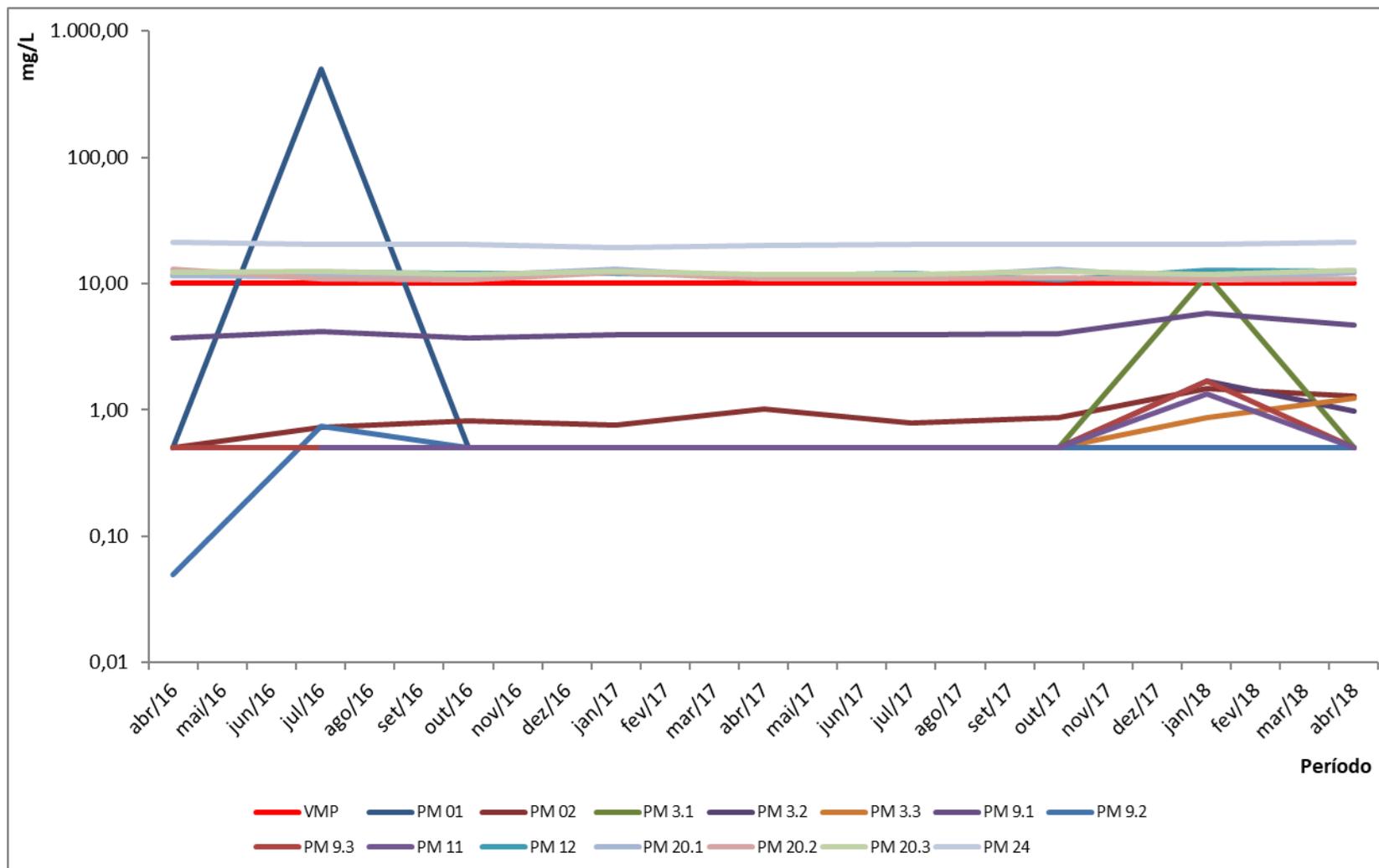
APÊNDICE G – Gráfico Turbidez



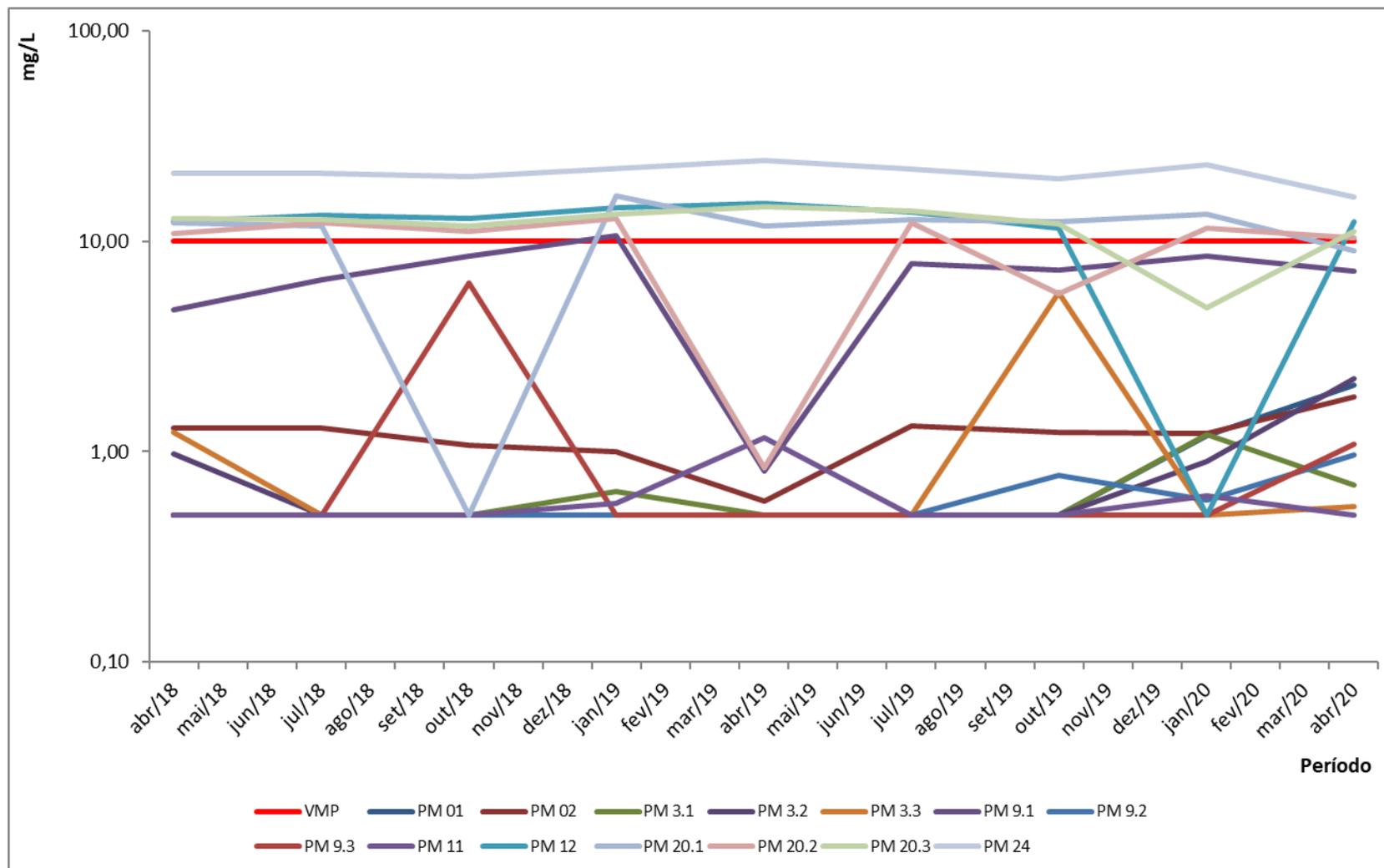
APÊNDICE H – Continuação gráfico Turbidez



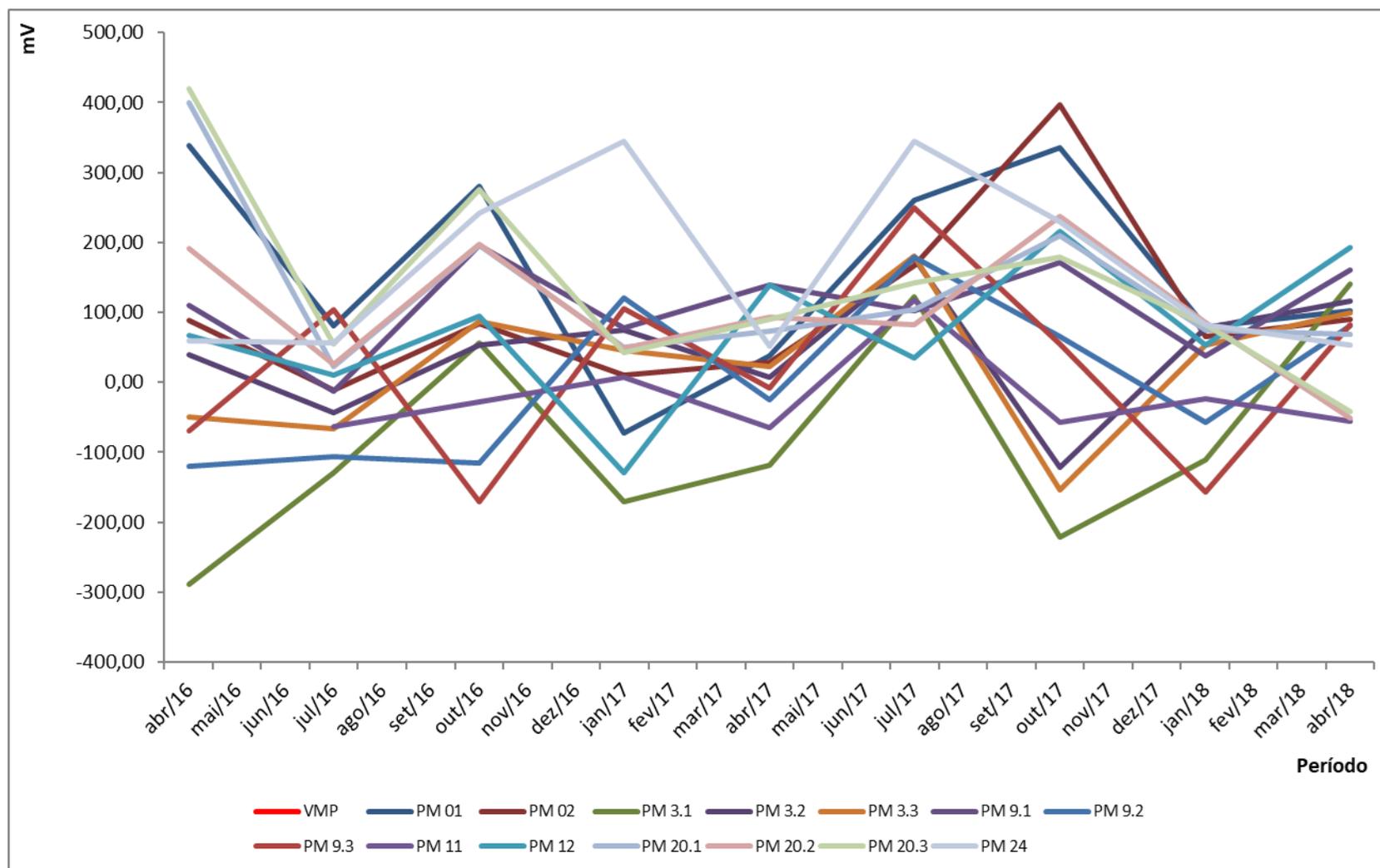
APÊNDICE I – Gráfico Nitrato



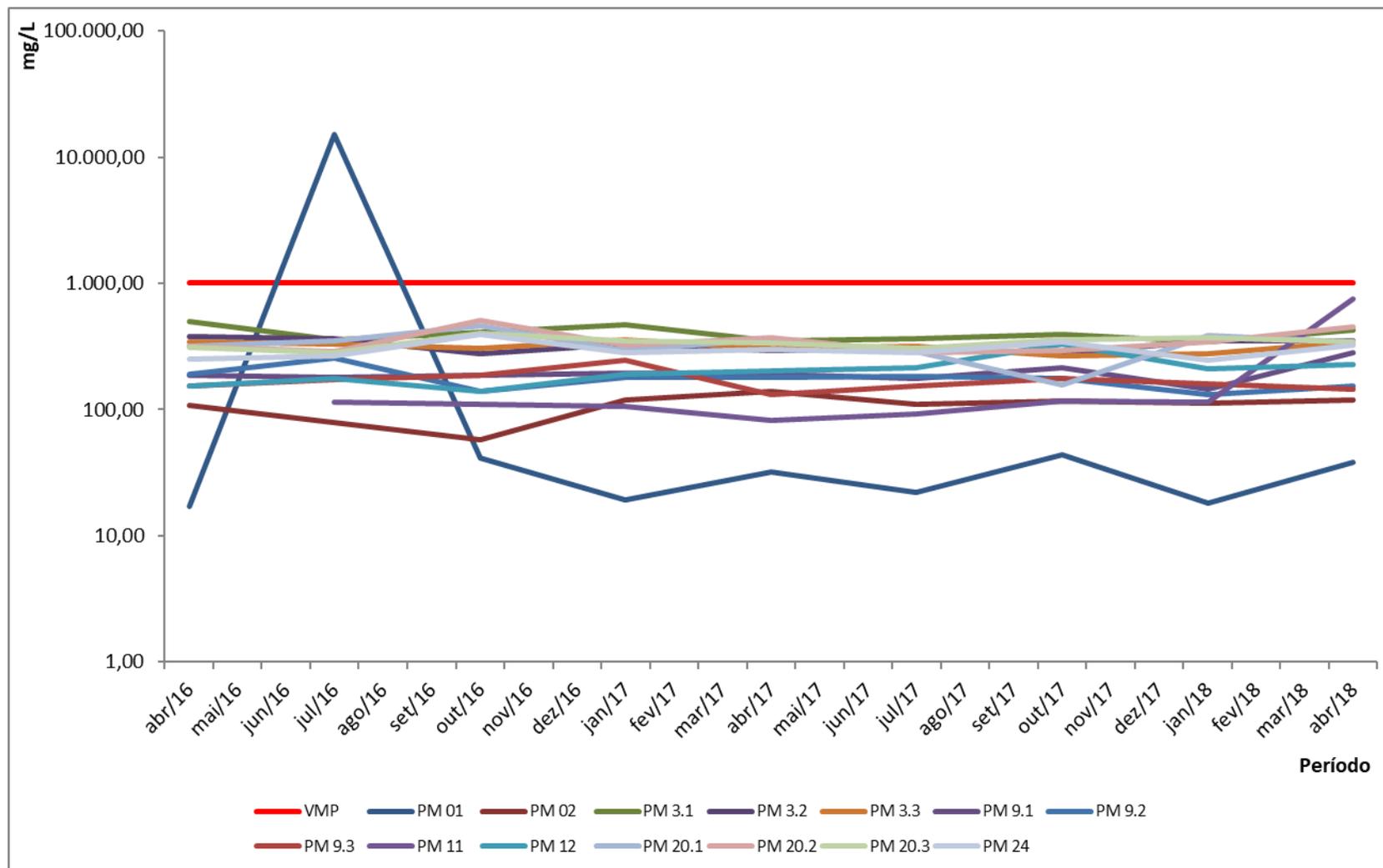
APÊNDICE J – Continuação gráfico Nitrato



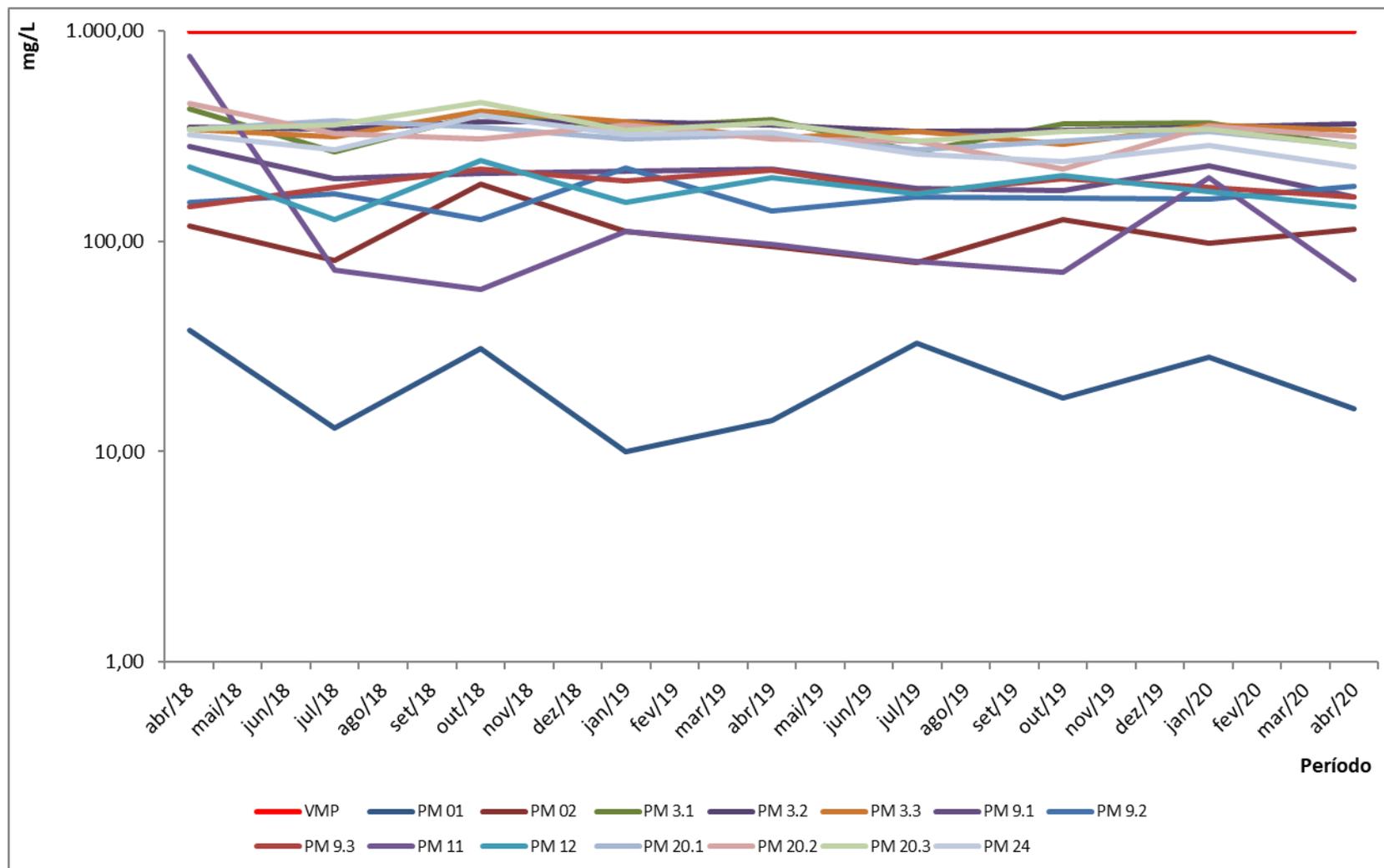
APÊNDICE M – Gráfico Potencial Redox



APÊNDICE O – Gráfico Sólidos Dissolvidos Totais



APÊNDICE P – Continuação gráfico Sólidos Dissolvidos Totais



APÊNDICE Q – Gráfico Nível d'Água

