

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS – *CAMPUS BAMBUI*
MESTRADO PROFISSIONAL EM SUSTENTABILIDADE E TECNOLOGIA
AMBIENTAL

Nathália Pereira de Jesus

**AVALIAÇÃO DA TRATABILIDADE DO CHORUME PRODUZIDO NO ATERRO
SANITÁRIO “MARCELO REIS ARANTES”, NO MUNICÍPIO DE FORMIGA – MG**

Bambuí

2021

NATHÁLIA PEREIRA DE JESUS

**AVALIAÇÃO DA TRATABILIDADE DO CHORUME PRODUZIDO NO ATERRO
SANITÁRIO “MARCELO REIS ARANTES”, NO MUNICÍPIO DE FORMIGA – MG**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *Campus* Bambuí, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestra em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

Linha de pesquisa: Tecnologia Ambiental

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Grazielle Wolff de Almeida Carvalho

Coorientador: Prof. Dr. Hygor Aristides Victor Rossoni

Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Sabrina Letícia Couto da Silva

Bambuí

2021



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Bambuí
Diretoria Geral
Diretoria de Pesquisa, Inovação e Pós-graduação
Seção de Pós-Graduação
Av. Professor Mário Werneck, 2590 - Bairro Bambuí - CEP 38535-100 - Belo Horizonte - MG
37343-1900 - www.ifmg.edu.br

PARECER Nº 23

FICHA DE APROVAÇÃO

Dissertação de Mestrado, intitulada “Avaliação da tratabilidade do chorume produzido no Aterro Sanitário Municipal Marcelo Reis Arantes, no município de Formiga”, de autoria da mesetranda em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, Nathália Pereira de Jesus, sob a orientação da professora Dra. Grazielle Wolff de Almeida Carvalho, e coorientadores Dr. Hygor Aristides Victor Rossoni e Dra. Sabrina Letícia Couto da Silva, foi aprovada pela Banca Examinadora de Defesa, em 17/12/2021, com a média de **91,0 pontos**.

A análise das correções finais da dissertação sugeridas pela Banca Examinadora será feita pela equipe de orientação (orientadora e coorientadores).

A Defesa Pública contou com a presença de Lorena Cristina dos Santos e Tainara Silveira Leal Chieri, que após a divulgação da defesa pela Secretaria do MPSTA manifestaram interesse em assisti-la, dessa forma houve os cadastros e a liberação do link de acesso a sala virtual.

Bambuí (MG), 17 de dezembro de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **Grazielle Wolff de Almeida Carvalho, Professora**, em 20/12/2021, às 13:45, conforme art. 1º, III, “b”, da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Hygor Aristides Victor Rossoni, Usuário Externo**, em 20/12/2021, às 14:16, conforme art. 1º, III, “b”, da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Aline dos Reis Souza, Usuário Externo**, em 21/12/2021, às 09:20, conforme art. 1º, III, “b”, da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Claudionor Camilo da Costa, Professor**, em 21/12/2021, às 10:17, conforme art. 1º, III, “b”, da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **SABRINA LETÍCIA COUTO DA SILVA, Usuário Externo**, em 24/12/2021, às 00:52, conforme art. 1º, III, “b”, da Lei 11.419/2006.

A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadoes> informando o código verificador **1043570** e o código CRC **773BE823**.

https://sei.ifmg.edu.br/sei/controlador.php?acao=procedimento_trabalharfacao_origem=protocolo_pesquisa_npt&id_protocolo=1146720&infr... 1/2



J58a Jesus, Nathália Pereira de.
Avaliação da tratabilidade do chorume produzido no aterro sanitário
“Marcelo Reis Arantes”, no município de Formiga – MG. / Nathália Pereira
de Jesus. – Bambuí, 2021.
123 f.: il.; color.

Orientadora: Prof.^a Dra. Grazielle Wolff de Almeida Carvalho.
Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Mestrado
Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, 2021.

1. Biodegradabilidade. 2. Compostos recalcitrantes. 3. Lixiviado. I.
Carvalho, Grazielle Wolff de Almeida. II. Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG. III. Título.

CDD 658.44564

BIOGRAFIA

Discente: Nathália Pereira de Jesus

Data de nascimento: 01/07/1985

Filiação: Jaime Caetano de Jesus (*in memorian*)

Maria de Lourdes Pereira

Naturalidade: Formiga

Estado: Minas Gerais

Informações Escolares:

Ensino Médio: Escola Estadual “Doutor Abílio Machado”

Curso Superior:

- Bacharelado em Engenharia Ambiental pelo Centro Universitário de Formiga – UNIFOR-MG (2006-2009). Título do trabalho de conclusão de curso: “Avaliação dos impactos ambientais no Morro Cavado em Formiga – MG dez anos após a desova do lixo da FIAT”. Orientadora: Prof^a. Dr^a. Valéria Peruca de Melo.
- Bacharelado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário de Formiga – UNIFOR-MG (2013-2016). Título do trabalho de conclusão de curso: “Estabilidade geotécnica de taludes de maciços de resíduos sólidos urbanos: estudo de caso do Aterro Sanitário Municipal de Formiga – MG”. Orientador: Prof. Dr. Tiago de Moraes Faria Novais.

Curso de Especialização:

- Lato Sensu: Gestão Ambiental Integrada pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais – PUC Minas (2011-2012). Título do trabalho de conclusão de curso: “Avaliação da contaminação de uma nascente no Morro Cavado em Formiga – MG, dez anos após a desova do lixo FIAT”. Orientador: Prof. Dr. Anaximandro Lourenço Azevedo Feres.

Experiência Profissional: Servidora pública do Município de Formiga - MG, atuou como Oficial Administrativo no período de abril de 2007 a agosto de 2011. Atuou como Assessora de Engenharia Ambiental na Prefeitura Municipal de Formiga no período de setembro de 2011 a outubro de 2016, sendo responsável técnica pela operação do Aterro Sanitário Municipal. Foi Supervisora de Obras Civas no período de novembro de 2017 a janeiro de 2019 na Prefeitura Municipal de Formiga. Ocupou o cargo de Assessora de Projetos de Engenharia e Fiscalização de janeiro de 2019 a agosto de 2021 na Prefeitura Municipal de Formiga. Presta consultoria nas áreas ambiental (desde 2010) e civil (desde 2017). Participa, desde dezembro de 2019, da Comissão Permanente de Licitação do Município de Formiga. Atua como membro do Conselho Municipal de Conservação e Defesa do Meio Ambiente. Atualmente, ocupa o cargo de Diretora de Obras e Trânsito na Prefeitura Municipal de Formiga, desde agosto de 2021.

A todos aqueles que acreditaram em mim e ajudaram
a transformar meus sonhos em realidade.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à origem da minha força e resiliência para continuar nos momentos difíceis, Deus.

À minha mãe, meu padrasto, meu irmão, minha tia pela compreensão e por todo apoio nesta jornada árdua.

À minha amada e saudosa avó Regina, minha segunda mãe, por todo amor dedicado a mim.

A todos os meus amigos, em especial Nanda e Balta e os “pimos” Déia, Dri e Fabinho, obrigada pelo amor incondicional, por todo carinho, amizade, compreensão e por sempre acreditarem em mim.

À minha orientadora, professora Grazielle Wolff de Almeida Carvalho. e aos meus coorientadores, professor Hygor Aristides Víctor Rossoni e professora Sabrina Letícia Couto da Silva, pela amizade, orientação, dedicação, compreensão, paciência, confiança, valiosas contribuições neste trabalho e conhecimentos a mim oferecidos.

Aos professores Claudionor Camilo Costa e Aline dos Reis Souza (membros da banca examinadora) pela disponibilidade em contribuir com nosso trabalho.

A todos os professores e funcionários do Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do IFMG, por toda dedicação e ensinamentos.

Às amigas conquistadas durante o mestrado, obrigada pelas risadas e momentos únicos.

À Prefeitura Municipal de Formiga, por meio da Secretaria Municipal de Gestão Ambiental, e ao engenheiro Felipe Basílio Nunes, por todo apoio e repasse de informações sobre o Aterro Sanitário Municipal “Marcelo Reis Arantes”.

“O que nós estamos fazendo com as florestas do mundo nada mais é que um reflexo do que fazemos com nós mesmos.”

Chris Maser

RESUMO

Devido ao fato de o chorume ter compostos orgânicos e inorgânicos com características biodegradáveis e recalcitrantes, composição física, química e biológica complexa e variável, requer um tratamento adequado e que seja condizente com suas características, sendo que propostas de tratamento que utilizam apenas processos biológicos podem não ser eficientes, necessitando da combinação de processos físico-químicos. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a evolução da tratabilidade do chorume produzido no Aterro Sanitário Municipal “Marcelo Reis Arantes”, no município de Formiga – MG, no período de 2010 a 2020, bem como realizar a proposição de métodos físico-químicos de pós-tratamento para esse chorume. O aterro sanitário foi inaugurado em 2009 e tem vida útil de 21 anos, sendo que o mesmo está localizado na comunidade rural de Serrinha, a aproximadamente 8 km do centro do município. Por meio da revisão sistemática, foram analisados vários estudos que utilizaram processos físico-químicos para tratamento de chorume, os quais apresentam compostos recalcitrantes, com resultados positivos e negativos oriundos das aplicações das técnicas. Realizou-se a caracterização quali-quantitativa e temporal do chorume produzido no Aterro Sanitário Municipal “Marcelo Reis Arantes”, no município de Formiga – MG, visando avaliar a evolução da tratabilidade ao longo dos 11 anos de operação desse aterro sanitário. Após a aplicação de análises estatísticas, observou-se que as variáveis DBO e DQO (saída) apresentaram aumentos significativos ao longo dos anos e que, apesar de o sistema estar apresentando eficiência de remoção de tais variáveis, a partir de 2015 e 2011, respectivamente, não conseguiu mais reduzir as concentrações de DBO e DQO e atender à legislação ambiental. Foi evidenciado que está ocorrendo o decaimento da eficiência do sistema de tratamento existente. Dessa forma, recomendou-se a construção do 2º Módulo de Tratamento de Chorume e também a adoção de processos físico-químicos em seu tratamento. A relação DQO/DBO, na maioria dos anos, esteve maior ou igual a 3,0, indicando que o chorume já requer cuidado na escolha do processo biológico para seu tratamento, entretanto o chorume já apresenta uma tendência de caminhar para uma relação maior do que 5,0. Por fim, o trabalho resultou em um produto técnico, uma planilha dinâmica com a finalidade de organizar o banco de dados do aterro sanitário, realizar o monitoramento ambiental e possibilitar o acompanhamento da evolução ao longo dos anos do tratamento do chorume e das condições do corpo hídrico receptor.

Palavras-chave: Biodegradabilidade. Compostos recalcitrantes. Lixiviado. Tratamento biológico e físico-químico.

ABSTRACT

Due to the fact that the slurry has organic and inorganic compounds with biodegradable and recalcitrant characteristics, complex and variable physical, chemical and biological composition, it requires an appropriate treatment that is consistent with its characteristics, and treatment proposals that use only biological processes may not be efficient, requiring the combination of physical and chemical processes. In this context, this study aims to evaluate the evolution of the treatability of slurry produced at the Municipal Landfill "Marcelo Reis Arantes", in the city of Formiga - MG, from 2010 to 2020, as well as to propose physical-chemical post-treatment methods for this slurry. The landfill was inaugurated in 2009 and has a useful life of 21 years, and it is located in the rural community of Serrinha, approximately 8 km from the city center. By means of a systematic review, several studies were analyzed that used physical-chemical processes for the treatment of leachate that presents recalcitrant compounds, presenting the positive and negative results from the application of the techniques. A qualitative, quantitative and temporal characterization of the slurry produced at the Municipal Landfill "Marcelo Reis Arantes", in the city of Formiga - MG, was performed in order to assess the evolution of treatability over the 11 years of operation of this landfill. After applying statistical analysis, it was observed that the variables BOD and COD (output) showed significant increases over the years and that although the system is presenting efficiency of removal of such variables, from 2015 and 2011, respectively, it could no longer reduce the concentrations of BOD and COD and meet environmental legislation. It was evidenced that the efficiency of the existing treatment system is decreasing. Thus, it was recommended the construction of the 2nd Slurry Treatment Module and also the adoption of physical-chemical processes in its treatment. The COD/DBO ratio in most years was greater than or equal to 3.0, indicating that the slurry already requires care in the choice of biological process for its treatment, however, the slurry already shows a tendency to be heading towards a ratio greater than 5.0. Finally, the work resulted in a technical product, a dynamic spreadsheet with the purpose of organizing the database of the landfill, performing environmental monitoring and enabling the monitoring of the evolution over the years of the slurry treatment and the conditions of the receiving water body.

Keywords: Biodegradability. Recalcitrant compounds. Leachate. Biological and physical-chemical treatment.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização do município de Formiga no Estado de Minas Gerais	25
Figura 2 – Principais acessos ao município de Formiga e localização do Aterro Sanitário Municipal “Marcelo Reis Arantes”	26
Figura 3 – Planta geral do Aterro Sanitário Municipal de Formiga – MG “Marcelo Reis Arantes”	29
Figura 4 – Seta indicando a primeira plataforma do Aterro Sanitário de Formiga –MG “Marcelo Reis Arantes”	30
Figura 5 – Linha vermelha delimitando a área da terceira plataforma.....	31
Figura 6 – Drenagem de chorume e impermeabilização com geomembrana de PEAD na terceira plataforma	31
Figura 7 – Planta baixa do tratamento de chorume do Aterro Sanitário Municipal de Formiga – MG “Marcelo Reis Arantes”	34
Figura 8 – Detalhe da entrada do chorume na 1ª lagoa anaeróbia. Seta indicando a tubulação de chegada do chorume	35
Figura 9 – Detalhe da saída do efluente da lagoa facultativa.....	35
Figura 10 – Vista geral do 1º Módulo de Tratamento de Chorume	36
Figura 11 – Lagoa anaeróbia com capacidade para 205,00 m ³ e profundidade de 4 metros	37
Figura 12 – Lagoa facultativa com capacidade para 1.940 m ³ e profundidade de 2 metros	37
Figura 13 – Escada de aeração	38

CAPÍTULO I

Figura 14 – Critérios de seleção e exclusão dos estudos	46
Quadro 1 – Palavras-chave em português e inglês utilizadas como estratégia de busca	46
Figura 15 – Fluxograma da informação com as diferentes fases de uma revisão sistemática, conforme a recomendação de Prisma.....	48
Quadro 2 – Síntese das informações relativas aos artigos incluídos na revisão sistemática por ordem crescente de número de citações	50

CAPÍTULO II

Quadro 3 – Coeficientes de Correlação de Spearman	84
Quadro 4 – Comparação dos valores medianos das variáveis observadas – entrada x saída (anos 2010 a 2020)	87
Quadro 5 – Comparação de medianas entre os anos de coleta – 2010 a 2020.....	88
Gráfico 1A – Distribuição temporal das medianas da variável DBO saída nos anos de 2010 a 2020.	89
Gráfico 1B – Distribuição temporal das medianas da variável eficiência de remoção de DBO nos anos de 2010 a 2020.	90
Gráfico 1C – Distribuição temporal das medianas da variável eficiência de remoção de DBO nos anos de 2010 a 2020.	90
Gráfico 1D – Distribuição temporal das medianas da variável eficiência de remoção de DQO nos anos de 2010 a 2020.....	91
Gráfico 2 – Distribuição temporal das medianas da variável relação DQO e DBO nos anos de 2010 a 2020.....	95

CAPÍTULO III

Figura 16 – Capa da Planilha	114
Figura 17 – Visualização de uma parte do layout da Aba “Dicionário”	114
Figura 18 – Visualização de uma parte do layout da Aba “Valores referências chorume”	115
Figura 19 – Visualização de uma parte do layout da Aba “Valores referências corpo hídrico receptor”	115
Figura 20 – Visualização de uma parte do layout da Aba “Banco de dados (BD)”	116
Figura 21 – Visualização de uma parte do layout da Aba “Dados_ Coleta”	116
Figura 22 – Visualização da Aba “Instruções”	117
Figura 23 – Visualização de uma parte do layout do “Dashboard”	117
Figura 24 – Visualização de uma parte do layout do “Dashboard”	118

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela 1 – Programa de Monitoramento para efluentes de aterros sanitários.....	78
Tabela 2 – Estatísticas descritivas das variáveis observadas no período 2010 a 2020	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA – Área de Preservação Ambiental
APP – Área de Preservação Permanente
ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CI – Carbono Inorgânico
COD – Carbono Orgânico Dissolvido
CODEMA – Conselho Municipal de Conservação e Defesa do Meio Ambiente
COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental
COT – Carbono Orgânico Total
CT – Carbono Total
DBO₅ – Demanda Bioquímica de Oxigênio
DIMOG – Divisão de Monitoramento e Geoprocessamento
DN – Deliberação Normativa
DP – Desvio Padrão
DQO – Demanda Química de Oxigênio
ETA – Estação de Tratamento de Água
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto
FEAM – Fundação Estadual de Meio Ambiente
GMR – Gradiente de Velocidade de Mistura Rápida
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFMG – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
LO – Licença de Operação
PCA – Plano de Controle Ambiental
PEAD – Polietileno de Alta Densidade
PET – Material Termoplástico
PMSB – Plano Municipal de Saneamento Básico
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
POA – Processo Oxidativo Avançado
PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
PVC – Policloreto de Vinila

RCA – Relatório de Controle Ambiental

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SCIELO – Scientific Electronic Library Online

SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento

SST – Sólidos Suspensos Totais

SSV – Sólidos Suspensos Voláteis

STV – Sólidos Totais Voláteis

SUPRAM/ASF – Superintendência Regional de Meio Ambiente do Alto São Francisco

TDH – Tempo de Detenção Hidráulica

UTC – Usina de Triagem e Compostagem

UV – Ultravioleta

VMP – Valor Mais Provável

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.....	17
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	19
1.1 Relevância do tema e justificativas.....	21
1.2 Caracterização do problema de pesquisa e hipóteses	23
2 OBJETIVOS.....	24
2.1 Geral.....	24
2.2 Específicos	24
3 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	25
REFERÊNCIAS	39
CAPÍTULO I – TRATAMENTO DE CHORUME EM ATERROS SANITÁRIOS 42	
UTILIZANDO PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS: uma revisão sistemática de literatura.....	
RESUMO.....	43
1INTRODUÇÃO.....	44
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	45
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68
REFERÊNCIAS.....	70
CAPÍTULO II – CARACTERIZAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA E TEMPORAL DO 74	
CHORUME PRODUZIDO NO ATERRO SANITÁRIO MUNICIPAL DE FORMIGA – MG	
RESUMO.....	75
1 INTRODUÇÃO.....	76
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	77
2.1 Análises estatísticas.....	79
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	81
3.1 Panorama geral das características do chorume tratado ao longo de 11 anos... 81	
3.2 Eficiência da biodegradabilidade do sistema.....	89
3.2.1 Saída DBO e DQO e eficiência de remoção de DBO e DQO	89
3.2.2 Relação DQO/DBO.....	94

3.3 Dificuldades encontradas.....	96
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	98
REFERÊNCIAS	100
CAPÍTULO III – PRODUTO TÉCNICO E TECNOLÓGICO.....	104
1 APRESENTAÇÃO DO PRODUTO TÉCNICO E TECNOLÓGICO.....	105
1.1 Finalidade do produto técnico e tecnológico.....	105
1.2 Aplicabilidade.....	105
1.3 Capacidade de reprodução para demais situações.....	106
1.4 Público-alvo.....	106
1.5 Conexão com a pesquisa.....	107
1.6 Inovação.....	107
1.7 Interesse social.....	107
2 PLANILHA ELETRÔNICA DINÂMICA – AUTOMONITORAMENTO DO ATERRO SANITÁRIO MUNICIPAL “MARCELO REIS ARANTES”	108
2.1 Passo a passo para utilização da planilha eletrônica dinâmica.....	110
2.1.1 Aba “Dicionário”.....	111
2.1.2 Aba “Valores referência chorume”	111
2.1.3 Aba “Valores referência corpo hídrico receptor”	111
2.1.4 Aba “Dados Coleta”	111
2.1.5 Aba “Banco de dados (BD)”.....	112
2.1.6 Atualização da planilha.....	112
2.1.7 Dashboard.....	113
3 RESULTADOS.....	113
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	118
REFERÊNCIAS	120
ANEXOS.....	121

APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

A dissertação intitulada “Avaliação da tratabilidade do chorume produzido no Aterro Sanitário ‘Marcelo Reis Arantes’, do município de Formiga – MG”, apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais (IFMG), *campus* Bambuí, está vinculada à linha de pesquisa Tecnologia Ambiental, sendo um dos requisitos para obtenção do título de Mestra em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

O estudo tem como objetivo avaliar a evolução da tratabilidade do chorume produzido no Aterro Sanitário “Marcelo Reis Arantes”, no município de Formiga – MG, no período de 2010 a 2020.

Inicialmente, a estrutura do trabalho conta com introdução geral, que versa sobre a problemática dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, bem como as características do chorume. A relevância do tema, justificativas, a caracterização do problema de pesquisa e hipóteses são apresentadas na sequência, sendo essa primeira parte finalizada com a apresentação dos objetivos geral e específicos do trabalho.

Em seguida, a caracterização do objeto de estudo traz uma breve descrição sobre o município de Formiga, acompanhada de informações e dados técnicos relativos à coleta e manejo de resíduos sólidos urbanos (RSU) e do aterro sanitário, como sua localização, vida útil, infraestrutura e metodologia construtiva empregada.

A partir desse tópico, o trabalho foi organizado em capítulos, que representam os objetivos específicos do estudo. Dessa forma, cada capítulo apresenta seus objetivos e metodologias específicas.

O capítulo I, denominado “Tratamento de chorume em aterros sanitários utilizando processos físico-químicos: uma revisão sistemática de literatura”, teve como objetivo analisar estudos sobre tratamento de chorume, utilizando processos físico-químicos para aumentar a biodegradabilidade desse efluente, bem como a remoção de substâncias recalcitrantes do mesmo, além de reunir conhecimento técnico acerca do assunto, por meio da revisão sistemática de literatura.

Intitulado como “Caracterização temporal quali-quantitativa do chorume produzido no Aterro Sanitário Municipal ‘Marcelo Reis Arantes’ de Formiga – MG”, o capítulo II apresenta uma discussão aprofundada da análise das características quali-

quantitativa dessas águas residuárias, visando avaliar a evolução da sua tratabilidade ao longo dos 11 anos de operação desse aterro sanitário.

O produto técnico é apresentado no capítulo III, o qual trata-se da elaboração de uma planilha dinâmica, para fins de organização do banco de dados relativo ao tratamento de chorume e ao corpo hídrico receptor (atual e futuro), visando facilitar o monitoramento ambiental do Aterro Sanitário Municipal de Formiga, bem como acompanhar a evolução, ao longo dos anos, do tratamento do chorume e qualidade do curso d'água que recebe o lançamento do lixiviado.

1 INTRODUÇÃO GERAL

De acordo com Castilhos Júnior, Dalsasso e Rohers (2010), Bou *et al.* (2018) e Gomes e Shoenell (2018), nas últimas décadas, o Brasil vivenciou um acréscimo expressivo da industrialização, urbanização e de sua economia, o que, aliado ao crescimento do consumismo, causou vários problemas ambientais, em especial, o aumento na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU).

Segundo informações contidas no Diagnóstico de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos, tendo como base o ano de 2019, do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), estima-se que foram coletados, no país, 65,11 milhões de toneladas de RSU, ou seja, 178,40 mil toneladas por dia, sendo o indicador médio de geração per capita de 0,99 kg/hab./dia. O documento informa ainda que houve um aumento de 3,70% na estimativa de resíduos coletados no ano de 2019 (65,11 milhões de toneladas) quando comparado ao montante de 62,78 milhões de toneladas coletadas em 2018 (BRASIL, 2020).

Com relação à destinação, o Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil, elaborado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), informa que, no ano de 2019, 59,50% dos municípios destinavam seus resíduos para aterros sanitários, 23% para aterros controlados e 17,50% para lixões, ou seja, 40,50% dos municípios estão destinando seus resíduos de forma incorreta. Informa ainda que, de uma amostra de 5.570 municípios, 73,10% realizam algum tipo de coleta seletiva e que 26,90% não têm iniciativas de coleta seletiva (ABRELPE, 2020).

No Brasil, conforme relatam Castilhos Júnior, Dalsasso e Rohers (2010), existem muitos problemas decorrentes do gerenciamento de RSU, embora haja o emprego de técnicas de tratamento e valorização dos resíduos. Nesse sentido, Bou *et al.* (2018) explicam que administrar tais resíduos tem sido complicado e exige muitos esforços dos gestores devido ao crescimento contínuo da geração de RSU, os quais também precisam cumprir as condições de gestão preconizadas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Dessa forma, e ainda em atendimento à PNRS, verifica-se o aumento do número de aterros sanitários no país, especialmente nas regiões metropolitanas e em municípios de grande porte, desafiando os gestores a cumprirem a legislação ambiental vigente tanto para RSU quanto para lançamentos de efluentes líquidos e

gasosos oriundos das atividades desenvolvidas pelos setores públicos e privados (BOU *et al.*, 2018).

O gerenciamento e destinação final inadequados desses resíduos podem provocar impactos ambientais, como, por exemplo, poluição do ar, do solo e das águas, proliferação de vetores e agentes patogênicos, dentre outros, e, também, impactos sociais, como surgimento de colaboradores (catadores de materiais), acúmulo em vias públicas, dentre outros (PEREIRA, 2011; RIBEIRO, BUSS; MENEZES, 2015).

De acordo com Fujii *et al.* (2019), no Brasil, os aterros sanitários têm sido considerados como o método de manejo mais empregado e aceito para a disposição dos resíduos sólidos urbanos, devido ao fato de o país ter uma extensa área territorial e condições climáticas favoráveis.

Os aterros sanitários são projetados com o objetivo de reduzir os impactos ambientais causados pela disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos. Devem ser construídos utilizando princípios de engenharia, adotando normas tanto para a sua implantação, planejamento e operação, visando reduzir problemas ambientais relacionados à degradação do meio ambiente, diminuição de riscos à saúde pública e garantia de qualidade de vida à população atendida pelo serviço (RIBEIRO; BUSS; MENEZES, 2015).

Pereira *et al.* (2018) explicam que o gerenciamento dos resíduos não termina quando os mesmos são depositados em aterros sanitários. Apesar de a disposição em aterros sanitários apresentar vantagens, são gerados subprodutos a partir da degradação física, química e biológica dos resíduos aterrados, como chorume e gases, os quais podem ser nocivos ao meio ambiente (FELICI *et al.*, 2013; FUJII *et al.*, 2019).

Essa geração de chorume, conforme explicam Pereira *et al.* (2018), é um dos fatores que devem ser gerenciados e monitorados em um aterro sanitário. Dessa forma, a produção de chorume e o seu tratamento são considerados um dos grandes problemas no gerenciamento de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, uma vez que a produção de chorume é influenciada por fatores ambientais e de operação do aterro e devido ao fato de o efluente ter elevado potencial poluidor e características

biodegradáveis e recalcitrantes¹ (FELICI *et al.*, 2013; RIBEIRO; BUSS; MENEZES, 2015; GOMES; SHOENELL, 2018).

Segundo Castilhos Júnior, Dalsasso e Rohers (2010), o chorume é um líquido resultante dos produtos de degradação biológica e físico-química dos resíduos sólidos urbanos depositados em aterros sanitários. O chorume é formado por compostos orgânicos e inorgânicos com características biodegradáveis e recalcitrantes, os quais são resistentes à biodegradação, persistem e acumulam no ambiente (FELICI *et al.*, 2013; GOMES; SHOENELL, 2018). De forma geral, as características do chorume são altas concentrações de matéria orgânica, compostos inorgânicos e orgânicos recalcitrantes, como os ácidos fúlvicos e húmicos, além de nitrogênio amoniacal (CASTILHOS JÚNIOR; DALSSASSO; ROHERS, 2010; FELICI *et al.*, 2013).

Sua composição físico-química é complexa e muito variável, além disso, depende de diversos fatores, como: tipo de resíduo depositado, tempo de disposição do resíduo, forma de operação do aterro, pluviosidade, condições geológicas locais, dentre outros (CARVALHO *et al.*, 2018).

O tratamento mais comumente utilizado para o chorume é o biológico. Entretanto, devido ao fato de sua composição física e química apresentar complexidade e variabilidade, faz-se necessária a inclusão de processos físico-químicos ao tratamento biológico proposto para o chorume (RIBEIRO; BUSS; MENEZES, 2015).

1.1 Relevância do tema e justificativas

Devido ao fato de o chorume ter alta concentração de compostos orgânicos e inorgânicos de baixa biodegradabilidade e recalcitrantes, elevado potencial poluidor e que, com o passar dos anos, ocorre uma diminuição significativa de sua biodegradabilidade, a utilização de apenas processos biológicos no seu tratamento não é suficiente para alcançar os níveis de eficiência desejados, além de atendimento aos padrões de lançamento de efluentes e de enquadramento dos corpos receptores. Desse modo, o chorume pode causar impactos ambientais gravíssimos, quando disposto sem um tratamento adequado e eficiente (SÁ; JUCÁ; MOTTA SOBRINHO, 2012; FELICI *et al.*, 2013; GOMES; SHOENELL, 2018).

¹ Recalcitrante: de difícil degradação, persistente, bioacumulativo.

Segundo Fujii *et al.* (2019), as legislações ambientais, buscando garantir a qualidade de vida da população e a preservação ambiental, estão restringindo cada vez mais os padrões de lançamento de efluentes e enquadramento de cursos d'água, demandando a utilização de sistema eficiente para o tratamento do chorume.

Pelo fato de o chorume apresentar uma composição complexa e muito variável, tem-se a necessidade de utilizar em seu tratamento processos combinados (biológicos e físico-químicos) para viabilizar a redução de sua carga de poluentes (GOMES; SHOENELL, 2018).

Com base nisso, a pesquisa visa avaliar a evolução da tratabilidade do chorume produzido no Aterro Sanitário Municipal de Formiga – MG “Marcelo Reis Arantes” (AS-MRA), no período de 2010 a 2020, ou seja, avaliar se, nesse período de tempo, está ocorrendo ou não a diminuição da biodegradabilidade desse chorume, bem como a proposição de métodos físico-químicos de pós-tratamento para tal chorume.

O Aterro Sanitário Municipal de Formiga – MG “Marcelo Reis Arantes” foi inaugurado em agosto de 2009, sendo que seu programa de monitoramento do chorume foi iniciado em março de 2010. O AS-MRA encontra-se em pleno funcionamento, estando em operação a terceira plataforma para disposição de resíduos sólidos.

O período de estudo compreende os anos de 2010 a 2020, sendo que a escolha do mesmo se justifica devido ao fato de tal período retratar o início do monitoramento do chorume (março/2010) até 11 anos de operação do AS-MRA (dezembro de 2020), objetivando verificar se, durante esse tempo, está ocorrendo a diminuição da biodegradabilidade do chorume.

Nesse contexto, a pesquisa torna-se relevante pelas contribuições que o estudo trará para o entendimento do comportamento desse chorume ao longo do tempo de aterramento do maciço de resíduos, bem como a avaliação do seu potencial poluidor, por meio da sua caracterização física, química e biológica. Outro fator motivante ao estudo é, após conhecer e entender o comportamento e as características biológicas, físicas e químicas do chorume, sugerir tecnologias para adequação do tratamento, bem como o aumento de sua eficiência, visando à mitigação de impactos ambientais inerentes ao lançamento de efluente.

Outro ponto importante é que a pesquisa gerará um produto técnico, visando organizar o banco de dados relativo ao tratamento de chorume e ao corpo hídrico receptor (atual e futuro), uma ferramenta para auxiliar no monitoramento ambiental do

Aterro Sanitário Municipal de Formiga – MG “Marcelo Reis Arantes”, bem como acompanhar a evolução, ao longo dos anos, do tratamento do chorume e da qualidade do curso d’água que recebe o lançamento do lixiviado.

1.2 Caracterização do problema de pesquisa e hipóteses

O problema de pesquisa aborda a tratabilidade do chorume do Aterro Sanitário Municipal de Formiga – MG “Marcelo Reis Arantes” e o tratamento proposto para esse efluente. Para tanto, a pesquisa tem as seguintes perguntas norteadoras: o tratamento proposto para o chorume do AS-MRA é eficiente? Esse chorume apresenta diminuição na sua biodegradabilidade?

Por meio de embasamento teórico, as hipóteses levantadas para este estudo, visando responder às questões são:

- H0 – O tratamento biológico é eficiente e, ao longo dos 11 anos de operação do aterro sanitário, não ocorreu a redução da biodegradabilidade do chorume, não havendo a necessidade de pós-tratamento físico-químico.
- H1 – O tratamento biológico não é eficiente e está ocorrendo a diminuição da biodegradabilidade desse chorume ao longo do tempo.

Dessa forma, a análise temporal das variáveis biológicas, físicas e químicas levantadas ao longo do monitoramento desse chorume poderão confirmar a redução da eficiência do tratamento proposto.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar a evolução da tratabilidade do chorume produzido no Aterro Sanitário Municipal “Marcelo Reis Arantes”, no município de Formiga – MG, no período de 2010 a 2020.

2.2 Específicos

Para tanto, tornou-se necessário o estabelecimento dos seguintes objetivos específicos:

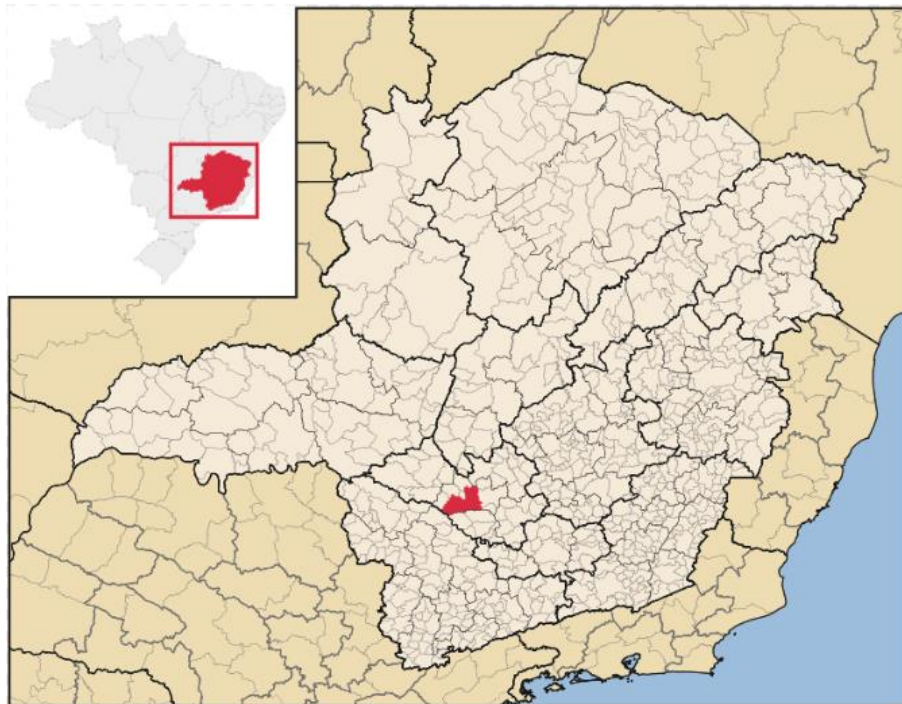
- Elaborar uma revisão sistemática de literatura abordando o tratamento de chorume utilizando processos físico-químicos;
- Realizar a caracterização quali-quantitativa temporal do chorume produzido no AS-MRA, a fim de verificar se a diminuição da biodegradabilidade do efluente está ocorrendo ao longo dos anos (no período de 2010 a 2020);
- Elaborar uma planilha dinâmica para organizar o banco de dados (atual e futuro) relativo ao tratamento de chorume e ao corpo hídrico receptor e para a realização do monitoramento ambiental das variáveis contidas nesse banco de dados, possibilitando o acompanhamento da evolução ao longo dos anos do tratamento do chorume e da qualidade do corpo hídrico receptor.

3 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), o município de Formiga tem uma área de 1.501,915 km² e está localizado no Centro-Oeste de Minas Gerais, sob as coordenadas geográficas 20°27'42" S e 45°25'58" O. O município está inserido nas bacias hidrográficas do Rio Grande (GD3) e do Rio São Francisco (SF1), sendo seus principais rios denominados Mata Caval, Formiga e Pouso Alegre. O clima é tropical com temperatura média anual de 21,80°C e duas estações bem definidas (FORMIGA, 2016).

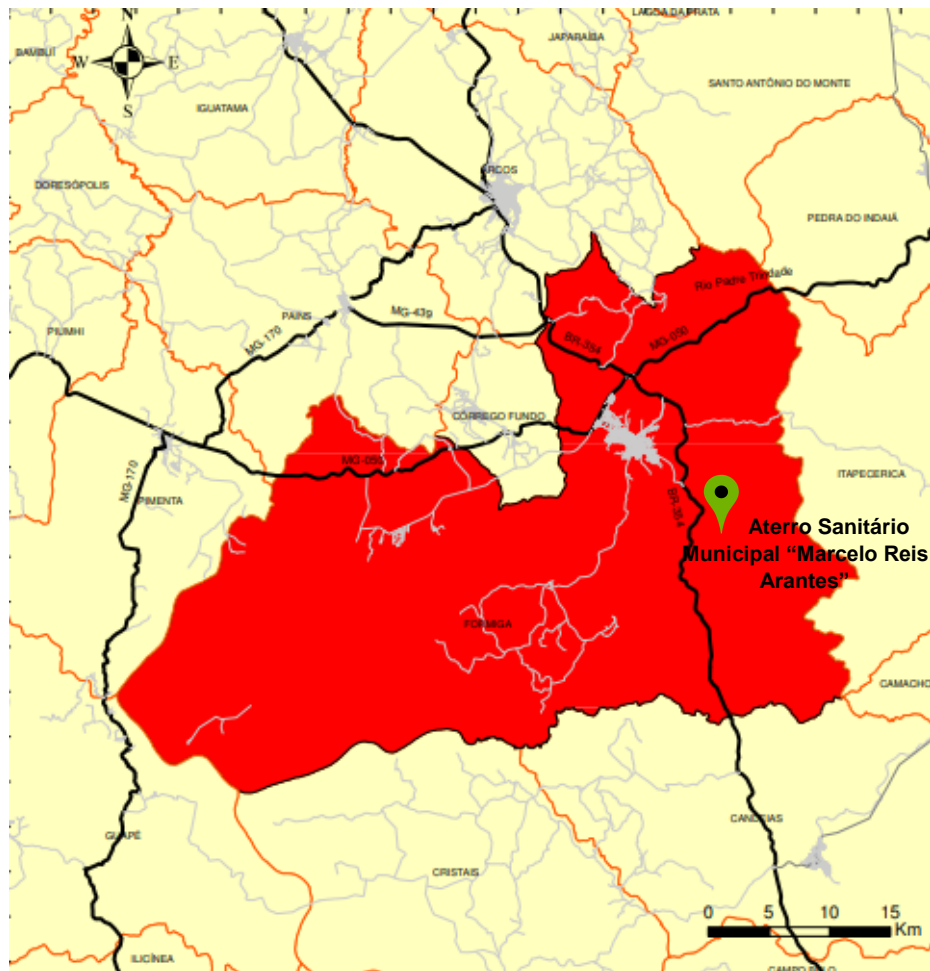
Na Figura 1, é destacada a localização do município de Formiga, enquanto os principais acessos à cidade e a localização do aterro sanitário podem ser visualizados por meio da Figura 2.

Figura 1 – Localização do município de Formiga no estado de Minas Gerais



Fonte: ABREU, 2006.

Figura 2 – Principais acessos ao município de Formiga e localização do Aterro Sanitário Municipal “Marcelo Reis Arantes”



Fonte: FORMIGA (PMSB), 2016.

O município tem uma população estimada, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), de 67.956 habitantes (IBGE, 2021). De acordo com o PMSB, os formiguenses são atendidos pelos serviços de gerenciamento de RSU (sendo a taxa de cobertura na zona urbana de 100% e na rural 91,34%), que referem-se à coleta, ao transporte e à destinação final do resíduo, sendo a usina de triagem para os materiais recicláveis e o aterro sanitário para resíduos orgânicos e rejeitos, visto que o município não tem usina de compostagem (BRASIL, 2020; FORMIGA, 2016).

Como estratégia de manejo e gerenciamento dos RSU, o município de Formiga – MG estabeleceu rotas distintas para a coleta de resíduos úmidos e secos, sendo os mesmos coletados em dias alternados. A coleta de resíduos úmidos é do tipo convencional e é realizada pela Secretaria Municipal de Gestão Ambiental. Já a coleta

de resíduos secos é do tipo seletiva porta a porta e é executada em parceria com uma associação de catadores. A coleta seletiva é realizada apenas na área urbana, enquanto que a convencional (resíduos úmidos) abrange as áreas urbana e rural.

Com relação aos RSU encaminhados para o AS-MRA, os quais são provenientes de todo o território municipal, foi realizada sua caracterização por meio da composição gravimétrica ou composição física, a qual retrata a porcentagem de cada componente em relação ao peso total da amostra de resíduos analisada (REZENDE *et al.*, 2013). Analisando tal composição, verifica-se que há um predomínio da fração de matéria orgânica² (55,21%), a fração de rejeitos³ corresponde a 22,57% e, ainda, os componentes considerados recicláveis⁴, que representam um percentual de 22,22%. Para os resíduos provenientes da coleta convencional (os resíduos úmidos), não é realizada a separação da fração orgânica e do rejeito, sendo que ambos são encaminhados para o aterro sanitário. Entretanto todo material orgânico deve ser destinado para a compostagem e somente o rejeito para o aterro sanitário. De acordo com a Lei nº 12.305/2010 (Política Nacional de Resíduos Sólidos), o rejeito é o único elemento dos RSU que deve ser destinado para aterro sanitário (BRASIL, 2010; FORMIGA, 2016).

Segundo informações da Secretaria Municipal de Gestão Ambiental, do montante de resíduos sólidos urbanos gerados e coletados no município no ano de 2020, o percentual médio de resíduos reciclados foi de apenas 3,49%.

Como solução para o tratamento e destinação final dos RSU, o município de Formiga optou pela implantação de um aterro sanitário (para resíduos classe II) e usina de triagem. Os empreendimentos estão localizados na zona rural, na comunidade de Serrinha, em um local denominado Fazenda Olaria, a aproximadamente 8 km do centro da cidade. O acesso se dá pela rodovia BR-354 (sentido Formiga/Campo Belo) e, posteriormente, por uma estrada vicinal (sem pavimentação) de acesso à comunidade rural de Serrinha (FORMIGA, 2005a; 2005b). Os resíduos dispostos no AS-MRA são do tipo doméstico, comercial, público e de limpeza urbana (FORMIGA, 2016).

² Tem origem animal, vegetal ou biológica e sua destinação correta é a compostagem. Exemplo: restos de comida, frutas e verduras, cascas de ovos, restos de plantas, borra de café, dentre outros.

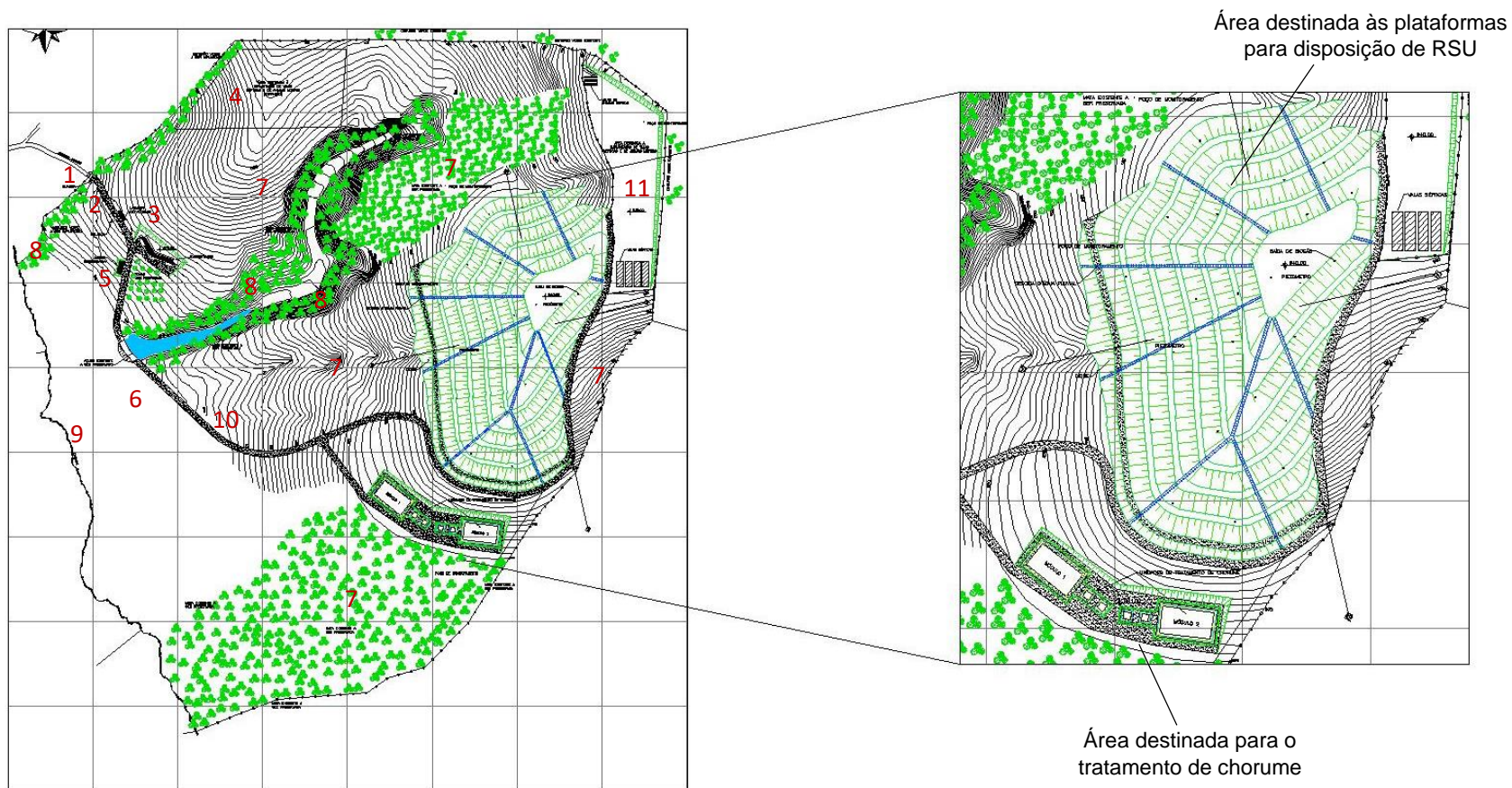
³ Resíduos em que não há a possibilidade de reciclagem ou reaproveitamento, como, por exemplo, papel higiênico, fraldas e absorventes.

⁴ Materiais que podem ser processados novamente e transformados em novos produtos. No caso do AS-MRA, trata-se de vidro, alumínio, papel, metal, plásticos em geral, tetra park e plástico PET.

A região onde o AS-MRA foi implantado está inserida no Complexo Cristalino Arqueano indiviso, o qual compreende áreas cobertas por rochas genericamente denominadas de granito-gnáissicas-migmatíticas (FONSECA; JESUS, 2014). A região é caracterizada pela presença de relevos acidentados e está inserida, conforme estudos realizados por Ab'Saber (1977), na transição de dois domínios fitogeográficos, o Cerrado e o Tropical Atlântico, enquanto os estudos de Rizzini (1979) e Fernandes e Bezerra (1990) relatam que a região está localizada no limite do bioma Mata Atlântica (FORMIGA, 2005a; 2005b). A média pluviométrica anual da região nos últimos 11 anos (2010 a 2020) é de 1.181,01 mm, a qual foi obtida por meio dos dados pluviométricos fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

De acordo com informações contidas no Plano de Controle Ambiental (PCA) e no Relatório de Controle Ambiental (RCA), o Aterro Sanitário de Formiga – MG “Marcelo Reis Arantes” tem uma área de 44,68 hectares, sendo a ocupação da área dividida entre as plataformas para disposição de resíduos, módulos de tratamento de chorume, valas para animais mortos, usina de triagem, guarita, balança, sede administrativa, depósito para materiais de construção, bota fora de solo, vias internas, áreas de preservação ambiental (APA) e áreas de preservação permanente (APP). A área destinada à implantação do aterro sanitário tem 5,54 hectares (FORMIGA, 2005a; 2005b). A Figura 3 ilustra toda a área do empreendimento objeto deste estudo.

Figura 3 – Planta geral do Aterro Sanitário Municipal de Formiga – MG “Marcelo Reis Arantes”



Fonte: FORMIGA (PCA e RCA), 2005a; 2005b

Legenda: (1) Guarita, (2) Balança, (3) Usina de triagem, (4) Vala para animais mortos
 (5) Sede administrativa, (6) Depósito para materiais de construção, (7) APA, (8) APP,
 (9) Córrego Olaria, (10) Vias internas e (11) Bota fora de solo

Segundo o PCA e o RCA, o AS-MRA foi projetado para uma vida útil de 21 anos, sendo que cada plataforma para disposição de resíduos tem tempo estimado/projetado de operação de 3 anos. Atualmente, encontra-se em operação a terceira plataforma, a qual tem área de 18.410,90 m² e volume de 92.054,48 m³ (FORMIGA, 2005a; 2005b), sendo que o empreendimento está em operação desde agosto de 2009. O monitoramento do chorume iniciou-se a partir de março de 2010.

A técnica construtiva empregada nesse aterro foi o método de rampa. De acordo com informações extraídas do RCA e PCA, o maciço do aterro sanitário é composto por 7 plataformas (com taludes de inclinação 1:3) para disposição de resíduos sólidos urbanos, as quais correspondem a 112.183,11 m² e têm uma capacidade total para 560.915,52 m³ de RSU, durante a vida útil de 21 anos (FORMIGA, 2005a; 2005b). O empreendimento foi construído seguindo as exigências da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da NBR 13896/1997. Observa-se uma imagem aérea da primeira plataforma para disposição de resíduos do aterro sanitário, inaugurada no ano de 2009, conforme Figura 4. Enquanto as Figuras 5 e 6 ilustram a terceira plataforma, a qual se encontra em operação desde o ano de 2018.

Figura 4 – Seta indicando a primeira plataforma do Aterro Sanitário de Formiga –MG “Marcelo Reis Arantes”



Fonte: A autora, 2009.

Figura 5 – Linha vermelha delimitando a área da terceira plataforma



Fonte: FORMIGA, 2020.

Figura 6 – Drenagem de chorume e impermeabilização com geomembrana de PEAD na terceira plataforma



Fonte: FORMIGA, 2020.

Segundo o PCA e RCA, a primeira plataforma tem impermeabilização de base, sendo a mesma composta por uma camada de 0,70 cm de argila compactada, geomembrana de PEAD 2 mm de espessura e uma camada de 0,40 cm de argila compactada para proteção mecânica da geomembrana. As demais plataformas recebem a impermeabilização de base, somente onde é terreno natural (FORMIGA, 2005a; 2005b).

As plataformas, conforme PCA e RCA, contam com sistema de drenagem de chorume, do tipo espinha de peixe, composto por drenos do tipo 1 (geotêxtil, tubo PEAD 100 mm, brita nº 04 e pedra rachão) e do tipo 2 (geotêxtil e brita nº 04). Essa drenagem de base conduz o chorume para caixas de passagem e, em seguida, para tubulações que o levam até o tratamento preliminar, localizado no 1º Módulo de tratamento de chorume. Há também o sistema de drenagem de percolado associado aos drenos de gases, o qual vem sendo construído verticalmente (à medida que ocorre a ampliação do aterro sanitário) com tubos de concreto armado perfurado de diâmetro 600 mm, envoltos por pedra de mão e tela do tipo alambrado. O percolado coletado também é conduzido para os drenos de base e direcionado para o tratamento preliminar (FORMIGA, 2005a; 2005b).

O volume do percolado a ser drenado pelo sistema de drenos está diretamente ligado à evapotranspiração, precipitação, declividade e tipo de cobertura na área do aterro sanitário, capacidade da camada superficial do aterro de reter água e capacidade de infiltração dos drenos. O cálculo da geração do chorume do projeto do AS-MRA, segundo Formiga (2005a; 2005b), foi realizado por meio do Método Suíço de Avaliação de Vazão, conforme demonstrado a seguir:

$$Q = \frac{P \times k \times A}{t}, \text{ onde:}$$

Q = vazão média de lixiviado percolado, L/s;

P = precipitação média anual = 1.400 mm;

k = coeficiente que depende do grau de compactação do lixo = 0,25;

A = área de contribuição;

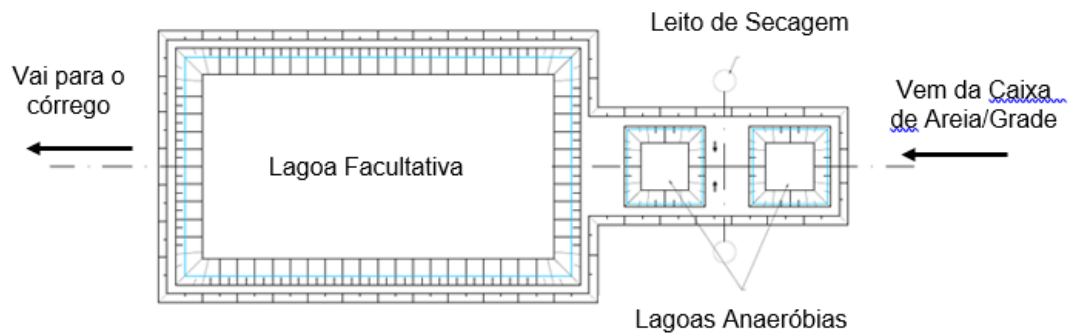
t = nº de segundos em um ano (31536000).

$$Q = \frac{1.400 \times 0,25 \times 55.400}{31536000} = 0,62 \text{ L/s} = 53.123,00 \text{ L/dia} = 53,12 \text{ m}^3/\text{dia}$$

Ainda de acordo com o PCA e RCA, o sistema de drenagem de águas pluviais foi implantado nas plataformas de resíduos, no módulo de tratamento de chorume e ao longo das vias internas do AS-MRA. Nas áreas das plataformas, o sistema de drenagem conta com canaletas de concreto do tipo meia cana instaladas nas bermas e no pé dos taludes, caixas de passagens, escadas para descida de água, tubos de concreto e bacias de infiltração. O sistema deve ser executado durante toda a operação do aterro sanitário, ou seja, à medida que ocorre as ampliações no empreendimento. No Módulo de Tratamento de Chorume, a drenagem pluvial é composta por canaletas de concreto do tipo meia cana, caixas de passagens e bacias de infiltração. Já nas vias internas, a drenagem pluvial contempla canaletas de concreto, caixas de passagens, tubos de concreto, bacias de infiltrações e barraginhas (FORMIGA, 2005a; 2005b).

Para o tratamento do volume de chorume calculado, foi implantado no AS-MRA o método de tratamento biológico, sendo o mesmo dividido em Módulo 1 e Módulo 2. Cada unidade (módulo) é composta por duas lagoas anaeróbias (com o tempo de detenção hidráulica de 7,5 dias em cada) e uma facultativa (tempo de detenção hidráulica de 75 dias) funcionando em série, além de dois leitos de secagem (o lodo necessita ser retido por 30 dias para que seja alcançada sua secagem). Apenas o tratamento preliminar (caixa de areia e grade) é único e de uso comum aos dois módulos. Entretanto, até o momento, apenas o Módulo 1 foi implantado (FORMIGA, 2005a; 2005b). O layout das unidades de tratamento de chorume pode ser visualizado por meio da Figura 7.

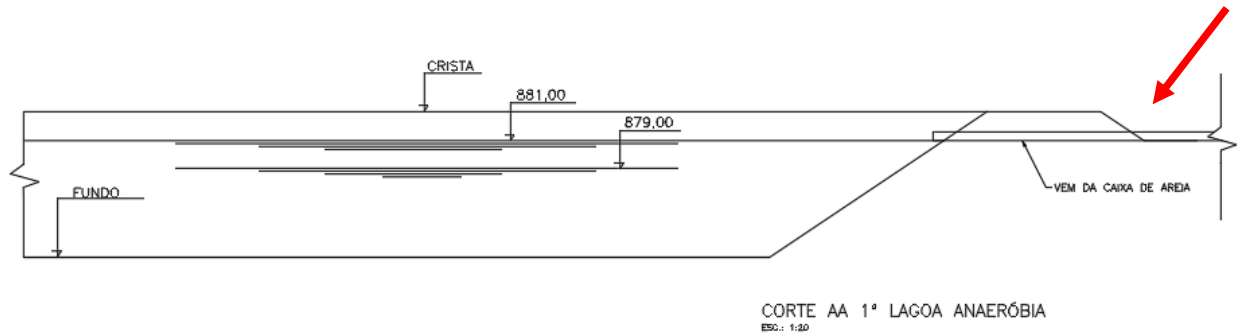
Figura 7 – Planta baixa do tratamento de chorume do Aterro Sanitário Municipal de Formiga – MG “Marcelo Reis Arantes”



Fonte: FORMIGA (PCA e RCA), 2005a; 2005b.

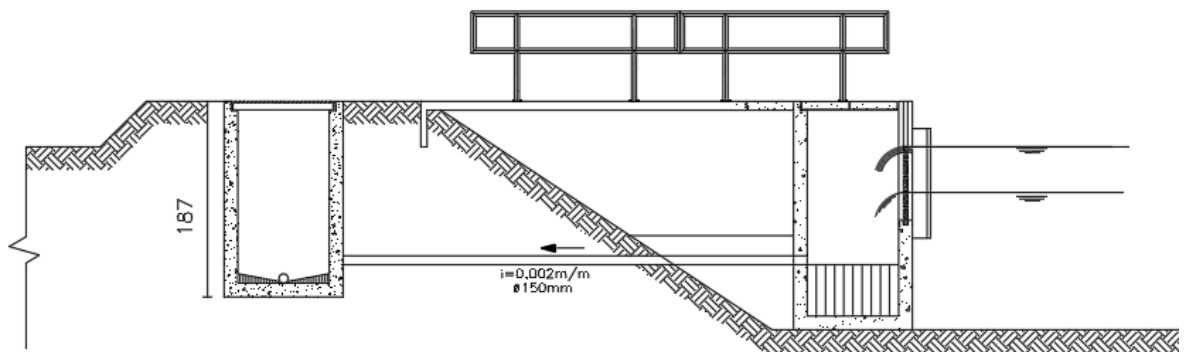
Segundo o RCA e PCA, as lagoas foram escavadas em terreno natural, têm o formato trapezoidal e foram impermeabilizadas com geomembrana de PEAD de 2,00 mm de espessura. As tubulações de entrada de chorume e de interligação das lagoas anaeróbias estão instaladas na parte superior das mesmas e foram construídas em tubos de PVC com diâmetro de 150 mm. Já na lagoa facultativa, a tubulação de entrada do efluente também foi implantada na parte superior da lagoa, utilizando tubo de PVC de 150 mm, porém, a saída, ocorre por meio de uma comporta metálica, a qual verte o efluente para uma caixa de passagem, onde foi instalada uma tubulação de PVC de 150 mm (0,60 m acima da laje de fundo da caixa) cuja função é direcionar o efluente para a última caixa de passagem localizada à montante da primeira escada de aeração. Ao fundo dessa última caixa está localizada uma tubulação de PVC com diâmetro de 200 mm, a qual direciona o efluente para a primeira escada de aeração (FORMIGA, 2005a; 2005b). Por meio da Figura 8, é possível visualizar a entrada do chorume na lagoa anaeróbia, e, na Figura 9, a saída do efluente.

Figura 8 – Detalhe da entrada do chorume na 1ª lagoa anaeróbia. Seta indicando a tubulação de chegada do chorume



Fonte: FORMIGA (PCA e RCA), 2005a; 2005b.

Figura 9 – Detalhe da saída do efluente da lagoa facultativa



Fonte: FORMIGA (PCA e RCA), 2005a; 2005b.

As lagoas anaeróbias foram instaladas em série, com profundidade de 4,00 m, um volume de 205,00 m³ cada e eficiência de remoção de DBO estimada em 70%, enquanto a lagoa facultativa tem profundidade de 2,00 m, um volume de 1.940,00 m³ e estimativa de remoção de DBO de 99,97%. Já os leitos de secagem foram construídos em concreto e têm uma camada drenante constituída de tijolo maciço, areia grossa e brita nº 3 (FORMIGA, 2005a; 2005b). Na Figura 10, pode-se visualizar o 1º Módulo de Tratamento de Chorume.

Figura 10 – Vista geral do 1º Módulo de Tratamento de Chorume



Fonte: FORMIGA, 2020.

Nota: (1) Tratamento preliminar, (2) Lagoas anaeróbias, (3) Leitos de secagem e (4) Lagoa facultativa.

A Figura 11 ilustra a vista de uma das lagoas anaeróbias do sistema de tratamento de chorume e a Figura 12 mostra a lagoa facultativa.

Figura 11 – Lagoa anaeróbia com capacidade para 205,00 m³ e profundidade de 4 metros



Fonte: A autora, 2020.

Figura 12 – Lagoa facultativa com capacidade para 1.940 m³ e profundidade de 2 metros



Fonte: A autora, 2020.

Segundo o RCA e PCA, o efluente tratado deve ser lançado no Córrego das Almas, situado a aproximadamente 350,00 m a jusante do tratamento de chorume. Ao longo da tubulação de descarte do efluente (executada em tubo de PVC com diâmetro de 200 mm), foram construídas cinco escadas de aeração (FIGURA 13), visando promover turbulência para acelerar o processo de reaeração atmosférica, facilitando a autodepuração no curso d'água (FORMIGA, 2005a; 2005b).

Figura 13 – Escada de aeração



Fonte: A autora, 2020.

Apesar de a Secretaria Municipal de Gestão Ambiental realizar periodicamente o automonitoramento do chorume exigido pela Superintendência Regional de Meio Ambiente do Alto São Francisco (SUPRAM-ASF), não há informações sobre a caracterização do chorume produzido no AS-MRA, no que diz respeito à sua tratabilidade. Devido a esse fato, o enquadramento do mesmo foi realizado de acordo com o tempo de operação do aterro, sendo que, para o período de operação superior ao intervalo de 5 a 10 anos, os chorumes são frequentemente classificados como estabilizados e apresentam como característica a presença de compostos recalcitrantes, os quais têm elevada massa molecular e estruturas moleculares complexas e heterogêneas (HUO *et al.*, 2008). Dessa forma, entende-se que o chorume do Aterro Sanitário Municipal de Formiga – MG está na fase estabilizada, uma vez que tal aterro está em operação há 12 anos.

REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. Os domínios morfo-climáticos na América do Sul. Bol. **Inst. Geogr. USP**, São Paulo, v. 52, p.1-21,1977.

ABREU, R. L. de. **Localização de Formiga em Minas Gerais**. 2006. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Formiga_\(Minas_Gerais\)#/media/Ficheiro:MinasGerais_Municip_Formiga.svg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Formiga_(Minas_Gerais)#/media/Ficheiro:MinasGerais_Municip_Formiga.svg). Acesso em: 5 jun. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS: **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019**. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>. Acesso em: 5 ago. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: **NBR 13896**: Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro, 1997.

BACIAS hidrográficas. Disponível em: <https://www.mg.gov.br/conteudo/conheca-minas/geografia/bacias-hidrograficas>. Acesso em: 31 out. 2020.

BACIAS hidrográficas dos afluentes do Alto São Francisco (SF1). **Portal dos Comitês**. Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM. Disponível em: <http://comites.igam.mg.gov.br/conheca-a-bacia-sf1>. Acesso em: 31 out. 2020.

BACIA hidrográfica de Minas Gerais. **Bacia hidrográfica do Rio Grande**. Disponível em: http://www.igam.mg.gov.br/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=150. Acesso em: 31 out. 2020.

BOU, Á. S. F. *et al.* Remoção da cor no tratamento combinado de lixiviado de aterro sanitário e esgoto doméstico via processo PACT. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 2, mar./abr. 2018. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1413-41522018150425>. Acesso em: 10 maio 2020.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2019**. Brasília, DF, 2020. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/rs/2019/Diagnostico_RS2019.pdf. Acesso em: 15 jun. 2021.

CARVALHO, F. C. *et al.* **Avaliação temporal das características físico-químicas das águas residuárias do sistema de tratamento de chorume do aterro sanitário municipal “Marcelo Reis Arantes” de Formiga – MG**. 2018, 5 p.

CASTILHOS JÚNIOR, Armando Borges de; DALSSASSO, Ramon Lucas; ROHERS, Fábio. Pré-tratamento de lixiviados de aterros sanitários por filtração direta ascendente e coluna de carvão ativado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 4, p. 385-392, out/dez. 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522010000400011&lng=en&nrm=iso#:~:text=O%20tratamento%20de%20lixiviado

%20de,e%20pela%20remo%C3%A7%C3%A3o%20da%20am%C3%B4nia. Acesso em: 4 mar. 2020.

FELICI, E. M. *et al.* Remoção de carga orgânica recalcitrante de lixiviado de resíduos sólidos urbanos pré-tratados biologicamente por coagulação química-floculação-sedimentação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 18. n. 2, p. 177-184, abr./jun. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v18n2/a10v18n2>. Acesso em: 11 jun. 2020.

FERNANDES, A.; BEZERRA, R. Estudo fitogeográfico do Brasil. Fortaleza: **Stylus Comunicações**. 205 p.1990.

FONSECA, A. R. C.; JESUS, N. P. de. **Laudo técnico de análise e identificação de origem de chumbo em água freática no aterro sanitário de Formiga- MG**. Formiga, 2014.

FORMIGA. Diagnóstico. **Plano Municipal de Saneamento Básico**. Formiga, v. 3, 2016.

FORMIGA. Plano de Controle Ambiental. **Destinação Final de Resíduos Sólidos de Formiga**. Formiga, 2005a.

FORMIGA. Relatório de Controle Ambiental. **Destinação Final de Resíduos Sólidos de Formiga**. Formiga, 2005b.

FUJII, E, H. *et al.* Composição granulométrica do filtro ascendente para pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 24. n. 3, p. 525-535, maio/jun. 2019. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1413-41522019185213>. Acesso em: 4 jan. 2020.

GOMES, L. P.; SHOENELL, E. K. Aplicação de ozônio e de ozônio + peróxido de hidrogênio para remoção de compostos recalcitrantes em lixiviados de aterros sanitários. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, jan./fev. 2018. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1413-41522018155758>. Acesso em: 1º maio 2020.

HUO, S. *et al.* Characteristics of dissolved organic matter (DOM) in leachate with different landfill age. **Journal of Environmental Sciences**, v. 20, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1001074208620859>. Acesso em: 1º nov. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE**: Cidades, 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/formiga/panorama>. Acesso em: 29 ago. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **INMET**: Banco de dados meteorológicos. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em: 14 jan. 2021.

PEREIRA, R. S. *et al.*. Avaliação do tratamento de chorume por processo de eletrocoagulação associado ao peróxido de hidrogênio como catalizador pelo

processo fenton. **11º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental**, Porto Alegre, 2018. Disponível em: http://www.abes-rs.uni5.net/centraldeeventos/_arqTrabalhos/trab_2_5493_20180809153234.pdf. Acesso em: 2 mar. 2020.

PEREIRA, S. S. A problemática dos resíduos sólidos urbanos e os instrumentos de gestão do meio ambiente na cidade de Campina Grande/PB. In: **Âmbito Jurídico**, Rio Grande, XIV, n. 93, out. 2011. Disponível em: http://www.ambitojuridico.com.br/site/index.php?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=10535. Acesso em: 11 mar. 2020.

REZENDE, J. H. *et al.* Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 18, n.1, jan-mar, 2013. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/fDHpfgCRRxXhWFZX3wrzmxw/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 5 de jan. 2022.

RIBEIRO, E. F.; BUSS, M. V.; MENEZES, J. C.S. dos S. Tratamento de chorume de aterro de resíduos sólidos urbanos utilizando um coagulante à base de tanino, tratamento biológico e ozonização. **Revista de Engenharia Civil IMED**, Passo Fundo, v. 2, n. 2, p.37-42, 2015. DOI: <http://doi.org/10.18256/2358-6508/rec-imed.v2n2p37-42>. Acesso em: 10 mar. 2020.

SÁ, L. F. de; JUCÁ, J. F. T.; MOTTA SOBRINHO, M. A. da. Tratamento do lixiviado de aterro sanitário usando destilador solar. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 7, n. 1, 2012. DOI: <http://doi.org/10.4136/1980-993X>. Acesso em: 11 mar. 2020.

CAPÍTULO I

TRATAMENTOS DE CHORUME DE ATERROS SANITÁRIOS UTILIZANDO PROCESSOS FÍSICO-QUÍMICOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

RESUMO

A revisão sistemática é um tipo de estudo secundário, no qual sua base de dados tem origem nos estudos primários. Trata-se de uma investigação em que o foco é muito bem definido, sendo que seu objetivo é identificar, selecionar e avaliar estudos e, posteriormente, resumir os dados relevantes. O presente capítulo apresenta uma revisão sistemática com o objetivo de analisar estudos disponíveis na literatura científica sobre tratamentos de chorume de aterros sanitários que utilizem processos físico-químicos, visando aumentar a sua tratabilidade e permitir a remoção de substâncias recalcitrantes. A metodologia utilizada para a seleção dos estudos foi fundamentada na recomendação de Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (Prisma), fluxograma de análise das diferentes fases de elaboração de uma revisão sistemática. Para tanto, selecionou-se 21 artigos em que foram avaliados os processos físico-químicos como pré e pós-tratamento de chorume: coagulação/floculação, oxidação avançada, filtração ascendente, *stripping* de amônia e adsorção, sendo testadas combinações dessas técnicas e associação ao processo de tratamento biológico. A eficiência de remoção obtida por esses sistemas de tratamentos foi avaliada pelos autores, apresentando resultados considerados como bons e significativos no que se refere à remoção de matéria orgânica recalcitrante e aumento da biodegradabilidade do chorume. Dessa forma, a utilização de processos físico-químicos associados aos biológicos é uma alternativa viável para o pré e pós-tratamento de chorume de aterro sanitário.

Palavras-chave: Biodegradabilidade. Processos físico-químicos. Recalcitrante. Tratamento de lixiviado.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o crescimento na produção de resíduos, bem como sua destinação final, tem sido considerado como um dos sérios problemas no campo da gestão ambiental, principalmente em países em desenvolvimento (FUJII *et al.*, 2019).

No Brasil, no ano de 2019, foram coletadas 65,11 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU), sendo que mais de 75,10% foram enviados para aterros sanitários (BRASIL, 2020). Diante desse cenário, a disposição final de resíduos sólidos em aterro sanitário segue sendo largamente aceita e empregada, visto que apresenta vantagens econômicas, reduz e minimiza os impactos ambientais, além de permitir que a decomposição dos resíduos, bem como sua transformação em material relativamente estabilizado e inerte, aconteça sob condições controladas (RENOU *et al.*, 2008).

Entretanto, devido às elevadas concentrações de matéria orgânica e metais pesados que os chorumes de aterros sanitários possuem, sua disposição, conforme explicam Moreira *et al.* (2009), é considerada como um dos principais problemas ambientais decorrentes da operação desse empreendimento. O chorume tem grandes concentrações de matéria orgânica e inorgânica, compostos recalcitrantes, nitrogênio, metais pesados, além de níveis elevados de contaminantes e toxicidade, o que pode ser explicado em função da complexa composição dos RSU (WANG *et al.*, 2018).

Com o passar dos anos, a alta heterogeneidade e a oscilação das concentrações das variáveis biológicas, físicas e químicas do chorume dificultam a escolha de sistemas eficientes de tratamento, o que tem sido apontado como um grande desafio para os gestores de aterros sanitários (GOMES *et al.*, 2009; AL-WASIFY; ALI; HAMED, 2018). Al-Wasify, Ali e Hamed (2018) explicam que os processos de tratamento de chorume são classificados em biológicos, físicos e químicos. Pode ainda ser utilizada como forma de tratamento uma combinação de processos biológicos e físico-químicos.

Para que seja possível atender aos padrões de lançamento de efluentes previstos nas legislações, é necessária a adoção de combinação dos métodos de tratamento supracitados, uma vez que tal associação é utilizada principalmente para aumentar a eficiência do tratamento ou quando o mesmo está sendo prejudicado pela

presença de compostos recalcitrantes e de baixa biodegradabilidade (WISZNIOWSKI *et al.*, 2005; MENDÉZ-NOVELO *et al.*, 2019).

Com base nesse contexto, o presente trabalho tem o objetivo de analisar estudos disponíveis na literatura científica sobre tratamento de chorume de aterros sanitários que utilizem processos físico-químicos, visando aumentar a sua tratabilidade e permitir a remoção de substâncias recalcitrantes, além de reunir conhecimento técnico acerca do assunto, por meio de revisão sistemática (literatura científica).

2 MATERIAL E MÉTODOS

O levantamento dos artigos relativos ao tratamento de chorume de aterro sanitário utilizando processos complementares (físico-químico) ao tratamento biológico foi realizado por meio de revisão sistemática de literatura, a qual, conforme explicam Galvão e Pereira (2014), é um tipo de estudo secundário em que sua base de dados tem origem nos estudos primários. Para os autores, a revisão sistemática é uma forma de investigação cujo foco é uma questão bem definida, que tem como objetivo identificar, selecionar, avaliar e resumir as evidências relevantes disponíveis.

As plataformas de busca de artigos utilizadas na pesquisa foram Google Acadêmico⁵, o Portal de Periódicos CAPES/MEC⁶ e Scientific Electronic Library Online⁷ (SCIELO). O levantamento das informações foi realizado nos meses de maio de 2019 a julho de 2020.

Como estratégia de busca junto às plataformas citadas acima, foram utilizadas as palavras-chave e o operador booleano⁸ (*and*), conforme o Quadro 1. Portanto, as palavras-chave foram o primeiro critério de filtro utilizado.

⁵ Endereço eletrônico: <<https://scholar.google.com.br/?hl=pt>>.

⁶ Endereço eletrônico: <<https://www.periodicos.capes.gov.br/>>.

⁷ Endereço eletrônico: <<https://scielo.org/>>.

⁸ Operadores booleanos: palavras utilizadas para combinar os termos de sua pesquisa.

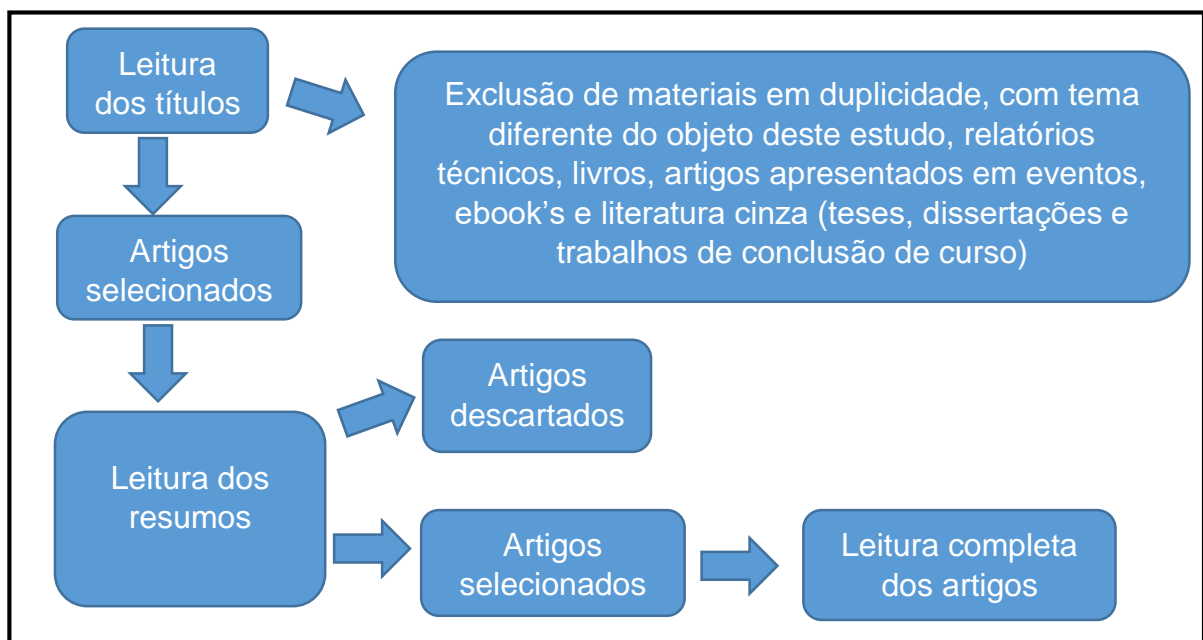
Quadro 1 – Palavras-chave em português e inglês utilizadas como estratégia de busca

Palavras-chave na língua portuguesa	Palavras-chave na língua inglesa
Tratamento de lixiviado	Leachate of treatment
Tratamento de lixiviado and biodegradabilidade	Leachate of treatment and biodegradability
Tratamento de lixiviado and biodegradabilidade and recalcitrante	Leachate of treatment and biodegradability and recalcitrant
Tratamento de lixiviado and biodegradabilidade and recalcitrante and “processos físico-químicos”	Leachate of treatment and biodegradability and recalcitrant and “physicochemical processes”

Fonte: A autora, 2020.

Após as consultas nas plataformas de busca de artigos, realizou-se uma análise prévia do conteúdo pesquisado, por meio da aplicação dos filtros critérios de seleção/exclusão dos estudos, conforme a Figura 14.

Figura 14 – Critérios de seleção e exclusão dos estudos



Fonte: A autora, 2020.

A realização de buscas por referencial teórico nas plataformas Google Acadêmico, Portal de Periódicos CAPES/MEC e SCIELO e a aplicação dos critérios de inclusão/exclusão dos estudos resultaram em um universo de estudos selecionados. Para a escolha dos estudos, utilizou-se a metodologia apresentada pelo

fluxograma proposto por Moher *et al.* (2009), denominado Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (Prisma), o qual trata-se de análise das diferentes fases de elaboração de uma revisão sistemática. O fluxograma de Prisma pode ser visualizado por meio da Figura 15. Durante a etapa de seleção, foram escolhidos os estudos cujos seus temas se enquadravam no objetivo desta revisão. Realizou-se, também, análise do título, resumo e palavras-chave.

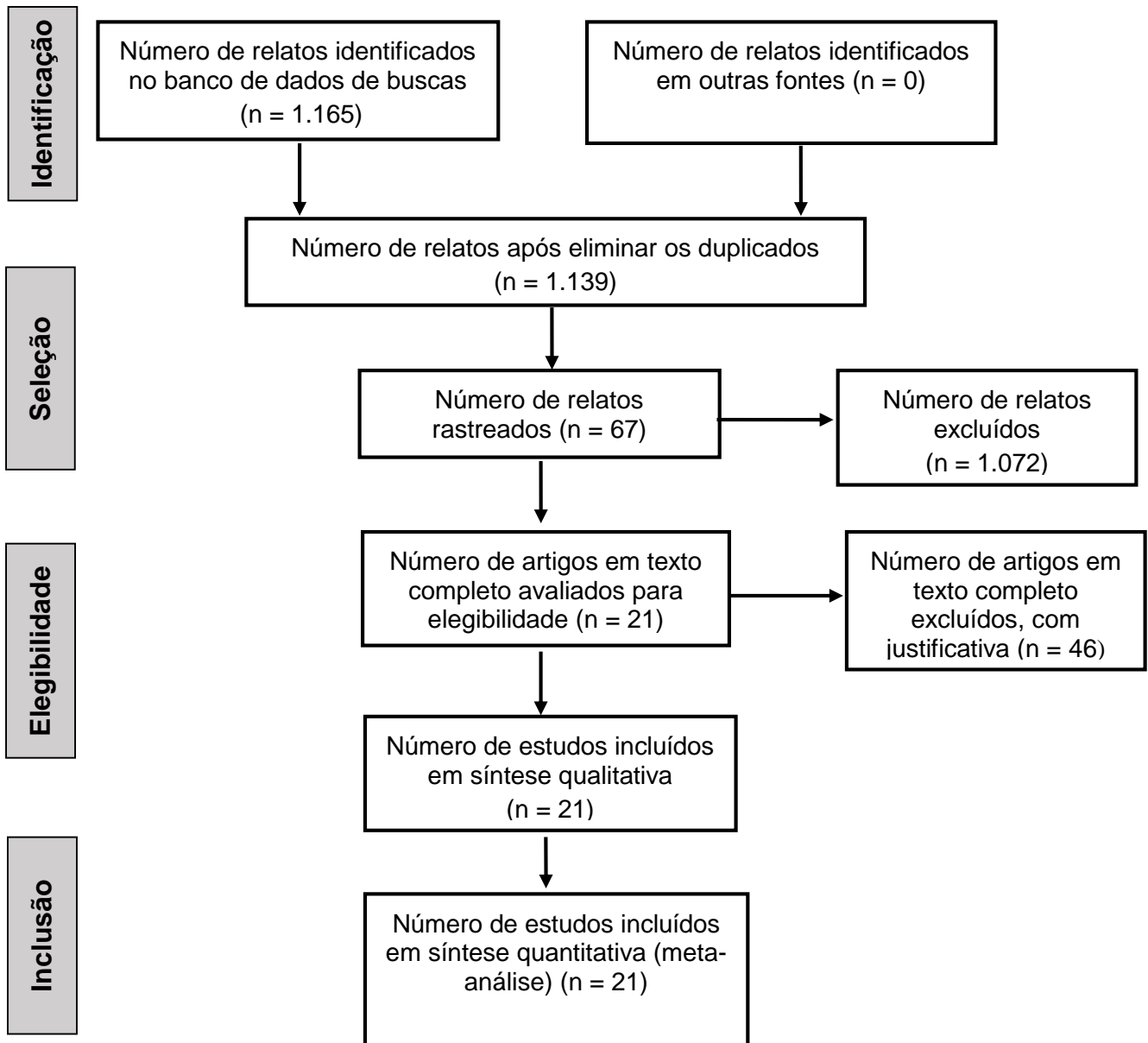
Nas etapas de seleção e elegibilidade, foram adotados como critérios de exclusão dos materiais pesquisados que apareceram em duplicidade os que têm o tema diferente do objeto do estudo e os classificados como livros, ebooks, relatórios técnicos, artigos apresentados em eventos e, ainda, literatura cinza⁹ (trabalhos de conclusão de curso, teses e dissertações), visto que, usualmente, deve-se evitar o uso desse tipo de material, devido à pouca ou baixa confiabilidade dos mesmos, já que alguns pesquisadores preferem não publicar seus estudos por vários motivos (como, por exemplo, resultados nulos ou inesperados), levando ao aparecimento do viés de autoseleção. Ressalta-se ainda que os revisores e editores de periódicos tendem a aceitar resultados de trabalhos que são estatisticamente expressivos (YU IT, 2013 *apud* ALMEIDA; GOULART, 2017).

Em seguida, foram lidos os resumos referentes aos artigos selecionados anteriormente, avaliando sua pertinência com o objeto do estudo. Os artigos que tinham resumos relacionados ao objetivo do estudo foram selecionados, os demais foram descartados.

Por fim, para todos os artigos selecionados nas últimas etapas (elegibilidade e inclusão) realizou-se a leitura completa.

⁹ Literatura cinza: de acordo com Laufer (2007), entende-se por literatura cinza teses e trabalhos acadêmicos, informes institucionais e técnicos, bem como publicações periódicas, sejam elas locais ou classificadas como de pobre ou de nula distribuição.

Figura 15 – Fluxograma da informação com as diferentes fases de uma revisão sistemática, conforme a recomendação de Prisma



Fonte: A autora (2020), adaptado de Moher *et. al.*, 2009.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A leitura e a análise dos artigos possibilitaram a construção do Quadro 2, o qual traz uma síntese dos 21 artigos, reunindo as informações relativas ao periódico, ano da publicação, autoria, título, classificação do periódico, número de citações que os artigos têm e seus respectivos objetivos.

Quadro 2 – Síntese das informações relativas aos artigos incluídos na revisão sistemática por ordem crescente de número de citações

Continua...

Periódicos/Ano	Autores	Título	*Classificação Qualis/CAPES	Nº de citações
Journal of Hazardous Materials / 2008	MARAÑÓN, E. <i>et al.</i>	Coagulation-flocculation as a pretreatment process at a landfill leachate nitrification-desnitrification	A1	123
Objetivo:	Estudar a aplicação de diferentes coagulantes e floculantes ao lixiviado jovem gerado na nova área do aterro e determinar o coagulante e as condições ótimas de funcionamento para reduzir a turbidez e evitar incrustações na membrana.			
Engenharia Sanitária e Ambiental / 2006	LANGE, L. C. <i>et al.</i>	Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por processo oxidativo avançado empregando reagente de Fenton	A2	70
Objetivo:	Analisar a viabilidade técnica e apresentar um indicativo de custos do tratamento de lixiviado por processo oxidativo avançado empregando reagente de Fenton.			
Química Nova / 2011	MORAVIA, W. G.; LANGE, L. C.; AMARAL, M. C. S.	Avaliação de processo oxidativo avançado pelo reagente de Fenton em condições otimizadas no tratamento de lixiviado de aterro sanitário com ênfase em parâmetros coletivos e caracterização do lodo gerado	B2	35
Objetivo:	Avaliar, em escala de bancada, a tratabilidade de lixiviado pós-POA/Fenton caracterizando, separadamente, o sobrenadante e o lodo gerado.			

Engenharia Sanitária e Ambiental / 2010	CASTILHOS JÚNIOR, A. B de; DALSSASSO, R. L; ROHERS, F.	Pré-tratamento de lixiviados de aterro sanitário por filtração direta ascendente e coluna de carvão ativado	A2	27
Objetivos:		<p>Pesquisar o processo combinado de tratamento por coagulação-floculação e filtração direta, utilizando cloreto férrico, sulfato de alumínio e sulfato ferroso como coagulantes. Avaliar a eficiência do tratamento sobre as variáveis cor, turbidez, DQO, DBO₅, sólidos, metais, amônia, entre outros.</p> <p>Testar, após o processo de filtração direta ascendente, colunas de tratamento complementar com a presença de carvão ativado.</p>		
Separation and Purification Techonology / 2013	ZHAO, X. <i>et al.</i>	Removal and transformation characterization of refractory componentes from biologically treated landfill leachate by Fe ²⁺ / NaClO and Fenton oxidation	A1	26
Objetivo:		Avaliar as características de transformação de componentes orgânicos em vários processos.		
Engenharia Sanitária e Ambiental / 2011	QUEIROZ, L. M. <i>et al.</i>	Aplicação de processos físico-químicos como alternativa de pré e pós-tratamento de lixiviados de aterros sanitários	A2	19
Objetivos:		<p>Avaliar a aplicação da operação de <i>stripping</i> como alternativa de pré-tratamento de um lixiviado de aterro sanitário, visando, sobretudo, à redução da carga de nitrogênio amoniacal afluyente a um sistema biológico de tratamento.</p> <p>Utilizar o processo de coagulação-floculação-sedimentação para a remoção da matéria orgânica recalcitrante presente em um lixiviado de aterro pré-tratado em um sistema de lodo ativado.</p>		
Engenharia Sanitária e Ambiental / 2013	FELICI, E. M. <i>et al.</i>	Remoção de carga orgânica recalcitrante de lixiviado de resíduos sólidos urbanos	A2	16

		pré-tratado biologicamente e por coagulação química-floculação-sedimentação		
Objetivo:	Avaliar o processo de coagulação química-floculação-sedimentação, utilizando-se cloreto férrico como coagulante para pós-tratamento e lixiviado tratado biologicamente, visando à remoção de matéria orgânica recalcitrante, medida como demanda química de oxigênio (DQO) e cor verdadeira.			
Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science / 2015	COSTA, F. M. da <i>et al.</i>	Tratamento de lixiviados de aterros de resíduos sólidos utilizando processos Fenton e foto-Fenton solar	B1	12
Objetivo:	Avaliar o desempenho da aplicação dos processos Fenton-escuro e Fenton-solar em lixiviados oriundos de dois aterros sanitários do estado do Rio de Janeiro (Aterro Metropolitano de Gramacho e Aterro Gericinó).			
Revista Mexicana de Ingeniería Química/2015	SAN PEDRO-CEDILLO, L. <i>et al.</i>	Evaluation of adsorption and Fenton-adsorption processes for landfill leachate treatment	B1	10
Objetivo:	Comparar os tratamentos de adsorção e de adsorção de Fenton para a remoção de contaminantes em lixiviados de aterros sanitários e determinar o tratamento mais eficiente.			
Desalination and Water Treatment / 2014	TURKI, N. <i>et al.</i>	Effective degradation and detoxification of landfill leachates using a new combination processo f coagulation/flocculation-Fenton and powder zeolite adsorption	B1	7
Objetivo:	Examinar a aplicação de uma técnica integrada que utiliza métodos de adsorção de pó de zeólito na coagulação/floculação-Fenton para o tratamento de lixiviados brutos de um aterro sanitário de Bizerte (Norte da Tunísia).			

Sustain. Environ. Res. / 2011	AGUILAR, H. A. N. <i>et al.</i>	Physicochemical treatment (coagulation-flocculation-Fenton) of mature leachates from Tuxtla Gutierrez, Chiapas landfill		6
Objetivo:	Avaliar a eficiência de um sistema físico-químico (coagulação-floculação-Fenton), visando as melhores condições para remoção de DQO para lixiviados estabilizados do aterro de Tuxtla Gutierrez, sob duas diferentes condições de operação, coagulantes na primeira fase e reagente de Fenton na segunda.			
Cogent Enviromental Science / 2016	YADAV, J. S.; DIKSHIT, A. K.	Effect of pretreatment by coagulation on stabilized ladnfill leachate during anaerobic treatment	C	5
Objetivo:	Utilizar o processo de coagulação como pré-tratamento do lixiviado do aterro e utilizar o sistema de reator anaeróbico contínuo como tratamento secundário e para o lixiviado bruto, do aterro sanitário Deonar, em Mumbai, na Índia.			
Brazilian Journal of Chemical Engineering / 2016	FLECK, E. <i>et al.</i>	Evaluation of the treatability of municipal waste landfill leachate in a SBR and by coagulation-flocculation on a bench scale	B1	1
Objetivo:	Descrever o tratamento sequencial, biológico e de coagulação-floculação à escala de bancada de lixiviado maduro para a remoção de azoto e material carbónico biodegradável e recalcitrante.			
Engenharia Sanitária e Ambiental / 2018	GOMES, L. P.; SCHOENELL, E. K.	Aplicação de ozônio e de ozônio + peróxido de hidrogênio para remoção de compostos recalcitrantes em lixiviados de aterros sanitários	A2	1
Objetivo:	Avaliar o uso de O ₃ e de H ₂ O ₂ como POA, visando à remoção de compostos recalcitrantes em lixiviados de aterro sanitário.			

Engenharia Sanitária e Ambiental / 2019	FUJII, E. H. <i>et al.</i>	Composição granulométrica do filtro ascendente para pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário	A2	1
Objetivo:	Estabelecer a composição do material granular mais adequada para o filtro ascendente aplicado ao pós-tratamento de lixiviado estabilizado de aterro sanitário, para remoção de matéria orgânica recalcitrante sob condições operacionais visando à aplicação do sistema em escala real.			
Ingenieria, Investigacion y Tecnologia / 2019	MÉNDEZ-NOVELO, R. I. <i>et al.</i>	Leachate treatment whit a combined Fenton/filtration/adsorption processes	B3	ND
Objetivo:	Determinar a eficiência do processo de adsorção do lixiviado quando tratado por Fenton/filtração/adsorção.			
Revista DAE / 2019	PORTO, C. de A. <i>et al.</i>	Avaliação da coagulação/floculação como pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário utilizando coagulantes químico e natural	B2	ND
Objetivo:	Avaliar o processo de coagulação/floculação/sedimentação utilizando um coagulante químico – cloreto férrico ($FeCl_3$) e um coagulante natural – Moringa oleífera, na remoção de matéria orgânica, como pós-tratamento do lixiviado do proveniente do sistema de lagoas do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa (ASMJP).			
Eclética Química / 2011	BRITO, N. N de <i>et al.</i>	Otimização do processo fotocatalítico heterogêneo para tratamento de percolado de aterro sanitário	B3	ND
Objetivo:	Estudar um sistema integrado (tratamento preliminar por um sistema de filtração lenta de areia e o tratamento subsequente por meio de processos oxidativos e radiação ultravioleta) para a remediação do lixiviado proveniente do aterro sanitário da cidade de Limeira – SP.			

Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science / 2015	VASCONCELOS, D. V. <i>et al.</i>	Estudo da tratabilidade de lixiviado gerado em aterro controlado	B1	ND
Objetivo:	Avaliar técnicas de tratamento para um lixiviado gerado em um aterro controlado situado no estado do Rio de Janeiro, de forma a minimizar o impacto ocasionado pela elevada concentração de matéria orgânica e, dessa forma, aumentar a sua biodegradabilidade para que possa ser tratado em sistemas biológicos.			
Revista Tecnologias e Tendências / 2014	KLAUCK, C. R.; BENVENUTI, T.; RODRIGUES, M. A. S.	Processos oxidativos avançados como alternativa ao tratamento de chorume	B4	ND
Objetivo:	Realizar a caracterização físico-química do chorume de um aterro sanitário municipal e avaliar a eficiência da aplicação de um tratamento integrado de ozonização e eletro-oxidação.			
Engenharia Sanitária e Ambiental (<i>online</i>) / 2018	WEBLER, A. D.; MAHLER, C. F.; DEZOTTI, M.	Tratamento de lixiviado por processos combinados: coagulação/floculação, <i>air stripping</i> , ozonização e lodo ativado	A2	ND
Objetivo:	Avaliar uma combinação de tratamentos, incluindo processos físico-químicos como coagulação/floculação, <i>air stripping</i> , ozonização e lodos ativados, com o intuito de obter um lixiviado com os níveis adequados de DQO e nitrogênio amoniacal para o seu descarte.			

Fonte: A autora, 2020.

*Nota: ND = não disponível

A classificação dos periódicos foi realizada segundo o Qualis/Capes (quadriênio 2013/2016). As áreas de avaliação consultadas foram Ciências Ambientais ou Interdisciplinar.

O processo de tratamento do chorume, conforme explicam Gomes e Shoenell (2018), é diretamente afetado pela recalcitrância e variabilidade das suas características, seja devido aos volumes produzidos (os quais variam de acordo com os períodos de maior e menor pluviosidade) ou devido à sua composição física e química. Portanto, a composição do chorume condiciona sua tratabilidade, fazendo com que seja necessária a utilização de processos conjuntos, biológicos, físicos e químicos durante seu tratamento (CASTILHOS JÚNIOR; DALSSASSO; ROHERS, 2010).

Os processos biológicos são as técnicas mais utilizadas para tratamento dessas águas residuárias, especialmente devido ao seu menor custo. Entretanto verifica-se que apenas essas metodologias não são suficientes para atender aos padrões de lançamento de efluentes determinados pelas legislações brasileiras, principalmente quando se trata de chorume de aterro sanitário estabilizado (MORAVIA; LANGE; AMARAL, 2011; GOMES; SHOENELL, 2018).

Gomes e Shoenell (2018) relatam que a definição do tipo de tratamento do chorume pode ser fundamentada na relação DBO/DQO. Os processos biológicos são indicados para chorumes novos¹⁰, que apresentam alta relação DBO/DQO. Os autores explicam que, em estudo realizado por Castilhos Júnior (2006), a relação $DBO/DQO > 0,5$ indica um aterro novo¹¹ e instável; $0,1 > DBO/DQO < 0,5$ aterro moderadamente estável e $DBO/DQO < 0,1$ aterro velho¹² e estável. Dessa forma, para chorumes que apresentam tal relação inferior a 0,5, os processos biológicos tornam-se ineficientes, uma vez que o efluente apresenta vários compostos recalcitrantes, ou seja, resistência à biodegradação, necessitando da associação de processos físico-químicos aos biológicos (FUJII *et al.*, 2018).

De acordo com Turki *et al.* (2014), vários tipos de tratamentos biológicos e físico-químicos são empregados mundialmente com o intuito de se obter uma remoção satisfatória dos compostos recalcitrantes do chorume, tais como, adsorção, precipitação química, coagulação-floculação, degradação anaeróbia e/ou aeróbia.

¹⁰ Chorume novo: apresenta compostos orgânicos biodegradáveis de fácil remoção, elevada concentração de ácidos graxos voláteis de pequena massa molecular, baixa concentração de nitrogênio amoniacal e altas concentrações de toxicidade à biomassa ativa (MORAVIA, 2007).

¹¹ Aterro novo ou jovem: aterro com idade menor que 2 anos (TCHOBANOGLIOUS; KREITH, 2002 *apud* HELENE, 2019).

¹² Aterro velho ou estabilizado: aterro com idade maior do que 10 anos (TCHOBANOGLIOUS; KREITH, 2002 *apud* HELENE, 2019).

Lange *et al.* (2006) relatam que a utilização de processos físico-químicos no tratamento do chorume pode expressar alta eficiência de remoção de matéria orgânica, porém verifica-se que os processos denominados coagulação, filtração e precipitação química (os quais são muito empregados no Brasil) não apresentaram eficiência expressiva de remoção de matéria orgânica. Contradizendo essa informação, Castilhos Júnior, Dalsasso e Rohers (2010) argumentaram que bons resultados relativos à redução da carga poluente e outros parâmetros relativos ao chorume foram apresentados por estudos que utilizaram processos físico-químicos de coagulação-floculação. Relataram, ainda, que outras pesquisas realizadas pelo Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB) demonstraram os melhores resultados com o processo de coagulação-floculação e oxidação com reagente de Fenton, sendo que tais estudos testaram diversas técnicas de tratamento, como adsorção com carvão ativado, coagulação-floculação, precipitação química e oxidação com reagente de Fenton, as quais podem ser aplicadas como pré e pós-tratamento do chorume.

Ainda sobre os processos de coagulação-floculação, Marañón *et al.* (2008) relatam que os métodos podem ser empregados no tratamento de chorume de aterros estabilizados, podendo ser indicados como pré-tratamento para o caso de chorumes novos e pós-tratamento para chorumes estabilizados.

Para Brito *et al.* (2011), o tratamento químico por meio de processos oxidativos avançado (POAs) é considerado uma das técnicas mais promissoras para o tratamento de chorume, visto que, por meio dos POAs, é possível promover a degradação da carga poluente contida nessa água residuária. Tais tecnologias podem ser empregadas de forma terciária (pós-tratamento) e também como pré-tratamento, facilitando a biodegradação do chorume.

Nesse sentido, são apresentados a seguir os resultados demonstrados por diversos estudos envolvendo os processos físico-químicos no tratamento de chorume.

Brito *et al.* (2011) desenvolveram um estudo no qual o chorume maduro (tratado previamente por filtração lenta) foi submetido ao pós-tratamento fotocatalítico ou fotocatalise heterogênea (técnica que produz radical hidroxila – OH), um forte reagente químico que, devido ao seu potencial de oxidação ser muito elevado, tem a capacidade de degradar quase todos os poluentes orgânicos. Verificou-se que a maior eficiência de remoção de cor do percolado (76,67%) foi apresentada pela concentração de $\text{TiO}_2 = 700 \text{ mg.L}^{-1}$, vazão de ar 15 L.min^{-1} , lâmpada de 400 W e

temperatura = 45°C e 540 minutos, o que pode ser expressivo, visto que se trata de um chorume com características recalcitrantes.

Entretanto, conforme relatam Brito *et al.* (2011), ainda que muito eficientes, os POAs demonstraram duas limitações no tratamento de chorume. A primeira está relacionada com a elevada carga orgânica e a segunda diz respeito à alta concentração de ácidos húmicos. Dessa forma, a filtração lenta contribuiu com a remediação do chorume para depois realizar o tratamento fotocatalítico.

Em estudo realizado por Felici *et al.* (2013), aplicando *stripping* (arraste de amônia) e lodos ativados, foram observadas as remoções de 98% de nitrogênio amoniacal e 84% de DBO, 23,8% DQO e 1,4% de cor verdadeira e, ainda, um decréscimo no valor relação DBO/DQO de 0,05 (chorume bruto) para 0,01 (efluente tratado), indicando que o chorume tem elevada concentração de compostos recalcitrantes e baixa biodegradabilidade.

No experimento desenvolvido por Queiroz *et al.* (2011), o pré-tratamento do chorume maduro foi realizado por meio do processo de *stripping* de amônia, o qual ocorreu em duas etapas, sendo a primeira agitação mecânica (gradiente = 340 s⁻¹) e a segunda por sistema de agitação por aeração (vazão de ar = 30 L.s⁻¹). Os melhores resultados obtidos foram remoção de nitrogênio variando entre 3,5 e 3,6 mg N-NH₃.L⁻¹.h⁻¹ (para agitação mecânica) e 3,2 e 3,3 mg N-NH₃.L⁻¹.h⁻¹ (agitação por aeração). Em ambos os sistemas, verificou-se uma redução na alcalinidade entre 42% e 58%. No sistema submetido à agitação mecânica, observou-se uma remoção de COT entre 26% e 31%, enquanto no submetido à aeração 28% e 34%. O que pode ser explicado devido à presença de compostos orgânicos voláteis e possibilidade de ocorrência de algum nível de biodegradação relacionado ao período (15 dias) adotado para realização de *stripping*.

Fujji *et al.* (2019) realizaram, de forma preliminar, o tratamento por *stripping* de amônia, seguido de tratamento biológico por lodos ativados, e, na sequência, o tratamento por coagulação e filtração ascendente em pedregulho. Nesse caso, o tratamento foi realizado em duas etapas, sendo a primeira por *stripping* de amônia em sistema de bateladas sequenciais e a segunda por lodos ativados, composto de fase aeróbia e anóxica com adição de etanol como fonte de carbono. Após a realização do tratamento acima, grande parte do nitrogênio foi removida, sendo os percentuais de 98% de nitrato, 96% de nitrito, 42% de nitrogênio total e 89% para o amoniacal. Entretanto verificou-se por meio dos pequenos percentuais de remoção de cor

verdadeira (3%) e de DQO (25%) que compostos orgânicos recalcitrantes persistiam no chorume, sendo então necessária a realização de pós-tratamento. Enquanto Webler, Mahler e Dezotti (2018) utilizaram o processo de *air stripping* registraram um percentual de 96,7% de remoção de nitrogênio amoniacal em pH = 12 do lixiviado pré-tratado por coagulação/floculação.

Em estudo desenvolvido por Webler, Mahler e Dezotti (2018), o lixiviado pré-tratado por coagulação/floculação, *air stripping* e ozonização foi submetido ao tratamento por lodo ativado, sendo que o melhor resultado obtido foi no teste B2, o qual apresentou eficiência máxima global de 90,6% de remoção de DQO.

O efluente tratado preliminarmente por *stripping* e lodo ativado foi submetido ao pós-tratamento por coagulação, seguido de filtração ascendente em pedregulho, sendo que os melhores resultados foram observados nas seguintes condições: gradiente velocidade de mistura de 800 s^{-1} , tempo de mistura rápida de 10 minutos, 400 mg.L^{-1} de cloreto férrico, pH = 4 e tempo de sedimentação de uma hora e duração de carreira de filtração de 22,6 horas (sem ocorrência de transpasse), apresentados os percentuais de remoção de 98,8% para cor verdadeira, 82,4% para DQO, 94,3% para carbono orgânico total, indicando que a utilização de coagulação seguida de filtração ascendente é uma alternativa viável para o tratamento em escala real de chorumes estabilizados (FUJII *et al.*, 2019).

No estudo realizado por Castilhos Júnior, Dalsasso e Rohers (2010), o lixiviado foi pré-tratado por filtração direta ascendente e coluna de carvão ativado. Foram realizados ensaios de jarros para simulação da filtração direta e escolha das condições de coagulação, sendo que a filtragem foi feita em papel filtro Whatman 40. Após os ensaios de jar teste, foram adotadas as seguintes condições: pH = 7,4 (podendo variar +/- 0,2), 900 mg/L de sulfato de alumínio, gradiente de velocidade de mistura 800 s^{-1} e tempo de mistura rápida de 20 s e 0,5 mg/L de Tanfloc Pa 0823. Foi realizada a correção do pH de coagulação, visto que o mesmo não se mantinha estável. No filtro de areia com menor granulometria, observou-se uma redução de 98% de turbidez e 90% de cor aparente. Os autores explicam que o percentual de remoção para cor poderia ter sido mais elevado se a coagulação tivesse disso realizada em pH menor que 6, haja vista a menor estabilidade das substâncias húmicas em tal faixa de pH.

Para DQO, a maior remoção (47%) foi obtida com 600 mg/L de sulfato de alumínio, no filtro de areia, o que pode significar associação às condições e

mecanismos da coagulação, principalmente a varredura, devido à utilização das doses de coagulantes e envolvendo a matéria orgânica dissolvida. Redução expressiva de cor aparente foi observada na filtração direta ascendente, sendo observado o percentual de remoção de 89,8% com 900 mg/L de sulfato de alumínio, deixando evidente a relação entre cor aparente e sólidos em suspensão. A remoção de amônia foi maior na coluna de carvão ativado, sendo observada a redução de 85,9% em 900 mg/L do coagulante. A filtração direta ascendente apresentou um excelente desempenho para remoção de metais pesados, com percentuais de 60% a 96% (CASTILHOS JÚNIOR; DALSSASSO; ROHERS, 2010).

Marañón *et al.* (2008) realizaram em seu estudo a coagulação/floculação como pré-tratamento para chorume. As condições adotadas para o tratamento foram mistura rápida 180 rpm por 3 minutos e lenta 40 rpm por 17 minutos e cloreto férrico, aplicação de sulfato de alumínio e policloreto de alumínio como coagulantes e, como floculantes, polieletrólitos aniônicos e catiônicos. Para cloreto férrico, os melhores resultados foram obtidos na dosagem de 0,8 g/L e em pH = 3,8, sendo observadas as remoções de 28% de DQO, 78% de cor e 90% de turbidez, além da produção de lodo (após 30 minutos de centrifugação a 4350 rpm), relativa a 4% do volume de chorume tratado.

Para o sulfato de alumínio, as melhores eficiências de remoção foram alcançadas utilizando pH próximo a 6,0 e na dosagem de 0,8 mg/L, sendo os percentuais de 27% para DQO, 84% para cor e 93% para turbidez, com geração de lodo de 5,2% (em relação ao volume tratado) após a desidratação e centrifugação. Foi testada ainda a aplicação de policloreto de alumínio em pH = 8,3, sendo verificada a redução de 36,8% de DQO para a dosagem de 6 g/L, 91,2% de cor e 97,7% de turbidez (para a dosagem de 4 g/L) e a produção de lodo de 15% após a desidratação. Quanto aos floculantes, a adição dos mesmos não representou melhores resultados para DQO, cor e turbidez (MARAÑÓN *et al.*, 2008).

Com relação ao processo de coagulação-floculação-sedimentação, Felici *et al.* (2013) verificaram a necessidade de realização desse processo como pós-tratamento ao efluente tratado inicialmente por *stripping* de amônia. O tratamento foi realizado e os melhores resultados ocorreram nas condições de 400 mg/L de cloreto férrico, pH = 3, gradiente de velocidade média de mistura rápida 600 s^{-1} e de floculação 20 s^{-1} , sendo possível alcançar 98,1% de remoção de cor verdadeira e 80,9% de DQO. Os autores verificaram que a sedimentação do lodo demonstrou ser muito lenta, na maioria dos ensaios, apresentando um tempo de 20 horas, o que poderia deixar o

processo inviável. Entretanto a sedimentação do lodo pode ser favorecida com a utilização de um polieletrólito. A velocidade de sedimentação foi 0,0428 cm/minuto e o volume de lodo produzido de 300 mL/L.

O processo de coagulação/floculação/sedimentação como pós-tratamento foi testado por Queiroz *et al.* (2011) em um estudo utilizando chorume pré-tratado por sistema de lodo ativado com bateladas sequenciais, utilizando como coagulantes o cloreto férrico e o sulfato de alumínio hexahidratado. Os melhores resultados foram obtidos com as dosagens de 400 mg/L dos coagulantes e ajustes no pH (próximo de 4 para o cloreto férrico e próximo de 5 para o sulfato de alumínio), alcançando remoções superiores a 90% de compostos recalcitrantes (avaliado como cor aparente). Com relação à geração de lodo, para os dois coagulantes, observou-se que quanto maior eram as dosagens, maiores eram os volumes de lodo produzidos.

Já Porto *et al.* (2019) realizaram um estudo visando avaliar o pós-tratamento de chorume (previamente tratado por processos biológicos) por meio de coagulação/floculação, utilizando coagulantes químico e natural, cloreto férrico e *Moringa oleífera*, realizando a mistura rápida 130 rpm por 1 minuto e a lenta 40 rpm por 10 minutos. Ao realizar o tratamento, os autores identificaram que os melhores resultados obtidos para o cloreto férrico foram observados na dosagem de 400 mg.L⁻¹ e pH = 5, em que verificou-se os percentuais de remoções de cor verdadeira = 80%, DQO = 64% e turbidez = 90%. Para a geração de lodo não foram observadas grandes diferenças entre as amostras.

Com relação à aplicação do coagulante *Moringa oleífera*, os melhores resultados de eficiência de remoção foram alcançados na dosagem de 4.000 mg/L⁻¹ e pH = 4, sendo observadas as remoções de 69% de cor verdadeira, 62% de turbidez e aumento de DQO em todas as amostras, o que pode ser explicado devido à adição de matéria orgânica do próprio coagulante. Os dois coagulantes tiveram resultados parecidos para remoções de cor verdadeira e turbidez, contudo, a remoção de DQO só foi possível por meio da utilização do coagulante químico, o qual demonstrou maior geração de lodo e variação de pH, em função da comparação com o coagulante natural. Tanto o coagulante químico (cloreto férrico) quanto o natural (*Moringa olifeira*) demonstraram resultados satisfatórios para a utilização como pós-tratamento de chorume (PORTO *et al.*, 2019).

De acordo com o estudo realizado por Vasconcelos *et al.* (2017), utilizando chorume bruto, os melhores resultados obtidos para o processo de

coagulação/floculação (pH = 4; 300 mg/L de FeCl_3 , mistura rápida 150 rpm em 1 minuto e mistura lenta 20 rpm por 20 minutos) foram 22,9% de remoção de DQO e 64% de COT. Zhao *et al.* (2013) testaram em seu experimento os processos de coagulação e oxidação por Fenton como pós-tratamento de chorume. Para a coagulação, testaram as variáveis pH = 6,3; mistura rápida por 2 minutos e lenta por 20 minutos e concentrações de 10 mmol/L para Fe^{2+} e 12,5 mmol/L para NaCl, sendo observados valores semelhantes e até superior para remoção de DQO, quando comparados ao valor obtido por Vasconcelos *et al.* (2017). Foram observadas remoções de 23,5% DQO e 50% de cor (coagulação individual Fe^{2+}); 12,5% de DQO, aproximadamente 90% de cor e aproximadamente 60% de amônia (oxidação NaCl); 53,5% de DQO, aproximadamente 90% de cor e aproximadamente 60% de amônia (coagulação $\text{Fe}^{2+}/\text{NaCl}$). Os autores relataram ainda a formação de lodo seco durante o processo de coagulação, sendo verificada a produção de 1,2 g/L de lodo seco.

Resultado superior para remoção de DQO foi apresentado por Aguilar *et al.* (2011) em seu experimento, no qual foi aplicado o processo de coagulação/floculação em chorume maduro, sendo possível verificar que o mesmo foi eficaz no que se refere à remoção de DQO, visto que o melhor resultado (66%) foi obtido a pH = 6, dosagem de 2,2 g/L de cloreto férrico, utilizando mistura rápida (250 rpm por 80 segundos) e lenta (30 rpm por 20 minutos). Webler, Mahler e Dezotti (2018) realizaram o processo de coagulação-floculação como pré-tratamento visando à remoção de compostos orgânicos, utilizando o cloreto férrico como coagulante, agitação rápida 150 rpm por 5 minutos e lenta 30rpm por 15 minutos. Os melhores percentuais de remoção para diferentes valores de pH foram DQO (61%) e cor (79,1%) obtidos em pH = 5. Na variação de dosagem de coagulante, as melhores remoções ocorreram em 600 mg. L^{-1} , com eficiência de 58,1% para DQO e 85,6% para cor.

O estudo realizado por Yadav e Dikshit (2016) testou a aplicação da coagulação como pré-tratamento para o lixiviado maduro e tratamento secundário por reator anaeróbio por batelada, sendo que o último tratamento também foi aplicado ao lixiviado bruto. Para realizar a coagulação, foram adotadas as seguintes condições: mistura rápida 150 rpm por 3 minutos, lenta 40 rpm por 20 minutos e coagulantes cloreto de alumínio e férrico. Os melhores resultados de remoção foram obtidos com cloreto de alumínio na dosagem de 10 g. L^{-1} e pH = 6, sendo observadas as remoções de DQO 59% e COT 57%. Após a coagulação, o lixiviado foi submetido ao tratamento

anaeróbio por batelada, sendo verificada a remoção de 35% e 38% de COT e DQO do chorume bruto.

Experimento com características semelhantes foi realizado por Fleck *et al.* (2016), no qual aplicaram ao chorume maduro tratamento por reatores biológicos de bateladas sequenciais seguido de coagulação/floculação. Os melhores resultados de remoção para o tratamento por reatores biológicos foram 69,6% para DBO, 38,5% para DQO e 50% para nitrogênio amoniacal. Esse lixiviado que apresentou os melhores resultados foi encaminhado para o processo de coagulação/floculação.

Segundo Fleck *et al.* (2016), os ensaios de coagulação-floculação foram realizados em mistura rápida a 150 rpm por 2 minutos (gradiente de velocidade 250 s⁻¹), lenta a 60 rpm por 20 minutos (gradiente de velocidade 60 s⁻¹), tempo de sedimentação de 2 h e quatro coagulantes (cloreto férrico, sulfato férrico, tanino e policloreto de alumínio). As melhores eficiências de remoção alcançadas foram 96,06% para cor (1,3 g.L⁻¹ de policloreto de alumínio e pH = 7,5), 78,48% para DQO e 92,82% para cor (0,83 g.L⁻¹ de cloreto férrico e pH = 6,3). A maior geração de lodo (52%) foi observada para o coagulante policloreto de alumínio.

Jamali *et al.* (2009) alcançaram os melhores percentuais de remoção de DQO (aproximadamente 40%) e cor (70%) após a realização de processos de coagulação/floculação, utilizando 2500 mg/L de cloreto férrico, pH = 10, mistura rápida 120 rpm por 3 minutos, mistura lenta 40 rpm por 25 minutos e decantação por 30 minutos. Já Turki *et al.* (2014) observaram em seu estudo remoção de DQO (53%) e de turbidez 94%, nas condições de pH = 5,5, mistura rápida 200 rpm por 6 minutos e lenta 60 rpm por 60 minutos e 0,6 g/L de sulfato de alumínio. Os autores relataram ainda a produção de 290 mg/L de lodo após 2 horas de decantação. Após a desidratação e centrifugação do mesmo a 3000 rpm por 5 minutos, o volume de lodo foi reduzido para 60 mg/L.

Após a realização do processo de coagulação/floculação, aplicou-se o método de ozonização ao lixiviado, sendo observado, conforme explica Jamali *et al.* (2009) a remoção de 70% de DQO (concentração de ozônio a 240 g/L) e 81% de remoção de cor para concentração de ozônio acima de 120 g/L, aumentando, assim, a eficiência de remoção dos parâmetros cor de DQO. Já Webler, Mahler e Dezotti (2018) realizaram o processo de ozonização em pH = 7 no lixiviado tratado anteriormente por coagulação/floculação e *air stripping*, sendo verificada uma remoção de DQO entre

13,7% e 32,1% com uma dose de ozônio consumido de 397 a 3.516 mg.O₃.L⁻¹, de 33,1% de DBO e 85% de cor após a aplicação de 3.516 mg.O₃.L⁻¹ de ozônio.

No estudo desenvolvido por Gomes e Shoenell (2018), o chorume (bruto e tratado) passou pelo tratamento utilizando processo oxidativo avançado (aplicação de ozônio + ozônio e peróxido de hidrogênio). Tanto o chorume bruto quanto o tratado foram submetidos aos dois ensaios. As melhores eficiências e remoção foram apresentadas para o chorume bruto: 57% DQO (ozônio + peróxido de hidrogênio), 41% DBO (ozônio + ozônio e peróxido de hidrogênio), 38% STV (ozônio + peróxido de hidrogênio), 51% COT (ozônio + peróxido de hidrogênio), 23% CI (ozônio + peróxido de hidrogênio), 33% CT (ozônio + peróxido de hidrogênio) e 99% cor aparente (ozônio + peróxido de hidrogênio).

De acordo com Gomes e Shoenell (2018), a remoção de CI foi menor do que a de COT, quando se esperava que a parte inorgânica alcançasse melhores resultados com a aplicação do POA, o que torna necessário avaliar também outros parâmetros para análise de compostos recalcitrantes, além da cor aparente. Os autores relatam ainda que a adição de peróxido de hidrogênio aumentou a eficiência de remoção de todos os parâmetros analisados, entretanto não foi evidenciada diferença significativa (conforme análise de variância realizada), o que leva a entender que o uso do peróxido pode ser dispensado, visto que a adição do reagente pode representar custos ao sistema de tratamento.

Em estudo realizado por Lange *et al.* (2006), o chorume foi pré-tratado por POA empregando reagente de Fenton. A realização do experimento ocorreu em duas etapas, oxidação e precipitação/neutralização. Para a etapa de oxidação, o melhor resultado de remoção de DQO foi de 75%, o qual foi obtido com a menor dosagem de reagente (relação H₂O₂/Fe²⁺ igual a 10), pH = 5 e menor tempo de agitação de 30 minutos, proporcionando, assim, o menor custo para operação. Já na segunda etapa do estudo, foi verificada a redução nos valores de remoção de DQO, o que pode ser explicado devido à solubilização de substâncias húmicas e, ainda, remoção de nitrogênio amoniacal acima de 80%. Já no experimento realizado por Vasconcelos *et al.* (2017) com efluente bruto, o melhor resultado de remoção de DQO (78,42%) foi utilizando a seguinte condição: DQO:H₂O₂ igual a 1:1, Fe:H₂O₂ igual 1:3, pH = 3, 674,3 mg/L de Fe²⁺ em 2 horas de reação. Percentual menor de remoção de DQO (60%) foi observado no experimento realizado por Turki *et al.* (2014), nas condições de pH = 3 e dosagens 3 g/L para Fe²⁺ e H₂O₂.

Enquanto no estudo realizado por Zhao *et al.* (2013), utilizando o processo de oxidação por Fenton em efluente anteriormente tratado por coagulação ($\text{Fe}^{2+}/\text{NaCl}$), os melhores resultados de remoção de DQO (86%) e amônia (73,4%) ocorreram em $\text{pH} = 5$, 10 mmol de Fe^{2+} e $\text{Fe}:\text{H}_2\text{O}_2$ 1:8. Aguilar *et al.* (2011) obtiveram percentual de remoção de DQO de 70% (para um lixiviado pré-tratado com coagulação/floculação), em condições de $\text{pH} = 2,5$, mistura rápida a 135 rpm por 80 minutos e a lenta 20 rpm por 20 minutos e 800 mg/L de H_2O_2 . Em estudo realizado por Mendéz-Novelo *et al.* (2019) com lixiviado bruto, os melhores percentuais de remoção de cor (71%), DQO (77%) e DBO (44%) foram obtidos nas condições de $\text{pH} = 4$, tempo de reação de 20 minutos, solução de H_2SO_4 concentra 97%, mistura rápida 300 rpm por 1 minuto e lenta 30 rpm por 20 minutos, reagentes $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2 = 1,67$ e $\text{DQO}/\text{H}_2\text{O}_2 = 15,13$.

Resultados semelhantes foram obtidos no estudo realizado por Moravia, Lange e Amaral (2011), o chorume bruto foi submetido ao tratamento por POA/Fenton em condições otimizadas, não sendo realizada a etapa de neutralização. Observou-se uma eficiência de remoção de 67% para COT, 76,4% para cor e 76,7% para DQO, sendo que a DQO persistente pode ser explicada pela formação de produtos intermediários que necessitam de um tempo maior para oxidação. Com relação à remoção de nitrogênio e fósforo, não houve remoção satisfatória, podendo ser observado que, mesmo após o tratamento, as concentrações permaneceram elevadas. Já quanto aos metais, observou-se que tanto antes quanto após o tratamento as concentrações permaneceram constantes. Verificou-se também o aumento da concentração de sólidos totais após a realização do POA/Fenton, indicando a ocorrência de geração e lodo.

Também foi observada a ocorrência de fração inerte de DQO para o lixiviado bruto (44%) e tratado (40%). Mesmo após o tratamento, não foi verificada alteração significativa da fração DQO inerte, o que sugere que os compostos intermediários produzidos durante o POA têm característica refratária. Observou-se, ainda, a eficiência de oxidação de substâncias húmicas de 50,3%, podendo ser verificado que, do percentual remanescente, 22,4% estavam adsorvidos no lodo produzido e 27,2% dissolvidos no sobrenadante. Com relação às substâncias húmicas, 99,2% foram caracterizados como ácidos fúlvicos presentes no lixiviado tratado (MORAVIA; LANGE; AMARAL, 2011).

Excelentes percentuais de remoção de matéria orgânica foram obtidos durante desenvolvimento do experimento de San Pedro-Cedillo *et al.* (2015), no qual testou-

se a aplicação dos processos de adsorção e Fenton-adsorção para tratamento de chorume maduro. A primeira etapa do tratamento consistia na realização do Fenton, sob as condições de $\text{pH} = 4$, tempo de contato de 1 h, $\text{Fe}^{2+}/\text{H}_2\text{O}_2 = 0,6$ e $\text{DQO}/\text{H}_2\text{O}_2 = 9$. As melhores eficiências de remoção de Fenton foram 54% para DQO, 89% para DBO e cor e 80% para nitrogênio. Entretanto o processo Fenton-adsorção se mostrou mais eficiente, sendo observadas remoções acima de 99% para todos os parâmetros.

Costa *et al.* (2015) realizaram um experimento utilizando o chorume bruto. O tratamento realizado utilizou processo Fenton-escuro e o processo Foto-Fenton solar, respectivamente. Tanto na primeira quanto na segunda etapas do tratamento, os melhores resultados foram alcançados utilizando a relação $\text{Fe}^{+2}\text{H}_2\text{O}_2 = 1:5$, $\text{pH} = 3$ e tempo de reação de 60 minutos, para os chorumes provenientes dos dois aterros, sendo observada a eficiência de remoção de DQO de 56% e 19% para o efluente de Gericinó e para o de Gramacho, respectivamente, no processo de Fenton-escuro e remoção de DQO de 88,2% e 78,2% no processo Foto-Fenton solar.

Durante o processo de adsorção em carvão ativado testado no experimento de Vasconcelos *et al.* (2017), os melhores resultados foram obtidos com as concentrações de $5,0 \text{ g.L}^{-1}$, após 24 horas de contato e sob agitação de 250 rpm, quando observou-se a remoção de 69% de DQO. Resultados superiores foram alcançados por Mendéz-Novelo *et al.* (2019) durante a filtração, foram obtidas as remoções de 90% DQO e 91% de cor e, para a adsorção utilizando carvão ativo, eficiência de remoção de 80% DQO e 95% de cor. Turki *et al.* (2014) apresentaram percentual semelhante de redução de DQO (83%), utilizando concentrações de 0,5 a 30 g/L de zeólito em pó, agitados a 150 rpm por 3 horas.

Tratando-se de processos combinados, Aguilar *et al.* (2011) testaram a utilização do processo em conjunto, coagulação/floculação/oxidação por Fenton, o qual obteve eficiência de remoção de 90% de DQO, podendo o mesmo ser aplicado para chorume maduro¹³. Mendéz-Novelo *et al.* (2019) relataram que percentuais muito significativos foram obtidos em seu estudo para remoção de DQO (99,9%), cor (100%), sólidos totais (89,1%) e sólidos suspensos totais (83,5%) com a aplicação de processos combinados Fenton/filtração/adsorção. Após a combinação de processos

¹³ Chorume maduro: segundo Moravia (2007), o chorume maduro ou velho é oriundo de aterros com idade maior do que 10 anos e apresenta elevada concentração de compostos recalcitrantes e nitrogênio amoniacal, além de baixa concentração de material orgânico biodegradável.

de coagulação/floculação/Fenton, *Turki et al.* (2014) obtiveram o percentual de remoção de DQO (80%) e aproximadamente 100% para cor, para condições de pH = 3 e dosagens de 1,2 g/L de Fe^{2+} e 2,8 g/L de H_2O_2 . Webler, Mahler e Dezotti (2018) explicam que, ao combinar os tratamentos, foram registrados os percentuais de remoção de cor e DQO relativo ao chorume bruto de 85,6% e 58,1% (coagulação-floculação), 2,9% e 5,5% (*air stripping*), 98,4% e 75,3% (ozonização). Ao combinar os tratamentos por coagulação e reator anaeróbio, foram observadas as eficiências de remoção de 70% para COT e 72% para DQO (YADAV; DIKSHIT, 2016).

Klauck, Benvenuti e Rodrigues (2014) avaliaram a aplicação da combinação de dois processos oxidativos avançados (ozonização e eletro-oxidação) para tratamento de chorume bruto. As condições estabelecidas foram pH = 11, 4 g de O_3/h , densidade da corrente 14 m.A.cm⁻², duração dos processos 40 h e 60 h. Dentre os tratamentos, o de 60 h foi o mais eficaz, sendo obtidos os resultados de redução de pH para 9,7, condutividade elétrica igual a 8,54, remoção de 88% de DQO e 81,5% de DBO, 48% de cloreto, transformação de 99% dos compostos nitrogenados em nitrato. Considerando os resultados obtidos, verifica-se que a combinação dos POAs proposta pelos autores supracitados é uma alternativa de tratamento eficiente.

Com relação ao aumento da biodegradabilidade do lixiviado, ficou evidenciado que, nos estudos realizados por Aguilar *et al.* (2011) e Vasconcelos *et al.* (2017), somente a reação de Fenton levou a um aumento na biodegradabilidade do mesmo, haja vista que tal processo tem a capacidade de atacar qualquer substância recalcitrante e transformá-la em moléculas menos complexas e mais biodegradáveis. Um acréscimo na biodegradabilidade do chorume também foi observado após a realização de processos combinados (MENDÉZ-NOVELO *et al.*, 2019). Moravia, Lange e Amaral (2011) relataram um significativo aumento da biodegradabilidade em condições aeróbias (de 46,6% para 65,8%) após o tratamento por POA, devido à oxidação parcial de poluentes complexos. Tanto a adsorção quanto o processo Fenton-adsorção (sendo que o último apresentou melhores resultados – 0,084 para 0,82) favoreceram o aumento da biodegradabilidade do lixiviado, indicando ser viável a realização de tratamento biológico posteriormente (SAN PEDRO-CEDILLO *et al.*, 2015).

A ozonização, conforme explicam Webler, Mahler e Dezotti (2018), aumentou a relação DBO/DQO, sendo registrado o melhor resultado utilizando a dosagem de 397 a 2.376 mg.L⁻¹ de ozônio, obtendo um valor médio de 0,49, o qual foi superior ao

da amostra não ozonizada (0,32), indicando um aumento da biodegradabilidade do lixiviado. Segundo Klauck, Benvenuti e Rodrigues (2014), a ozonização e eletro-oxidação proporcionaram um aumento da biodegradabilidade do lixiviado (a qual é determinada pela relação DBO_5/DQO), uma vez que tal relação para o chorume bruto era 0,6, sendo que, após a realização de 40 h de tratamento, a razão passou para 1,3 e, ao término das 60 h apresentou uma redução para 0,9, o que pode ser explicado pela redução dos valores DBO e DQO entre o período de 40 h e 60 h.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão sistemática possibilitou o levantamento de conhecimento científico sobre várias tecnologias e processos de tratamento (empregados mundialmente) aplicados ao chorume de aterro sanitário, bem como conhecer suas fragilidades e limitações.

Ressalta-se que é importante o conhecimento das características do chorume, ou seja, realizar a caracterização física, química e biológica do chorume, destacando sua biodegradabilidade (relação DBO/DQO), bem como seu enquadramento (chorume novo, estável e maduro), para escolha adequada das técnicas de tratamento.

O emprego de processos físico-químicos por coagulação/floculação, oxidação avançada (Fenton), *stripping* de amônia, filtração, adsorção e a combinação desses processos se mostrou eficiente tanto como pré como pós-tratamento de chorume, apresentando bons resultados de eficiência de remoção de compostos recalcitrantes, turbidez, compostos nitrogenados e metais pesados. Contudo, em alguns casos, os processos físico-químicos não apresentaram eficiência esperada. Portanto, é recomendável a associação de processos físico-químicos e biológicos no tratamento de chorume de aterro sanitário, visando ao atendimento aos padrões exigidos pelas legislações ambientais, uma vez que o chorume tem compostos orgânicos e inorgânicos com características biodegradáveis e recalcitrantes, além do fato de que a biodegradabilidade do mesmo vai reduzindo ao longo do tempo.

A utilização de processos oxidativos avançados (POA) no tratamento de chorume se mostrou eficiente no que diz respeito ao aumento de sua biodegradabilidade.

Nos processos de coagulação/floculação/sedimentação, observou-se que o uso de coagulantes químicos e naturais apresentou resultados satisfatórios de remoção de cor, turbidez e DQO, entretanto uma redução (cor e turbidez) e aumento (DQO) nesses percentuais de remoção foram observados quando da utilização do coagulante natural Moringa olifeira, o que pode ser explicado devido à adição de matéria orgânica do próprio coagulante. Um ponto importante a ser discutido é o fato de que, durante a utilização de coagulantes químicos, ocorre a geração de lodo (dependendo da dosagem, observa-se uma produção significativa) e alteração de pH. Esse fato reforça a necessidade de aprimoramento do método, bem como a realização de estudos utilizando coagulantes naturais em substituição aos químicos.

REFERÊNCIAS

AGUILAR, H. A. N. *et al.* Physicochemical treatment (coagulation-flocculation-Fenton) of mature leachates from Tuxtla Gutierrez, Chiapas landfill. **Sustain. Environ. Res**, v. 21, n. 5, p. 313-319, 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/235344455_Physicochemical_treatment_coagulation-flocculationFenton_of_mature_leachates_from_Tuxtla_Gutierrez_Chiapas_landfill. Acesso em: 5 set. 2020.

ALMEIDA, C. P. B. de; GOULART, B. N. G. de G.. **Como minimizar vieses em revisões sistemáticas de estudos observacionais**. Ver. CEFAC, São Paulo, v. 19, n. 4, p. 183-184, jul/ago. 2017. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-18462017000400551&lng=en&nrm=iso&tlng=pt#B14. Acesso em: 1º dez. 2020.

AL-WASIFY, R. S; ALI, M. N.; HAMED, S. R. Application of different magnetic intensities for the treatment of landfill leachate in Egypt. **Cogent Engineering**, v. 5, 2018. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/23311916.2018.1436114?needAccess=true>. Acesso em: 10 maio 2020.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2019**. Brasília, DF, 2020. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/rs/2019/Diagnostico_RS2019.pdf. Acesso em: 15 jun. 2021.

BRITO, N. N. de *et al.* Otimização do processo fotocatalítico heterogêneo para o tratamento de percolado de aterro sanitário. **Eclética Química**, v. 36. n. 3. 1-7, 2011. Disponível em: <https://revista.iq.unesp.br/ojs/index.php/eletica/article/view/146/114>. Acesso em: 13 ago. 2020.

CASTILHOS JÚNIOR, A.B. (Org.) (2006) **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água**: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Rio de Janeiro: ABES. 91p.

CASTILHOS JÚNIOR, A. B. de; DALSSASSO, R. L.; ROHERS, F.. Pré-tratamento de lixiviados de aterros sanitários por filtração direta ascendente e coluna de carvão ativado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 15. n. 4, p. 385-392, out/dez. 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522010000400011&lng=en&nrm=iso#:~:text=O%20tratamento%20de%20lixiviado%20de,e%20pela%20remo%C3%A7%C3%A3o%20da%20am%C3%B4nia. Acesso em: 4 mar. 2020.

COSTA, F. M. da *et al.* Tratamento de lixiviados de aterros de resíduos sólidos utilizando Processos Fenton e Foto-Fenton Solar. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 10. n. 1, jan./mar. 2015. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1483>. Acesso em: 15 ago. 2020.

FELICI, E. M. *et al.* Remoção de carga orgânica recalcitrante de lixiviado de resíduos sólidos urbanos pré-tratados biologicamente por coagulação química-floculação-sedimentação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 18. n. 2, p. 177-184, abr./jun. 2013. Disponível em:

<http://www.scielo.br/pdf/esa/v18n2/a10v18n2>. Acesso em: 11 jun. 2020.

FLECK, E. *et al.* Evaluation of the treatability of municipal waste landfill leachate in a SBR and by coagulation-flocculation on a bench scale. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 33. n. 4, p. 851-861, oct./dec. 2016. DOI: dx.doi.org/10.1590/0104-6632.20160334s20150126. Acesso em: 11 jul. 2020.

FUJII, E. H.. *et al.* Composição granulométrica do filtro ascendente para pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 24. n. 3, p. 525-535, maio/jun. 2019. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1413-41522019185213>. Acesso em: 4 jan. 2020.

GALVÃO, T. F.; PEREIRA, M. G.. **Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração.** Epidemiol. **Serv. Saúde, Brasília**, v. 23, n. 1, p. 183-184, jan./mar. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ress/v23n1/2237-9622-ress-23-01-00183.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2020.

GOMES, L. P. *et al.* (org). **Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras.** Rio de Janeiro: ABES, 2009, 358p.

GOMES, L. P.; SHOENELL, E. K.. Aplicação de ozônio e de ozônio + peróxido de hidrogênio para remoção de compostos recalcitrantes em lixiviados de aterros sanitários. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, jan./fev. 2018. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1413-41522018155758>. Acesso em: 1º maio 2020.

HELENE, L. P. I.. **Dinâmica da geração e fluxo de chorume em aterro sanitário de pequeno porte a partir de monitoramento geofísico.** 2019. 110 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2019. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/183095/helene_lpi_dr_rcla.pdf?sequence=7&isAllowed=y. Acesso em: 13 out. 2021.

JAMALI, H. A. *et al.* Combination of Coagulation-Flocculation and Ozonation Processes for Treatment of Partially Stabilized Landfill Leachate of Tehran. **World Applied Sciences Journal** 5, Penang, v. 9, n. 15- January 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/255587496_Combination_of_Coagulation-Flocculation_and_Ozonation_Processes_for_Treatment_of_Partially_Stabilized_Landfill_Leachate_of_Tehran/link/00b495355e308c5411000000/download. Acesso em: 12 out. 2020.

KLAUCK, C. R.; BENVENUTI, T.; RODRIGUES, M. A. S.. Processos oxidativos avançados como alternativa ao tratamento de chorume. **Tecnologia e Tendências**, v. 9. n.1, jan./jun. 2014. Disponível em:

<https://periodicos.feevale.br/seer/index.php/revistatecnologiaetendencias/article/view/1330/2064>. Acesso em: 12 out. 2020.

LAUFER, M. O que fazer com a literatura cinza? **Interciência**, Caracas, v. 32, n. 1, 2007. Disponível em: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000100003. Acesso em: 25 out. 2020.

LANGE, L. C. *et al.* Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por processo oxidativo avançado empregando reagente de Fenton. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 175-183, abr./jun. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/esa/v11n2/30478.pdf>. Acesso em: 4 ago. 2020.

MARAÑÓN, E. *et al.* Coagulation-flocculation as a pretreatment process at a landfill leachate nitrification-denitrification plant. **Journal of Hazardous Materials**, v. 15, p. 538-544, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389407018390>. Acesso em: 10 jul. 2020.

MENDÉZ-NOVELO, R. I. *et al.* Leachate Treatment with a combined Fenton/filtration/adsorption processes. **Ingeniería, Investigación y Tecnología**, v. xx, n. 2, p. 1-9, abr./jun. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/ii.25940732e.2019.20n2.013>. Acesso em: 10 ago. 2020.

MORAVIA, W. G.; LANGE, L. C.; AMARAL, M. C. S.. Avaliação de processo oxidativo avançado pelo reagente de Fenton em condições otimizadas no tratamento de lixiviado de aterro sanitário com ênfase em parâmetros coletivos e caracterização do lodo gerado. **Química Nova**, v. 34, n. 8, p. 1370-1377, 2011. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422011000800014&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 4 ago. 2020.

MORAVIA, W. G. **Estudo de caracterização, tratabilidade e condicionamento de lixiviados visando tratamento por lagoas**. 2007. 179 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ENGD-7AJN5A/1/wagner_guadagnin_moravia.pdf. Acesso em: 1º dez. 2020.

MOREIRA, D. A. *et al.* Parâmetros de transporte de metais pesados em resíduos sólidos urbanos. **Engenharia na agricultura**, v. 17, n. 4, jul./ago. 2009. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/reveng/article/view/3/2>. Acesso em: 5 jun. 2020.

MOHER D; *et al.* **PRISMA Group**: Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA Statement. *BMJ*, 2009. Tradução Taís Freire Galvão e Thais de Souza Andrade Pansani; retro-traduzido por: David Harrad. PORTO, C. de A. *et al.* Avaliação da coagulação/floculação como pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário utilizando coagulantes químico e natural. **Revista DAE**, v. 67, n. 2018, jul./set. 2019. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522011000400012&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 10 ago. 2020.

QUEIROZ, L. M. *et al.* Aplicação de processos físico-químicos como alternativa de pré e pós-tratamento de lixiviados de aterros sanitários. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 4, p. 403-410, out./dez. 2011. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1413-41522011000400012&script=sci_abstract&lng=pt. Acesso em: 10 ago. 2020.

RENOU, S. *et al.* Landfill leachate treatment: Review and opportunity. **Journal of Hazardous Materials**, v. 150, n. 3, p.468-493, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.077>. Acesso em: 10 maio 2020.

SAN PEDRO-CEDILLO, L. *et al.* Evaluation of adsorption and Fenton-adsorption processes for landfill leachate treatment. **Revista Mexicana de Ingeniería Química**, v. 14, n. 3, p. 745-755, 2015. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/620/62043088015.pdf>. Acesso em: 3 set. 2020.

TURKI, N. *et al.* Effective degradation and detoxification of landfill leachates using new combination process of coagulation/flocculation-Fenton and powder zeolite adsorption. **Desalination and Water Treatment**, v. 1, n. 12, 2014. DOI: [10.1080/19443994.2014.912590](https://doi.org/10.1080/19443994.2014.912590). Acesso em: 5 set. 2020.

VASCONCELOS, D. V. *et al.* Estudo da tratabilidade de lixiviado gerado em um aterro controlado. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v.12, n.3, mai./jun. 2017. DOI: [10.4136/ambi-agua.1957](https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1957). Acesso em: 1º jun. 2020.

ZHAO, X. *et al.* Removal and transformation characterization of refractory components from biologically treated landfill leachate by Fe²⁺/NaClO and Fenton oxidation. **Separation and Purification Technology**, v. 116, p. 107-113, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1383586613003237>. Acesso em: 4 set. 2020.

WANG, K. *et al.* Treatment of landfill leachate using activated sludge technology: a review. **Hindwai Archaea**, 2018, 10 p. DOI: <http://doi.org/10.1155/2018/1039453>. Acesso em: 10 maio 2020.

WEBLER, A. D.; MAHLER, C. F.; DEZOTTI, M. Tratamento de lixiviado por processos combinados: coagulação/floculação, *air stripping*, ozonização e lodo ativado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 5, sept./oct. 2018. DOI: [10.1590/S1413-41522018162946](https://doi.org/10.1590/S1413-41522018162946). Acesso em: 1º jul. 2020.

WISZNIOWSKI, J. *et al.* Landfill leachate treatment methods: a review. **Environ. Chem. Lett.**, v. 4, p. 51-61, 2006. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-005-0016-z>. Acesso em: 10 maio 2020.

YADAV, J. S.; DIKSHIT, A. K.. Effect of pretreatment by coagulation on stabilized landfill leachate during anaerobic treatment. **Cogent Environmental Science.**, v. 2, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/23311843.2016.1209993>. Acesso em: 10 set. 2020.

CAPÍTULO II

**CARACTERIZAÇÃO QUALI-QUANTITATIVA E TEMPORAL DO CHORUME
PRODUZIDO NO ATERRO SANITÁRIO MUNICIPAL DE FORMIGA – MG
“MARCELO REIS ARANTES”**

RESUMO

O presente capítulo tem como objetivo a caracterização quali-quantitativa temporal do chorume produzido no Aterro Sanitário Municipal de Formiga – MG “Marcelo Reis Arantes”, no período de 2010 a 2020, a fim de verificar se a diminuição da biodegradabilidade do efluente está ocorrendo ao longo dos anos. Para tal, foram realizados estudos estatísticos relativos ao período de março de 2010 a novembro de 2020 dos parâmetros DBO e DQO (entrada e saída), relação DQO/DBO e eficiências de remoções de DBO e DQO, pH (entrada e saída), condutividade elétrica (entrada e saída), sólidos sedimentáveis (entrada e saída), *Escherichia Coli* (entrada e saída), vazão de chorume (entrada e saída), precipitação e quantidade de resíduo aterrado. Para as análises laboratoriais foram avaliadas 8 variáveis analisadas em 65 campanhas ao longo de 11 anos. Procedeu-se com a codificação das variáveis estudadas e o tratamento de *missing data*, a realização de análises descritivas, análises inferenciais por meio da aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov (nível de significância de 5%) para testar a normalidade dos dados. Dessa forma, foram realizados testes não paramétricos (Mann-Whitney e Kruskal-Wallis) a um nível de significância de 5% para comparar as medianas observadas. Posteriormente, calculou-se os coeficientes de correlação de Spearman, a fim de calcular e testar a relação entre as variáveis laboratoriais com as variáveis quantidade de resíduo aterrado; vazão de chorume e precipitação. Na sequência, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis para testar as diferenças, comparando-se os anos de observação (2010 a 2020) das distribuições das variáveis. Observou-se que tanto a variável DBO quanto a DQO (saída) apresentaram aumentos significativos ao longo dos anos, em especial a partir de 2015 e 2011, respectivamente. Embora o sistema de tratamento apresentou eficiência de remoção dessas variáveis ao longo do período estudado, não foi a ponto de conseguir atender aos padrões da legislação ambiental. Foi verificado que está ocorrendo decaimento na eficiência do sistema de tratamento proposto, sendo recomendada a construção do 2º Módulo de Tratamento de Chorume e o acréscimo de processos físico-químicos ao tratamento biológico. A relação DQO/DBO apresentou medianas com valores iguais ou maiores a 3,0 na maioria dos anos, indicando que o chorume já exige cuidados na escolha do tratamento biológico. Porém, foram observadas evidências que o lixiviado já caminha para uma relação maior que 5,0, ou seja, para a zona de DQO/DBO elevada, significando a necessidade de tratamento físico-químico. Comparando os dados de DBO e DQO saída com as eficiências de remoção das respectivas variáveis fica evidente que o tratamento mostra eficiência de remoção para as variáveis observadas, mas não a ponto de reduzir a concentração de DQO para o VMP, a partir do ano de 2011. Dessa forma, percebe-se que o sistema de tratamento está apresentando diminuição de eficiência.

Palavras-chave: Biodegradabilidade. Composição do lixiviado. Monitoramento. Tratamento biológico.

1 INTRODUÇÃO

O chorume, também conhecido como lixiviado ou percolado, é um líquido de coloração escura e tem como características elevadas concentrações de compostos orgânicos e inorgânicos com características biodegradáveis e recalcitrantes, grandes concentrações de nitrogênio amoniacal e, ainda, metais pesados (GOMES; SHOENELL, 2018; KAWAHIGASHI *et al.*, 2014).

A geração do chorume, conforme explica Moravia (2007), pode ser influenciada por fatores como técnica de impermeabilização adotada, características dos resíduos (peso específico, granulometria, permeabilidade, grau de compactação, composição granulométrica etc.), fatores climáticos (temperatura, evapotranspiração e precipitação pluviométrica) e hidrogeológicos (geologia, topografia, escoamento superficial, infiltração e recirculação do chorume).

Carvalho *et al.* (2018) e Moravia (2010) explicam que fatores como granulometria e composição dos resíduos, tempo de deposição, pH e temperatura dos líquidos existentes no aterro, pluviosidade, forma de operação do aterro, dentre outros, contribuem diretamente na composição física, química e biológica do chorume, a qual é muito variável e complexa.

Sá, Jucá e Motta Sobrinho (2012) explicam que a fase de decomposição do chorume está diretamente ligada ao impacto que o mesmo vai causar ao meio ambiente. Sendo que o chorume de aterro novo é caracterizado pela presença de compostos tóxicos, microrganismos patogênicos, elevadas concentrações de DBO₅ (2.000 a 30.000 mg/L), DQO (3.000 a 60.000 mg/L) e pH ácido entre 4,5 e 6,0 (TCHOBANOGLIOUS *et al.*, 1993 *apud* ARAÚJO, 2019).

De acordo com Gomes *et al.* (2009), alguns dos problemas relatados sobre o tratamento do chorume estão relacionados às variações de vazão do efluente durante o ano, estando a mesma ligada ao período chuvoso e da composição dos resíduos, a qual varia de um aterro para outro.

Uma diminuição significativa da biodegradabilidade do chorume ocorre com o passar dos anos, uma vez que parte dos compostos biodegradáveis é convertida em gás metano e dióxido de carbono (SÁ; JUCÁ; MOTTA SOBRINHO, 2012). Dessa forma, o tratamento biológico apresenta eficiência limitada e necessita da associação de processos físico-químicos ao tratamento desse efluente (GOMES; SHOENELL, 2018).

O sistema de tratamento de chorume implantado no Aterro Sanitário Municipal de Formiga – MG “Marcelo Reis Arantes” é o biológico, composto por dois módulos, sendo que cada módulo tem duas lagoas anaeróbias e uma facultativa funcionando em série, além de dois leitos de secagem. O tratamento preliminar é único e atende aos dois módulos. O efluente circula pelas lagoas de forma descendente, por meio de tubulações construídas em cano de PVC com diâmetro de 150 mm instaladas na parte superior das lagoas.

Dessa forma, esta pesquisa tem como objetivo realizar a caracterização qualitativa e temporal do chorume produzido no Aterro Sanitário Municipal de Formiga – MG, no período de 2010 a 2020, a fim de verificar se há a ocorrência de alterações da biodegradabilidade do efluente ao longo dos anos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Aterro Sanitário Municipal “Marcelo Reis Arantes”, localizado na Fazenda Olaria, s/nº, na comunidade rural de Serrinha, no município de Formiga – MG, nas coordenadas geográficas 20º 27’42” S e 45º25’58” O. O acesso se dá pela rodovia BR-354, km 511, sentido Campo Belo – MG, o qual encontra-se em operação desde agosto de 2009.

Esse aterro sanitário tem Licença Ambiental de Operação (LO), sendo o mesmo enquadrado como Classe 3, conforme Deliberação Normativa COPAM nº 74/2004 (MINAS GERAIS, 2004). Como condicionante da LO, o empreendimento deve realizar o Programa de Automonitoramento, o qual, segundo Minas Gerais (2005), deve respeitar os parâmetros e a periodicidade estabelecidos pela Nota Técnica da Divisão de Monitoramento e Geoprocessamento (DIMOG) nº 003/2005 da Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM). Os parâmetros e frequência do monitoramento podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Programa de Monitoramento para efluentes de aterros sanitários

Variáveis	Classe 1	Classe 3	Classe 5
Cádmio total – mg L ⁻¹	Anual	Semestral	Trimestral
Chumbo total – mg L ⁻¹	Anual	Semestral	Trimestral
Cobre dissolvido – mg L ⁻¹	Anual	Semestral	Trimestral
Condutividade elétrica – $\mu\text{S cm}^{-1}$	Trimestral	Bimestral	Bimestral
DBO – mg L ⁻¹	Anual	Semestral	Trimestral
DBO – mg L ⁻¹	Trimestral	Bimestral	Bimestral
DQO – mg L ⁻¹	Trimestral	Bimestral	Bimestral
E.Coli – NMP 100ml ⁻¹	Trimestral	Bimestral	Bimestral
Fósforo total – mg L ⁻¹	Anual	Semestral	Trimestral
Níquel total – mg L ⁻¹	Anual	Semestral	Trimestral
Nitrogênio amoniacal total – mg L ⁻¹	Anual	Semestral	Trimestral
Nitratos – mg L ⁻¹	Anual	Semestral	Trimestral
pH	Trimestral	Bimestral	Bimestral
Sólidos sedimentáveis – mg L ⁻¹	Trimestral	Bimestral	Bimestral
Substâncias tensoativas – mg L ⁻¹	Anual	Semestral	Trimestral
Cloreto – mg L ⁻¹	Anual	Semestral	Trimestral
Testes de toxicidade aguda	Anual	Anual	Anual
Zinco total – mg L ⁻¹	Anual	Semestral	Trimestral

Fonte: MINAS GERAIS, 2005.

Para realizar a caracterização quali-quantitativa temporal do chorume produzido no aterro sanitário, foram realizados estudos estatísticos relativos ao período de março de 2010 a novembro de 2020 das variáveis laboratoriais DBO (entrada e saída), DQO (entrada e saída), relação DQO/DBO, eficiências de remoções de DBO e DQO. Foram avaliadas, também, as variáveis vazão de chorume (entrada e saída), precipitação e quantidade de resíduos aterrados relativas ao período de 2010 a 2020. As demais variáveis laboratoriais, nas frequências bimestrais, semestrais e anuais, não foram utilizadas nos estudos estatísticos.

O banco de dados contendo as informações relativas às análises laboratoriais, vazão de chorume e quantidade de resíduos aterrados no período de janeiro/2010 a dezembro/2020 foi fornecido pela Secretaria Municipal de Gestão Ambiental/Prefeitura Municipal de Formiga. As permissões para uso do banco de

dados e projetos do aterro sanitário para produzir a dissertação e o produto técnico encontram-se nos anexos A e B.

Os dados relativos à precipitação foram extraídos junto ao banco de dados da estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), instalada no município de Formiga, os quais correspondem ao período supracitado. Foram realizadas várias reuniões¹⁴, ao longo do desenvolvimento do trabalho, com os responsáveis técnicos que estiveram à frente da gestão do aterro sanitário, com o objetivo de buscar informações que ajudassem a entender melhor o comportamento do chorume ao longo dos anos.

O monitoramento das variáveis que compõem o banco de dados foi realizado bimensalmente no aterro sanitário, somando um total de 6 campanhas por ano. Porém, no ano de 2010, foram realizadas apenas cinco campanhas, devido ao fato de o monitoramento ter iniciado no mês de março. Para o ano de 2016, foram apresentadas cinco campanhas, enquanto para 2018 foram apresentadas apenas quatro campanhas, sendo as reduções no quantitativo das campanhas justificadas devido a falhas na execução do Programa de Automonitoramento. Sendo assim, o universo amostral de dados é de cinco variáveis, analisadas em 65 campanhas ao longo de 11 anos.

2.1 Análises estatísticas

Os dados foram analisados no software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) v.28, sendo que, inicialmente, procedeu-se à codificação das variáveis estudadas, assim como o tratamento dos dados faltantes (*missing data*) por meio da substituição desses, para cada variável, pelo valor da mediana da distribuição dos dados completos.

Após a preparação do banco de dados, foram realizadas análises descritivas por meio da construção de tabelas e gráficos, além do cálculo das medidas resumo (mínimo, máximo, mediana, média e desvio-padrão) para os dados de entrada e saída das variáveis DBO, DQO, pH, *Escherichia Coli*, sólidos sedimentáveis, condutividade elétrica e vazão de chorume), além da relação DQO/DBO, eficiências de remoção de

¹⁴ Reuniões realizadas com todos os responsáveis técnicos que trabalharam na gestão do aterro sanitário no período estabelecido para o estudo, visando à coleta de informações sobre os métodos de operação empregados e o entendimento do comportamento do chorume.

DBO e DQO, quantidade de resíduo aterrado e precipitação, observadas no período 2010 a 2020. Para a visualização do comportamento das variáveis analisadas ao longo do tempo (anos 2010 a 2020), foram construídos gráficos de linhas.

Como análises inferenciais, inicialmente, procedeu-se ao cálculo do teste de Kolmogorov-Smirnov (com 5% de significância) para testar a hipótese de normalidade das variáveis observadas, sendo que, à exceção da variável pH (entrada e saída), todas as demais não apresentaram esse pressuposto. Dessa forma, foram utilizados testes não paramétricos, a fim de comparar as médias observadas para as variáveis, comparando os momentos de entrada e saída do aterro sanitário (teste de Mann-Whitney) e os anos observados (teste de Kruskal-Wallis), considerando-se um nível de significância de 5%.

A partir desses resultados, foram calculados os coeficientes de correlação de Spearman, a fim de calcular e testar a relação entre as variáveis laboratoriais com as variáveis quantidade de resíduo aterrado; vazão de chorume e precipitação. Na sequência, utilizou-se o teste de Kruskal-Wallis para testar as diferenças, comparando-se os anos de observação (2010 a 2020) das distribuições das variáveis laboratoriais, assim como as variáveis quantidade de resíduo aterrado, vazão de chorume e precipitação. Por fim, para comparar as distribuições das variáveis DBO, DQO, relação DQO/DBO, eficiências de remoções de DBO e DQO, pH, sólidos sedimentáveis, *Escherichia coli*, condutividade elétrica e vazão de chorume, considerando os momentos de entrada e saída do chorume, foi realizada a análise por meio do teste de Mann-Whitney.

Para todos os testes realizados, foi considerado um nível de significância de 5%, assim, diferenças significativas foram identificadas com valores $p < 0,05$.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Panorama geral das características do chorume tratado ao longo de 11 anos

A Tabela 2 apresenta os resultados referentes à estatística descritiva (mínimo, máximo, média e desvio padrão) das variáveis observadas no período de 2010 a 2020.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas das variáveis observadas no período 2010 a 2020

Variável	n	Mínimo	Máximo	Mediana	Média	DP*
DBO (mg L ⁻¹) 1) Entrada Saída	65	23,2	9487,2	336,7	939,8	1432,8
		5,1	644,1	47,3	127,4	152,0
DQO (mg L ⁻¹) entrada Saída	65	219,0	24344,0	1677,4	2675,6	3579,6
	65	24,0	1778,3	424,1	468,1	359,3
Relação DQO/DBO	65	1,0	56,5	4,1	6,8	10,8
Eficiência de remoção (%) – DBO	65	-299,0	98,9	77,0	70,1	51,6
Eficiência de remoção (%) – DQO	65	-222,0	97,8	71,7	67,7	41,6
pH entrada saída	65	5,5	8,9	7,8	7,8	0,6
	65	5,0	10,1	7,9	7,9	0,7
Sólidos sedimentáveis (ml L ⁻¹) entrada saída	65	0,1	6,0	0,5	0,8	1,1
	65	0,1	2,0	0,3	0,3	0,3
<i>Escherichia coli</i> (NMP 100 ml ⁻¹) entrada saída	65	1,0	12200000,0	22050,0	311819,2	1533500,3
	65	1,0	495000,0	1729,5	23274,0	71555,5
Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹) entrada saída	65	0,4	38310,0	81,5	5944,4	7888,3
	65	0,4	8356,0	3,0	1768,3	2381,8
Resíduo aterrado (kg)	65	131110,0	1255280,0	1014545,0	1009447,5	159440,6
Vazão chorume (L) entrada Saída	65	64800,0	4444800,0	423537,1	423537,1	719850,2
	65	0,0	4224000,0	186972,0	186972,0	551124,9
Precipitação (mm)	65	0,0	515,6	123,4	108,8	125,2

Fonte: Dados da pesquisa, 2021. *DP = desvio-padrão.

De acordo com a Tabela 2, é possível observar grandes variações no DP sendo que a maioria está relacionada às variáveis de entrada do tratamento do chorume, as quais não dependem do tratamento do chorume e sim de sua composição. Segundo Carvalho *et al.* (2018), a composição física, química e biológica do chorume é complexa e muito variável e depende de diversos fatores, como: tipo de resíduo

depositado, tempo de disposição do resíduo, forma de operação do aterro, pluviosidade, condições geológicas locais, dentre outros. Como houve grandes variações na entrada, esperava-se que também ocorresse na saída, como de fato aconteceu. As variáveis de saída do tratamento de chorume também sofrem influência direta de sua composição.

Importante ressaltar que a vazão de chorume pode apresentar grandes variações, haja vista que a produção do mesmo é influenciada por fatores climáticos, hidrogeológicos, características dos resíduos, camada de cobertura, além do tipo de impermeabilização do local (GOMES *et al.*, 2009).

A eficiência média de remoção de DBO e DQO do sistema ao longo desses 11 anos ficou dentro do limite exigido pela legislação DN COPAM CERH nº 001/2008, que é a média anual igual ou superior a 70% para DBO e 65% para DQO (MINAS GERAIS, 2008). Mas, ao analisar ano a ano nos gráficos (1C e 1D) e também no banco de dados, foram observados vários valores abaixo, inclusive valores negativos de eficiência, levando a diferenças significativas quando os valores de eficiência foram comparados ano a ano (quadro 5). Esse fato foi investigado junto ao banco de dados do aterro sanitário e em reuniões, revelando que, em algumas ocasiões, no momento da coleta, o chorume não havia completado seu tempo de detenção hidráulica (TDH), o qual corresponde ao período de 90 dias dentro do sistema de tratamento, possuindo, assim, maiores valores de DQO e DBO que, muitas vezes, estavam acima do permitido pela lei.

Outra observação registrada foi feita pelo próprio laboratório responsável pela coleta, relatando a ausência de lançamento (em alguns meses dos anos 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016) de chorume tratado no corpo receptor no momento da coleta e que a mesma estava sendo realizada dentro da lagoa facultativa. Na maior parte do tempo, o chorume ficava armazenado na lagoa facultativa, até que a mesma atingisse sua capacidade máxima e não realizava-se o lançamento do lixiviado. Essa medida era adotada, principalmente, no período de seca, uma vez que, nessa época do ano, a vazão do corpo hídrico receptor diminuía muito, além do fato de existir um barramento para captação de água para abastecimento das fazendas confrontantes e, também, ao fato de ter sido realizada a recirculação do lixiviado, sendo que a mesma ocorreu várias vezes nos anos 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016. Provavelmente, essa recirculação se deu como manobra para depurar mais o efluente antes do lançamento no corpo receptor. Segundo Antônio (2012), o aumento na

produção de biogás e a melhora na qualidade do chorume podem ser observados com a realização da recirculação do lixiviado, uma vez que, ao realizar a mesma, o aterro sanitário deixa de ser um local para disposição de resíduos sólidos e assume a função de um biorreator de tratamento, onde ocorre a biodegradação da matéria orgânica. Após o emprego da técnica de recirculação, verificam-se melhorias na qualidade do chorume, no que diz respeito aos parâmetros COT, DBO e DQO (MATOS, 2008).

Analisando a relação DQO/DBO, é esperado um grande desvio padrão dessa relação, porque acredita-se que, ao longo dos anos, seu comportamento mude. A tendência é de que ela aumente devido ao fato de que ocorre uma redução gradativa da fração biodegradável, enquanto a inerte fica aproximadamente inalterada (VON SPERLING, 1996).

Para a variável sólidos sedimentáveis não observou-se variação significativa de seu DP. Com relação à *Escherichia Coli*, a grande variação do DP era esperada por se tratar de um lixiviado proveniente de decomposição aeróbia e anaeróbia de resíduos sólidos, o que agrega ao chorume uma diversidade de microrganismos. Enquanto para a condutividade elétrica a variação do desvio padrão pode ser explicada devido ao fato de o chorume gerado em aterros sanitários brasileiros ter essa característica (SOUTO; POVINELLI, 2007).

As demais variáveis (vazão de chorume, resíduo aterrado e precipitação) foram utilizadas na análise estatística para caracterizar e tentar entender o comportamento do chorume, sendo que a precipitação e a quantidade de resíduo aterrado influenciam diretamente na geração de chorume. Importante ressaltar que o valor de 0 para a vazão de saída do chorume foi atribuído devido às falhas de preenchimento do banco de dados que apresentava muitos dados faltantes.

O Quadro 3 apresenta correlação de Spearman entre as variáveis.

Quadro 3 – Coeficientes de Correlação de Spearman

		DBO Entrada	DBO saída	DQO entrada	DQO saída	Relação DQO_ DBO	Remoção DBO	Remoção DQO	Resíduo aterrado	Vazão chorume entrada	Vazão chorume saída	Precipita ção
DBO_entrada	Rho	--										
	p- valor											
DBO_saída	Rho	,639**	--									
	p- valor	0,000										
DQO_entrada	Rho	,806**	,499**	--								
	p- valor	0,000	0,000									
DQO_saída	Rho	,320**	,742**	,439**	--							
	p- valor	0,009	0,000	0,000								
Relação_DQO_D BO	Rho	-,581**	-,386**	-0,107	-0,017	--						
	p- valor	0,000	0,001	0,394	0,890							
Remoção_DBO	Rho	,437**	-,309*	,302*	-,397**	-,369**	--					
	p- valor	0,000	0,012	0,015	0,001	0,002						
Remoção_DQO	Rho	,395**	-0,206	,453**	-,469**	-0,154	,696**	--				
	p- valor	0,001	0,099	0,000	0,000	0,220	0,000					
Resíduo aterrado	Rho	-0,158	0,065	-0,076	0,240	0,177	-0,091	-,296*	--			
	p- valor	0,208	0,605	0,547	0,054	0,159	0,471	0,017				

Vazão chorume_entrada	rho	0,209	,380**	0,115	,263*	-0,061	-0,098	-0,190	,445**	--		
	p-valor	0,095	0,002	0,362	0,034	0,629	0,439	0,130	0,000			
Vazão chorume_saída	Rho	,427**	,415*	0,266	0,270	-0,288	0,208	0,108	,391*	,663**	--	
	p-valor	0,009	0,012	0,117	0,112	0,089	0,224	0,533	0,018	0,000		
Precipitação	Rho	0,014	0,131	-0,035	0,009	0,125	-0,005	-0,055	,478**	,701**	,478**	--
	p-valor	0,911	0,296	0,782	0,944	0,323	0,969	0,666	0,000	0,000	0,003	

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

** . A correlação é significativa no nível de 1%.

* . A correlação é significativa no nível de 5%.

Os coeficientes de correlações (ρ) marcados em cinza no Quadro 3 se mostraram significativos, isto é, diferentes de zero.

A relação DQO/DBO apresentou forte correlação com a DBO entrada e saída, não sendo observada correlação com a DQO, o que pode ser explicado devido ao fato de o tratamento do chorume ser biológico. Segundo Jardim e Canela (2004), a DBO avalia a tratabilidade biológica de um efluente, sendo possível observar a relação de que quanto maior for o valor de DBO, maior será a labilidade dos compostos orgânicos presentes no efluente. Enquanto a DQO avalia a recalcitrância dessa mesma carga orgânica.

A precipitação não influenciou no tratamento ao longo dos anos, mas tem correlação positiva com vazão de chorume e com o resíduo aterrado. De acordo com Helene (2019), existe influência direta da quantidade de água pluvial que infiltra no maciço de resíduos de um aterro sanitário com a geração de chorume. O volume produzido pode apresentar grandes variações, devido a fatores internos e externos à plataforma de disposição de resíduos (CHRISTENSEM, 2011). O processo de geração de chorume, conforme explica Gomes *et al.* (2009), pode ser influenciado também pelas características dos resíduos, como composição gravimétrica, peso específico, compactação, granulometria e permeabilidade.

A vazão de chorume (entrada) influenciou positivamente as saídas de DBO e DQO, podendo-se inferir que, ao aumentar a vazão de chorume, aumentam-se também os valores de DBO e DQO. Ao analisar os Gráficos 1A e 1B, os quais são relativos a DBO saída e eficiência de remoção de DBO, respectivamente, percebe-se que, em alguns anos, ocorreram a eficiência de remoção do tratamento, mas, por outro lado, a partir de 2015, o sistema não conseguiu atingir concentrações menores que 60 mg/L, conforme é exigido pela legislação ambiental, ou seja, o tratamento mostra eficiência de remoção da variável em alguns anos, mas não a ponto de reduzir a concentração de DBO para o VMP (60 mg/L), a partir de 2015. A mesma situação pode ser observada para a variável DQO. Ao analisar os gráficos 1C e 1D (saída de DQO e eficiência de remoção de DQO, respectivamente) percebe-se que o tratamento mostrou eficiência de remoção para a variável, com exceção do intervalo entre o ano de 2019 e 2020. Entretanto, desde o ano de 2011, não conseguiu mais reduzir a concentração de DQO a ponto de atender o VMP (180 mg/L) exigido pela legislação. O que pode ser um indicativo de que o sistema não esteja sendo eficiente.

A quantidade de resíduo aterrado influenciou nas vazões de entrada e saída de chorume, comportamento que era esperado, haja vista que quanto maior a quantidade de resíduos aterrado, maior será a produção de chorume, ou seja, as vazões que chegam na estação de tratamento. A produção de chorume em aterro sanitário é passível de grandes variações, sendo que a mesma é influenciada por fatores ambientais (temperatura, precipitação, evapotranspiração, topografia e geologia local, infiltração, escoamento superficial), de operação (tempo de aterramento e compactação dos resíduos) e características dos resíduos, como peso específico, composição granulométrica, permeabilidade, granulometria, grau de compactação, além de características biodegradáveis e recalcitrantes (MORAVIA, 2007; FELICI *et al.*, 2013; RIBEIRO; BUSS; MENEZES, 2015; GOMES; SHOENELL, 2018).

A comparação de medianas das variáveis estudadas (entrada x saída) no período de 2010 a 2020 pode ser observada no Quadro 4.

Quadro 4 – Comparação de medianas das variáveis observadas – entrada x saída (anos 2010 a 2020)

Variável	Mediana Entrada	Mediana Saída	U de Mann-Whitney *	p-valor
DBO (mg L ⁻¹)	336,7	47,3	645,0	< 0,010
DQO (mg L ⁻¹)	1677,4	424,0	141,0	< 0,010
pH	7,8	7,9	2339,0	0,292
Sólidos sedimentáveis (mg L ⁻¹)	0,5	0,3	1544,5	< 0,010
<i>Escherichia coli</i> (NMP 100ml ⁻¹)	22050,0	1129,5	1422,5	< 0,010
Condutividade elétrica (µS cm ⁻¹)	81,5	3,0	1419,0	< 0,010

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

Obs: os dados estão apresentados no formato média ± desvio-padrão.

*resultado do teste de Mann-Whitney, com nível de significância de 5%.

Apenas a variável pH não apresenta diferença significativa entre as médias observadas na entrada e saída do AS-MRA no período analisado (2010 a 2020), segundo o teste de Mann-Whitney, com 5% de significância. As demais variáveis (DBO, DQO, sólidos sedimentáveis, *Escherichia Coli* e condutividade elétrica) apresentaram diferença significativa, o que era totalmente esperado, senão haveria problemas com o tratamento do chorume.

Por meio do Quadro 5 é possível observar a comparação das médias das variáveis coletadas no período de 2010 a 2020.

Quadro 5 – Comparação de medianas entre os anos de coleta – 2010 a 2020

Variável	p-valor*
DBO (mg L ⁻¹) - entrada	0,000
DBO (mg L ⁻¹) - saída	0,000
DQO (mg L ⁻¹) - entrada	0,027
DQO (mg L ⁻¹) - saída	0,000
Relação DQO e DBO	0,002
Eficiência de remoção (%) - DBO	0,020
Eficiência de remoção (%) - DQO	0,009
pH - entrada	0,628
pH - saída	0,279
Sólidos sedimentáveis (ml L ⁻¹) - entrada	0,034
Sólidos sedimentáveis (ml L ⁻¹) - saída	0,005
<i>Escherichia coli</i> (NMP 100 ml ⁻¹) - entrada	0,073
<i>Escherichia coli</i> (NMP 100 ml ⁻¹) - saída	0,019
Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹) - entrada	0,000
Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹) - saída	0,000
Resíduo aterrado (kg)	0,004
Vazão de chorume (L) - entrada	0,101
Vazão de chorume (L) - saída	0,007
Precipitação (mm)	0,886

Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

*resultado não significativo do teste de Kruskal-Wallis, com nível de significância de 5%.

As variáveis pH (entrada e saída), *Escherichia Coli* (entrada), vazão de entrada de chorume e precipitação não apresentaram diferenças significativas entre as médias observadas, comparando-se os anos 2010 a 2020, segundo o teste de Kruskal-Wallis, com 5% de significância. Era esperado que a vazão de entrada e saída de chorume aumentasse com o passar dos anos, haja vista que a produção de resíduos aumenta a cada ano, o que pode ser observado na maior parte dos anos, conforme banco de dados do AS-MRA e também pelas informações obtidas junto ao SNIS, em que é possível verificar um aumento de 3,70% na estimativa de resíduos sólidos coletados no ano de 2019, quando comparado ao ano de 2018 (BRASIL, 2020). Porém, esse fato não pode ser observado para a vazão de saída de chorume, nem tão pouco o resultado se deve ao fato de haver diferença, o que pode ser explicado devido ao fato

de o banco de dados ter sido preenchido de forma incorreta, sendo que o mesmo tem muitos dados faltantes. Se tivesse sido preenchido da forma correta, haveria diferenças significativas.

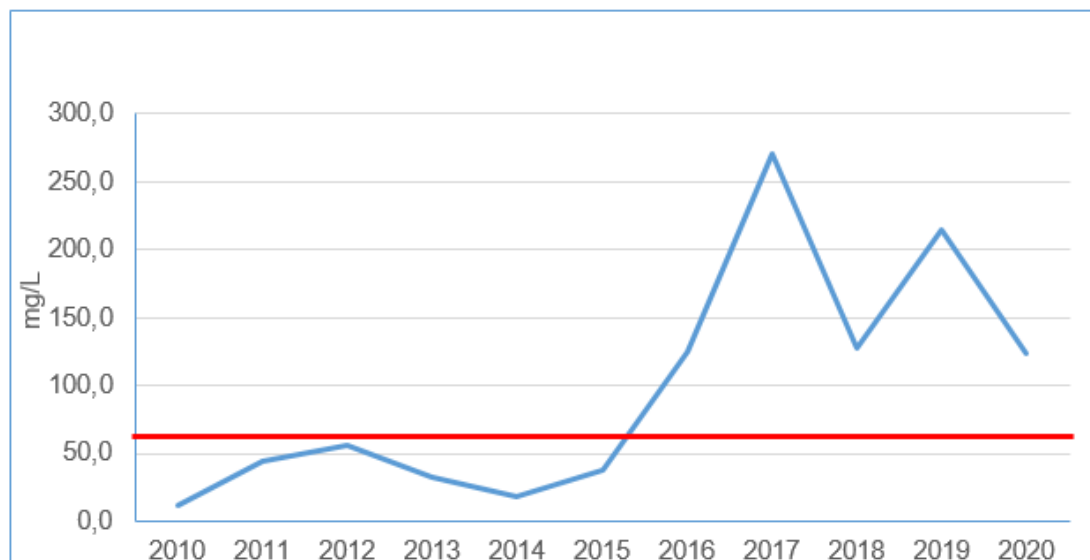
3.2 Eficiência da biodegradabilidade do sistema

Aqui são analisados e discutidos, temporalmente, o comportamento das principais variáveis responsáveis pela eficiência da biodegradabilidade do sistema de tratamento do chorume.

3.2.1 Saída DBO e DQO e eficiência de remoção de DBO e DQO

A distribuição temporal das medianas das variáveis saída e eficiência de remoção de DBO e DQO, no período de 2010 a 2020, pode ser visualizada por meio dos Gráficos 1A a 1D.

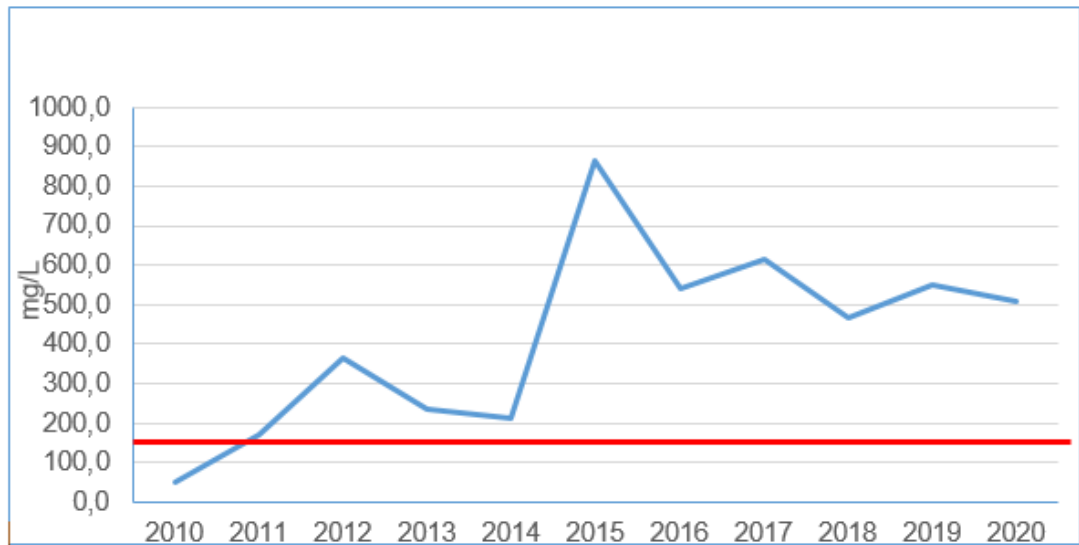
Gráfico 1 A – Distribuição temporal das medianas da variável DBO saída nos anos de 2010 a 2020



Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

Legenda: A linha vermelha representa o valor máximo permitido (VMP) pela legislação ambiental COPAM – CERH nº 001/2008 para lançamento de chorume: 60 mg/L.

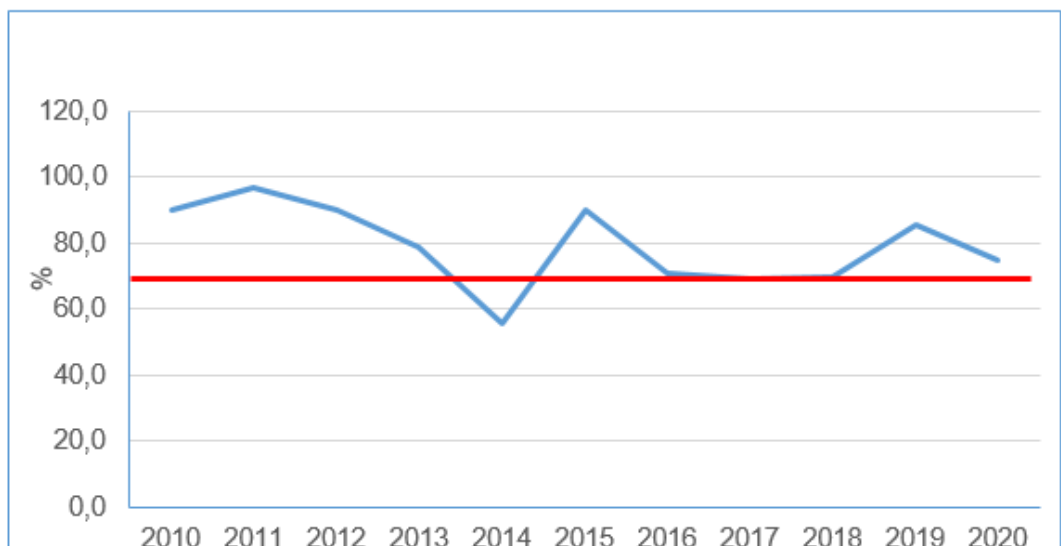
Gráfico 1B – Distribuição temporal das medianas da variável saída de DQO nos anos de 2010 a 2020



Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

Legenda: A linha vermelha representa o valor máximo permitido (VMP) pela legislação ambiental COPAM – CERH nº 001/2008 para lançamento de chorume: média anual de remoção mínima de 180 mg/L.

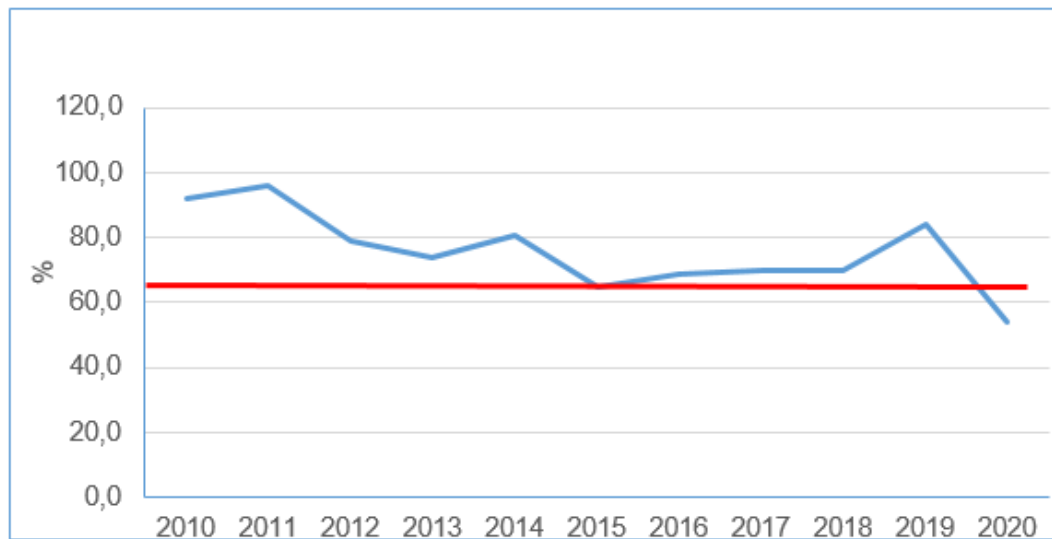
Gráfico 1C – Distribuição temporal das medianas da variável eficiência de remoção de DBO nos anos de 2010 a 2020



Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

Legenda: A linha vermelha representa o valor máximo permitido (VMP) pela legislação ambiental COPAM – CERH nº 001/2008 para lançamento de chorume: média anual de remoção mínima de 70%.

Gráfico 1D – Distribuição temporal das medianas da variável eficiência de remoção de DQO nos anos de 2010 a 2020



Fonte: Dados da pesquisa, 2021

Legenda: A linha vermelha representa o valor máximo permitido (VMP) pela legislação ambiental COPAM – CERH nº 001/2008 para lançamento de chorume: média anual de remoção mínima de 65%.

Ao analisar os gráficos 1A e 1C, verifica-se um aumento significativo da concentração de DBO a partir do ano de 2015, quando é possível observar que todas as concentrações de DBO (no período de 2015 a 2020) estão fora do padrão estabelecido pela Resolução Conjunta COPAM - CERH 001/2008, a qual estabelece o valor de 60 mg/L (VMP) para o lançamento dessa variável (MINAS GERAIS, 2008). Percebe-se que, em alguns anos, ocorreu a eficiência de remoção (valores acima de 70%) de DBO no tratamento, porém, a partir do ano de 2015, o sistema não conseguiu atingir concentrações menores ou iguais à exigida pela legislação (VMP). Ao correlacionar os dados apresentados pelos dois gráficos fica evidente que o tratamento mostra a eficiência de remoção de DBO em alguns anos, mas não a ponto de reduzir a concentração de DBO para o VMP, a partir do ano de 2015.

Ao analisar os gráficos 1C e 1D, observa-se também um aumento significativo da concentração de DQO a partir do ano de 2011, sendo possível verificar que, a partir desse ano, todas as medianas estão fora do padrão estabelecido pela Resolução Conjunta COPAM - CERH 001/2008, a qual estabelece o valor de 180 mg/L (VMP) para o lançamento dessa variável (MINAS GERAIS, 2008). Verifica-se que, na maioria dos anos, ocorreu a eficiência de remoção de DQO no tratamento (média anual de

65%, entretanto, a partir do ano de 2011, o sistema não conseguiu mais atingir concentrações menores ou iguais à exigida pela legislação que é 180 mg/L (MINAS GERAIS, 2008). Da mesma forma que aconteceu com a variável DBO, ao comparar os dados apresentados pelos dois gráficos, fica evidente que o tratamento mostra eficiência de remoção de DQO na maioria dos anos, mas não a ponto de reduzir a concentração de DQO para o VMP, a partir do ano de 2011.

Tais fatos evidenciam a diminuição da eficiência do tratamento, bem como a necessidade de adoção de um pós-tratamento e, ainda, de construção do 2º Módulo de Tratamento de Chorume, haja vista que o projeto desse aterro sanitário contempla os dois módulos, sendo que apenas um não seria suficiente para tratar a vazão final de plano da estação que é de 53,12 m³/dia, uma vez que cada módulo tem a capacidade de tratar 26,56 m³/dia de chorume. Além do fato de que a construção do 2º Módulo pode garantir o aumento do tempo de detenção hidráulica do efluente dentro da estação (principalmente em períodos chuvosos, quando se tem um aumento muito expressivo da vazão de chorume nas estações de tratamento), o que contribuirá para a manutenção da eficiência do tratamento biológico.

O decaimento da eficiência de remoção tanto de DBO quanto de DQO pode ser comprovado devido ao fato de o chorume ter alta concentração de compostos orgânicos e inorgânicos de baixa biodegradabilidade e recalcitrantes e que, com o passar dos anos, ocorre uma diminuição significativa de sua biodegradabilidade, sendo que a utilização de apenas processos biológicos no seu tratamento não é suficiente para alcançar os níveis de eficiência desejados, além de atendimento aos padrões de lançamento de efluentes e de enquadramento dos corpos receptores. Desse modo, o chorume pode causar impactos ambientais gravíssimos, quando dispostos sem um tratamento adequado e eficiente (SÁ; JUCÁ; MOTTA SOBRINHO, 2012; FELICI *et al.*, 2013; GOMES; SHOENELL, 2018).

Analisou-se também os dados brutos do banco de dados do aterro sanitário, buscando o enriquecimento da discussão. Com relação à DBO, percebe-se que 29 das 65 campanhas ocorridas no período de 2010 a 2020 não atenderam ao padrão de lançamento estabelecido pela legislação ambiental (60 mg/L). Para a eficiência de remoção de DBO, verificou-se a ocorrência de dois *outliers*, sendo um em janeiro/2013 e o outro em setembro/2015. Ao longo dos 11 anos, das 65 campanhas realizadas, 11 não atenderam à legislação, conforme exigido pela Resolução Conama 357/2005, alterada e complementada pela Resolução Conama 430/2011 e Resolução Conjunta

Copam - CERH 001/2008, cujo percentual de remoção é de 60%. Analisando sob a ótica das médias anuais, 18 campanhas apresentaram valores inferiores ao exigido pelas legislações supracitadas, que é 70% (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011; MINAS GERAIS, 2008).

Ao verificar o banco de dados para a realização de análises da variável DQO, percebe-se que 47 das 65 campanhas ocorridas no período de 2010 a 2020 não atenderam ao padrão de lançamento estabelecido pela legislação ambiental (180 mg/L). O que retrata a recalcitrância do lixiviado, haja vista que essa variável representa a fração inerte do chorume (JARDIM; CANELA, 2004). No que diz respeito à eficiência de remoção de DQO, observou-se a ocorrência de um *outlier*, em janeiro/2013. No período de estudo, das 65 campanhas realizadas, 10 não atenderam à legislação, conforme exigido pela Resolução Conama 357/2005, alterada e complementada pela Resolução Conama 430/2011 e Resolução Conjunta Copam - CERH 001/2008, cujo percentual de remoção é de 55%. Por outro lado, ao verificar a eficiência sob o ponto de vista das médias anuais, 17 campanhas apresentaram valores inferiores ao exigido pelas legislações supracitadas, que é de 65% (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011; MINAS GERAIS, 2008).

A ocorrência dos *outliers*, tanto para a eficiência de remoção de DBO quanto para DQO, deve ser explicada pelo fato de o chorume não ter completado o TDH no sistema de tratamento, podendo ser observado que, para ambos os casos, os valores de saída foram maiores do que os da entrada.

A necessidade de construção do 2º Módulo pode vir ao encontro das variações de vazão do chorume, o que pode comprometer o tratamento, do ponto de vista de que, quando se aumenta significativamente a vazão de chorume, o tratamento não consegue responder, sendo que esse fato pode ser percebido na correlação positiva. De acordo com Gomes *et al.* (2009), alguns dos problemas relatados sobre o tratamento do chorume estão relacionados às variações de vazão do efluente durante o ano, sendo que a mesma está diretamente relacionada ao período chuvoso e à composição dos resíduos, a qual varia de um aterro para outro.

Entretanto, apesar de a variável DBO saída não estar atendendo à legislação ambiental na maior parte das análises laboratoriais, foi informado pelos técnicos responsáveis pelo aterro sanitário, em reuniões realizadas, que os lançamentos de chorume só ocorriam quando a capacidade da lagoa facultativa estivesse no limite, devido ao fato de o córrego a jusante ter pouca vazão (principalmente no período de

seca) e ter um barramento a montante do lançamento para fornecimento de água às propriedades vizinhas (medida adotada nos anos de 2010 a 2016). Para os demais anos, foi informado que o lançamento era realizado assim que o chorume completasse o tempo de detenção hidráulica no sistema de tratamento. Em alguns momentos, no período de 2012 a 2016, realizou-se, também, a recirculação do chorume.

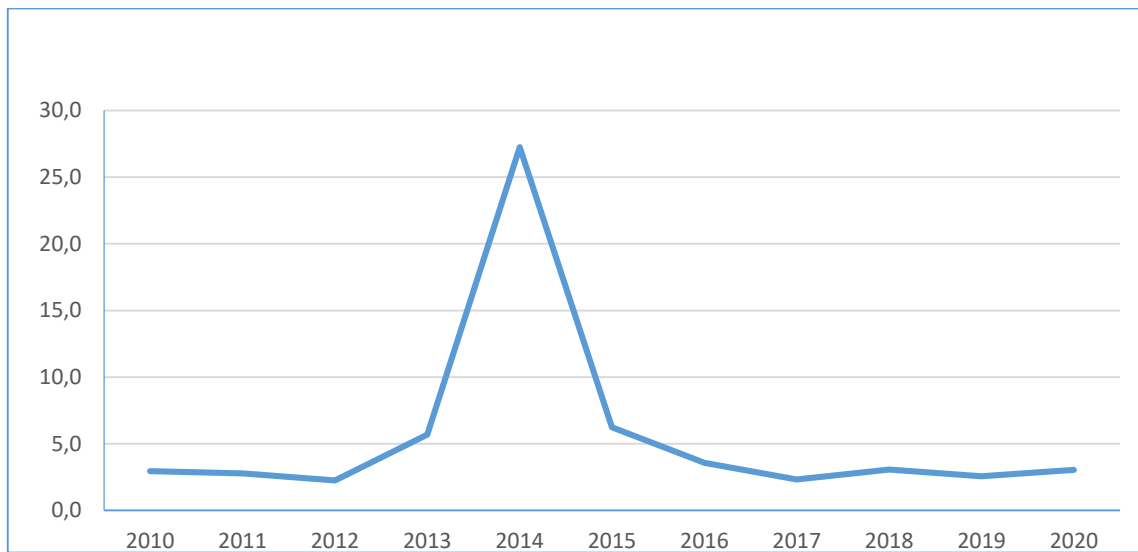
Outro ponto importante é a brecha que a legislação ambiental tem, haja vista que o empreendimento, tratando-se de DBO, pode atender à mesma ao atingir valores de concentração inferiores a 60 mg/L a cada análise laboratorial realizada ou atender à média anual de remoção (70%), conforme estabelecido pela Resolução Conama 357/2005 (alterada e complementada pela Resolução Conama 430/2001) e Resolução Conjunta Copam - CERH 001/2008 (BRASIL, 2005; BRASIL 2011; MINAS GERAIS, 2008). Entretanto as mesmas são falhas por não exigirem como padrão de lançamento a carga poluidora, haja vista que o chorume tem elevada carga poluidora e seu descarte sem tratamento adequado no meio ambiente implica em problemas ambientais gravíssimos (PEREIRA, 2020).

Dessa forma, tinha-se a intenção de realizar o cálculo da carga poluidora do chorume nesta pesquisa, contudo, não foi possível fazê-lo devido ao fato de o banco de dados de vazão de chorume estar preenchido de forma incorreta e inconsistente, com a ausência de muitos dados.

3.2.2 Relação DQO/DBO

A relação DQO/DBO das medianas no período de 2010 a 2020 pode ser observada por meio do Gráfico 2.

Gráfico 2 – Distribuição temporal das medianas da variável relação DQO e DBO nos anos de 2010 a 2020



Fonte: Dados da pesquisa, 2021.

Ao analisar o gráfico e as medianas anuais, pode-se perceber que, na maioria dos anos, a relação DQO/DBO esteve maior ou igual a 3, podendo ser observada a ocorrência de dois valores acima de 5. A relação DQO/DBO traz indicações sobre a biodegradabilidade do efluente e também qual método de tratamento a ser aplicado. Espera-se um aumento da mesma com o passar do tempo, uma vez que ocorre a redução da fração biodegradável, enquanto que a fração inerte tem características recalcitrantes e permanece praticamente inalterada (VON SPERLING, 1996).

Como a maior parte das medianas apresentou valores maiores ou iguais a 3 é indicativo de que esse chorume ainda requer tratamento biológico. De acordo com Jardim e Canela (2004), quando a relação $5 < \text{DQO/DBO} \leq 2,5$ é indicativo de que tal efluente necessita de cuidados na escolha do processo biológico para se alcançar uma remoção desejável de carga orgânica

Entretanto, considerando-se que a maior parte das medianas apresentou valores maiores ou iguais a 3, a ocorrência de três valores acima de 5, e devido ao fato de a variável DQO estar apresentando comportamento recalcitrante e ainda ao fato de que essa relação tende a aumentar com o tempo, é indicativo de que esse chorume já caminha para a zona da relação DQO/DBO elevada, o que significa a necessidade de tratamento físico-químico, já que a fração inerte (não biodegradável) é elevada (VON SPERLING, 1996).

O aumento mais significativo para a relação DQO/DBO começa a ser observado em 2013, tendo seu ponto máximo no ano de 2014, apresentando mediana muito discrepante quando comparada aos demais, sendo maior do que 25. A alta variação pode ter a ver com os requisitos operacionais adotados na época e com o fato de a fração biodegradável (DBO) estar sendo reduzida, ao passo que a inerte (DQO) vem apresentando comportamento recalcitrante. Em 2015, a relação tende a voltar ao seu “padrão”, mas ainda apresenta valor acima de 5.

3.3 Dificuldades encontradas

Durante a condução da pesquisa, foram observados alguns problemas no monitoramento realizado no tratamento do chorume do aterro sanitário de Formiga – MG, como troca de laboratório responsável pela realização das análises e, conseqüentemente, mudanças nas metodologias de apresentação dos resultados laboratoriais, ou seja, falta de padrão na apresentação dos registros por parte do laboratório (ora os valores eram apresentados de forma absoluta, ora utilizando os sinais matemáticos de maior ou menor que, podendo o resultado ser uma infinidade de valores dentro desse intervalo numérico); ausência de dados em alguns meses devido à não realização do monitoramento e mudança da periodicidade de realização das análises.

O monitoramento desse aterro sanitário não se resume apenas aos parâmetros DBO, DQO, relação DQO/DBO e eficiência de remoções de DBO e DQO, sendo os demais parâmetros monitorados: pH, sólidos sedimentáveis, *Escherichia Coli*, condutividade elétrica, agentes tensoativos, cádmio total, fósforo total, nitrato, nitrogênio amoniacal, cloreto, chumbo total, cobre, cromo total, zinco, níquel total e toxicidade aguda. Os parâmetros em que os resultados foram expressos precedidos dos sinais < ou > não puderam ser utilizados na análise estatística desta pesquisa por conta da ausência de padronização dos resultados por parte dos laboratórios ou mesmo uma categorização que apresentasse valores, visto que isso atrapalha a realização de tais análises. Portanto, não foi possível trabalhar com os demais parâmetros (supracitados) no estudo de distribuição temporal devido à falta de padronização na apresentação dos resultados laboratoriais.

Por outro lado, conforme explica Viana (2011), a ocorrência de problemas e erros em bancos de dados não deve ser analisada somente pelo lado ruim, uma vez

que os mesmos são excelentes fontes de informações na previsão de problemas futuros e no controle da qualidade dos dados.

Outras variáveis correlacionadas com o tratamento do chorume, como vazão de entrada e saída e quantidade de resíduos aterrados, também apresentaram falhas (dados faltantes) no seu banco de dados, principalmente as vazões de saída de chorume, o que impediu a realização do cálculo da carga poluidora do chorume

Mediante os fatos supracitados, o banco de dados estava incompleto e inconsistente, sem padronização e apresentando muitas falhas (das 65 coletas, 29 eram *missing data*, ou seja, o banco de dados apresentou 44,6% de dados faltantes), a realização das análises estatísticas foi limitada apenas nas variáveis mais importantes para discutir sobre a biodegradabilidade do chorume ao longo dos anos.

A qualidade dos dados, bem como a eficiência e eficácia das análises dos mesmos, pode ser influenciada negativamente pela ocorrência de dados faltantes, ausência de padronização dos dados e coleta adequada de informações (CAMPOS, 2019; RODRIGUES, 2021). Segundo Oleques *et al.* (2017), as lacunas vazias causadas pela ausência de dados são vistas como um problema frequente em análises de séries temporais. A imputação de dados tem sido utilizada para resolução do problema de dados ausentes e objetivando diminuir os erros a longo prazo.

Importante frisar que vários problemas podem ocorrer durante a compilação de dados em um banco. Todavia, para que seja garantida a confiabilidade dos dados, não é recomendado que os mesmos sejam alterados sem análise e critérios elaborados previamente (VIANA, 2011). Daí a importância do produto técnico, fruto desta dissertação, para a implementação de um sistema consistente de coleta e avaliação desses dados.

Ressalta-se que, para a construção de um banco de dados consistente no serviço público, faz-se necessário pessoal técnico qualificado e a disponibilidade de equipamentos e softwares para tal fim.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após avaliação dos parâmetros de tratabilidade do chorume (DBO, DQO, relação DQO/DBO e eficiências de remoções de DBO e DQO) no período de 2010 a 2020, verificou-se que o chorume enquadra-se como estabilizado de acordo com a idade do aterro sanitário (12 anos).

Houve um aumento expressivo nas concentrações de DBO saída e DQO saída a partir dos anos de 2015 e 2011, respectivamente. Todas as concentrações de DBO (no período de 2015 a 2020) estão fora do padrão estabelecido pela legislação ambiental. Entretanto, ainda que em alguns anos tenha ocorrido a eficiência de remoção (valores acima de 70%) de DBO no tratamento, a partir do ano de 2015 o sistema não conseguiu reduzir as concentrações para menores ou iguais às exigidas pela legislação (VMP). Com relação à DQO, a partir do ano de 2011, todas as medianas estão fora do padrão estabelecido pela legislação ambiental para o lançamento dessa variável. Ainda que, na maioria dos anos, ocorreu a eficiência de remoção de DQO no tratamento (média anual de 65%), a partir do ano de 2011, o sistema não conseguiu mais atingir concentrações menores ou iguais às exigidas pela legislação.

Dessa forma, ao comparar os dados de DBO e DQO saída com as eficiências de remoção das respectivas variáveis, fica evidente que o tratamento mostra eficiência de remoção para as variáveis observadas, mas não a ponto de reduzir a concentração de DQO para o VMP, a partir do ano de 2011.

Posto isso, percebe-se que o sistema de tratamento está apresentando diminuição de eficiência, o que pode ser explicado devido ao fato de o chorume ter compostos orgânicos e inorgânicos recalcitrantes e de baixa biodegradabilidade, aliado ao fato de que ocorre uma diminuição significativa de sua biodegradabilidade com o passar dos anos, o que faz com que apenas a utilização de processos biológicos em seu tratamento não seja eficiente e suficiente para atendimento dos padrões de lançamento de efluentes.

A relação DQO/DBO indica que o chorume está enquadrado na faixa $5 < \text{DQO/DBO} \geq 2,5$, indicando que tal efluente necessita de cuidados na escolha do processo biológico para se alcançar uma remoção desejável de carga orgânica. Porém, há indícios de que o chorume já caminha para a zona da relação DQO/DBO elevada, em que a fração não biodegradável é elevada.

Portanto, recomenda-se verificar a condição de limpeza das lagoas, reduzindo, assim, os caminhos preferenciais e o arraste de sedimentos, visando verificar o real tempo de detenção hidráulica da estação de tratamento em operação; a realização de estudo para verificar se está ocorrendo a aeração necessária na lagoa facultativa, caso contrário, avaliar a necessidade de inserção de aeradores na primeira porção da lagoa, deixando a segunda como facultativa; a associação de processos físico-químicos ao tratamento biológico, devendo ser realizado estudo para verificar quais são os materiais recalcitrantes e metais pesados predominantes no efluente para viabilizar a tomada de decisão de qual tratamento físico-químico será necessário implantar e, ainda, realizar estudo piloto visando determinar se o mesmo deve ser implantado como pré ou pós-tratamento; aperfeiçoar o monitoramento das variáveis envolvidas no tratamento do chorume e a operação da estação. Existe, ainda, a necessidade de construção do 2º Módulo de Tratamento de Chorume, haja vista as variações nos volumes e nas cargas do chorume.

Com relação ao banco de dados do aterro sanitário de Formiga, observou-se que o mesmo tem falhas e inconsistência, dada a falta de organização e a quantidade de dados sem padronização e faltantes, o que prejudica diretamente o monitoramento da evolução do tratamento do chorume e da qualidade do corpo hídrico receptor. Dessa forma, o preenchimento desse banco deve ser corrigido de forma a registrar, daqui para frente, os dados da forma correta e precisa.

REFERÊNCIAS

- ANTÔNIO, Sarita M. **Análise da variação da vazão e da concentração do metano presentes nos gases gerados no aterro sanitário de Rio Claro – SP**. 2012. 61 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 2012. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/118067/antonio_sm_tcc_rcla.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 1º de dez. 2020.
- ARAÚJO, L. G. S. de. **Avaliação do lixiviado de aterro sanitário: geração e tecnologias de tratamento**. 2019. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/37920/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O%20Liz%20Geise%20Santos%20de%20Ara%c3%baajo.pdf>. Acesso em: 1º de dez. 2020.
- BRASIL. Ministério das Cidades. **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2019**. Brasília, DF, 2020. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/rs/2019/Diagnostico_RS2019.pdf. Acesso em: 15 jun. 2021.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para assuntos jurídicos. **Resolução Conama nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-Conama. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=114770>. Acesso em: 10 nov. 2021.
- BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para assuntos jurídicos. **Resolução Conama nº 357, de 17 de março de 2005**. 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. Brasília, DF, 2005. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 10 nov. 2021.
- CAMPOS, J. de M. **Poluição industrial e saúde humana: limitações e potencialidade do uso de banco de dados públicos em pesquisas empíricas**. 2021. 114 p. Dissertação (Mestrado em Informação, Comunicação e Saúde) – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2021. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/55/55134/tde-13092021-140800/en.php>. Acesso em: 1º nov. 2021.
- CARVALHO, F. C. *et al.* **Avaliação temporal das características físico-químicas das águas residuárias do sistema de tratamento de chorume do aterro sanitário municipal “Marcelo Reis Arantes” de Formiga – MG**. 2018, 5 p.

CASTILHOS JÚNIOR, A.B. (Org.) **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros**, 2006.

CHRISTENSEM, T. H. **Solid waste technology & management**. Wiley. Chichester. 2011. 1022 p. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=4gx-bMOhpxEC&oi=fnd&pg=PT8&dq=solid+waste+technology+and+management&ots=dDIV9rh6xD&sig=nAvTVTFI2CELTaT_4efhEGC0Mtc#v=onepage&q=solid%20waste%20technology%20and%20management&f=false. Acesso em: 29 out. 2021.

FELICI, E. M. *et al.* Remoção de carga orgânica recalcitrante de lixiviado de resíduos sólidos urbanos pré-tratados biologicamente por coagulação química-floculação-sedimentação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 18. n. 2, p. 177-184, abr./jun. 2013. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/esa/v18n2/a10v18n2>. Acesso em: 11 nov. 2021.

GOMES, L. P.; SHOENELL, E. K. Aplicação de ozônio e de ozônio + peróxido de hidrogênio para remoção de compostos recalcitrantes em lixiviados de aterros sanitários. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, jan./fev. 2018. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1413-41522018155758>. Acesso em: 1º jul. 2020.

GOMES, L. P. *et al.* **Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras**. Rio de Janeiro: ABES, 2009, 360p.

HELENE, L. P. I. **Dinâmica da geração e fluxo de chorume em aterro sanitário de pequeno porte a partir de monitoramento geofísico**. 2019. 110 p. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2019. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/183095/helene_lpi_dr_rcla.pdf?sequence=7&isAllowed=y. Acesso em: 01 de nov. 2021.

JARDIM, W. F.; CANELA, M. C. **Fundamentos da oxidação química no tratamento de efluentes e remediação de solos**. Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <https://lqa.iqm.unicamp.br/cadernos/caderno1.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2021.

KAWAHIGASHI, F. *et al.* Pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário com carvão ativado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, jul./set. 2014. DOI: <http://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000000652>. Acesso em: 11 abr. 2020.

MATOS, A. R. V. **Contribuição para o estudo da influência da recirculação de lixiviados no comportamento de aterros de resíduos sólidos urbanos**. 131p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2008. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/303709123.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2021.

MINAS GERAIS. Fundação Estadual de Meio Ambiente. **Nota Técnica DIMOG 003, de 16 de dezembro de 2005**. Estabelece critérios para o monitoramento dos

efluentes líquidos, águas superficiais e águas subterrâneas associadas a aterros sanitários, permitindo a verificação dos possíveis impactos ambientais e a efetividade das ações de controle adotadas. Belo Horizonte, MG, 2005.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental. **Deliberação Normativa Copam – CERH-MG nº 001, de 5 de maio de 2008**. 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. Belo Horizonte, MG, 2008. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>. Acesso em: 10 nov. 2021.

MINAS GERAIS. Conselho Estadual de Política Ambiental. **Deliberação Normativa Copam nº 74, de 9 de setembro de 2004**. Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ambiental de funcionamento ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização ambiental e de licenciamento ambiental, e dá outras providências. Belo Horizonte, MG, 2004. Disponível em: <http://sisemanet.meioambiente.mg.gov.br/mbpo/recursos/DeliberaNormativa74.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2021.

MORAVIA, W. G. **Estudo de caracterização, tratabilidade e condicionamento de lixiviados visando tratamento por lagoas**. 2007. 179 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/ENGD-7AJN5A/1/wagner_guadagnin_moravia.pdf. Acesso em: 1º nov. 2021.

OLEQUES, N. M. B. N. *et al.* **Aplicação da técnica de imputação múltipla no preenchimento de falhas em registros atmosféricos de Bagé/RS**. 9º Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão, Santana do Livramento, 2017. Disponível em: https://guri.unipampa.edu.br/uploads/evt/arq_trabalhos/14710/seer_14710.pdf. Acesso em: 5 nov. 2021.

PEREIRA, G. dos S. **Avaliação da biodegradabilidade do líquido percolado (chorume) proveniente do tratamento de resíduos sólidos orgânicos**. 2020. 35 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Química Tecnológica). Universidade de Brasília. Disponível em: https://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2021/05/2020_GiorgianeDosSantosPereira_tcc.pdf. Acesso em: 1º nov. 2021.

RIBEIRO, E. F.; BUSS, M. V.; MENEZES, J. C. S. dos S. Tratamento de chorume de aterro de resíduos sólidos urbanos utilizando um coagulante à base de tanino, tratamento biológico e ozonização. **Revista de Engenharia Civil IMED**, Passo Fundo, v. 2, n. 2, p.37-42, 2015. DOI: <http://doi.org/10.18256/2358-6508/rec-imed.v2n2p37-42>. Acesso em: 10 out. 2021.

RODRIGUES, L. S. **Explorando espaços métricos correlacionados em consultas por similaridade sobre bases de dados incompleto**. 2019. 137 p. Dissertação (Mestrado em Ciências da Computação e Matemática Computacional) – Instituto de Comunicação e Informação Científica e Tecnológica em Saúde. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/icict/39946/2/jefferson_campos_icict_mest_2019.pdf. Acesso em: 1º nov. 2021.

SÁ, L. F. de; JUCÁ, J. F. T.; MOTTA SOBRINHO, M. A. da. Tratamento do lixiviado de aterro sanitário usando destilador solar. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 7, n. 1, 2012. DOI: <http://doi.org/10.4136/1980-993X>. Acesso em: 11 mar. 2020.

SOUTO, G. D. B.; POVINELLI, J. **Características do lixiviado de aterros sanitários no Brasil**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte. Anais. ABES, p. 1-7, 2007.

VIANA, D. T. **Construção e tratamento do banco de dados de qualidade da água da UEH Nova Ponte**. 2011. 48 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Saneamento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9ATFGM/1/monografia_especializa__o_deborah.pdf. Acesso em: 1º nov. 2021.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. Belo Horizonte. 1996. 243 p.

CAPÍTULO III

PRODUTO TÉCNICO E TECNÓLOGICO

1 APRESENTAÇÃO DO PRODUTO TÉCNICO E TECNOLÓGICO

Como resultado desta dissertação, foi elaborado um produto técnico, o qual está enquadrado no item 7 Software/Aplicativo (Programa de Computador) do relatório da Produção Técnica (BRASIL, 2019), elaborado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Trata-se de uma planilha eletrônica dinâmica intitulada Automonitoramento do Aterro Sanitário “Marcelo Reis Arantes”.

1.1 Finalidade do produto técnico e tecnológico

A planilha eletrônica dinâmica foi desenvolvida para viabilizar a organização do banco de dados (atual e futuro) relativo ao tratamento de chorume e ao curso d'água que recebe o lançamento do efluente e para a realização de um monitoramento ambiental robusto das variáveis contidas nesse banco de dados, bem como possibilitar o acompanhamento da evolução, ao longo dos anos, do tratamento do chorume e das condições do corpo hídrico receptor.

A Secretaria Municipal de Gestão Ambiental realiza o Programa de Automonitoramento do chorume (entrada e saída) e do corpo receptor (montante e jusante), por meio de análises laboratoriais, respeitando os parâmetros e periodicidade estabelecidos pela Nota Técnica DIMOG 003/2005, elaborada pela FEAM, para atendimento de condicionante e da legislação ambiental (MINAS GERAIS, 2005). Entretanto não existe um banco de dados estruturado/organizado com tais informações e, também, não são realizadas análises mais robustas como avaliação do comportamento das variáveis laboratoriais, ou seja, acompanhamento da evolução da tratabilidade do chorume com o passar dos anos e da qualidade das águas do curso d'água.

1.2 Aplicabilidade

O produto técnico será aplicado na gestão técnica do aterro sanitário, especificamente no monitoramento ambiental relativo às águas superficiais e ao efluente, visto que, atualmente, a Secretaria Municipal de Gestão Ambiental não tem um banco de dados estruturado/organizado e nem uma ferramenta que gerencie e

apresente resultados relativos ao mesmo, o que é de extrema importância para que seja possível realizar um monitoramento eficiente. Desta forma, a planilha será de grande utilidade (ou seja, alta aplicabilidade), além do fato de que irá otimizar o monitoramento ambiental do empreendimento.

A implantação dessa ferramenta nas rotinas de gerenciamento do Aterro Sanitário ocorrerá de forma simples uma vez que a mesma foi desenvolvida em Excel® (software amplamente conhecido e de fácil operação) e em uma linguagem peculiar à área ambiental.

1.3 Capacidade de reprodução para demais situações

Devido à sua alta aplicabilidade no campo da gestão ambiental, a planilha poderá ser replicada para os demais setores do município responsáveis pela gestão da Estação de Tratamento de Água (ETA) e da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), uma vez que o monitoramento ambiental se assemelha ao de chorume, além de poder ser replicada também a outros municípios, especialmente para a gestão de aterros sanitários.

Ressalta-se que poderá haver a possibilidade de utilização do produto técnico em outros dois empreendimentos no município de Formiga, a Unidade de Tratamento de Resíduos – Leito de secagem (em fase de construção) e na nova barragem de captação de água para consumo humano (em fase de licenciamento ambiental). Entende-se que tais empreendimentos necessitarão de monitoramento ambiental, então, sugere-se que a análise de aplicabilidade seja realizada pelo setor de gestão ambiental responsável pelos mesmos.

1.4 Público-alvo

A ferramenta será destinada a todos os técnicos das áreas de Gestão Ambiental do município (aproximadamente 6 pessoas), como técnicos responsáveis pela gestão/operação do Aterro Sanitário Municipal, da ETA e da ETE, além do fato de poder ser destinada a servidores de outros municípios que trabalham com gestão dos empreendimentos supracitados.

Conforme mencionado no item 1.3, este produto também poderá ser destinado aos técnicos gestores da Unidade de Tratamento de Resíduos – Leito de Secagem e

da nova barragem para captação de água para consumo humano, caso o setor de gestão ambiental responsável pelos mesmos julgue pertinente o seu uso.

1.5 Conexão com a pesquisa

O produto técnico desenvolvido é fruto da dissertação apresentada ao Programa de Mestrado em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental.

Desse modo, a planilha eletrônica dinâmica apresenta aderência ao título e ao objetivo geral desta pesquisa, haja vista que uma das finalidades da mesma é acompanhar a evolução ao longo dos anos do tratamento do chorume e da qualidade do corpo hídrico receptor.

1.6 Inovação

Trata-se de um produto com baixo teor inovativo, porém válido e aplicável aos setores de Gestão Ambiental dos municípios, uma vez que grande parte deles não tem banco de dados estruturado/organizado e nem uma ferramenta que gere e apresente resultados relativos ao mesmo.

1.7 Interesse Social

Por meio do produto técnico, os gestores do Aterro Sanitário Municipal poderão verificar o comportamento das variáveis laboratoriais relativas ao tratamento do chorume, isto é, acompanhar a evolução da tratabilidade desse lixiviado, além da qualidade do curso d'água que recebe o descarte do chorume. Dessa forma, a Prefeitura Municipal poderá fornecer de forma mais dinâmica, simplificada e objetiva um relatório (gerado a partir da planilha dinâmica) à população, trazendo as informações sobre a eficiência do tratamento de chorume e qualidade da água do corpo hídrico receptor.

2 PLANILHA ELETRÔNICA DINÂMICA – AUTOMONITORAMENTO DO ATERRO SANITÁRIO MUNICIPAL “MARCELO REIS ARANTES”

A planilha foi desenvolvida utilizando o Excel®, de forma intuitiva, simples e dinâmica e o *dashboard*, que se trata de uma ferramenta de apresentação visual, na qual possibilita a visualização de dados de forma instantânea (após a inserção dos mesmos) e o monitoramento de forma rápida, aplicada tanto em pesquisas quanto na gestão de processos.

Para isso, criou-se a planilha dinâmica contendo fórmulas lógicas para otimizar o processo e tabelas dinâmicas, a partir do banco de dados contendo informações relativas ao tratamento de chorume e ao corpo hídrico receptor, visando, além de organizar os dados, transformar os dados brutos em informações úteis sobre o monitoramento ambiental do aterro sanitário. Informações essas que poderão ser visualizadas por meio de um *dashboard* (painel gráfico), sendo que, para a construção do mesmo, foram utilizados gráficos e estatísticas descritivas para auxiliar nas análises. O *dashboard* possibilita a interação com os gráficos, permitindo ao usuário a seleção de filtros para detalhar a informação.

A planilha foi estruturada de forma que todo procedimento de atualização ocorra de forma automática, exceto para a entrada dos dados, propriamente dita, a qual deverá ser realizada de forma manual. A planilha já contém o banco de dados relativo ao período de 2009 a 2020. No próximo item, será detalhada a forma de utilização da planilha.

A planilha é dinâmica e permite um ambiente de navegação entre o banco de dados e o *dashboard* para facilitar o manuseio da ferramenta. Dessa forma, na capa da planilha, é possível realizar a navegação (por meio de botões de hiperlinks) entre os ambientes painel gráfico (*dashboard*) e os bancos de dados e, ainda, clicando diretamente nas abas.

No banco de dados, foram criados destaques e alertas para os parâmetros que estiverem fora dos padrões das legislações ambientais (Resoluções Conama 357/2005 e 430/2011 e Copam – CERH 001/2008) tanto para o tratamento de chorume quanto para o corpo hídrico receptor, para chamar a atenção dos usuários e facilitar a interpretação dos resultados. Para as variáveis fora da especificação das legislações e que apresentem valores absolutos no banco de dados, utilizou-se a formatação condicional para destacar na cor vermelha tais valores, tomando como

base os valores de referência de tais legislações. No caso das variáveis eficiência de remoção de DBO e DQO, foi utilizada a parametrização (por meio da fórmula condicional “SE”) das variáveis, retornando uma mensagem de Atenção!, caso as variáveis não atendam às legislações. A cada preenchimento do banco de dados, ou seja, a cada atualização, os valores passam por uma tabela dinâmica, devendo o usuário clicar e alterar os dados para que os gráficos sejam atualizados.

Para as variáveis em que não há padronização na apresentação dos resultados por parte dos laboratórios e para as ocasiões em que não houve a coleta, que a variável não foi avaliada ou ainda não detectada, ou seja, resultados apresentados na forma de texto, por exemplo: ND (não detectado), NA (não analisado), SD (sem dados) e $< 0,10$, utilizou-se, também, a formatação condicional, desta vez destacando os resultados expressados em texto na cor amarela, para chamar a atenção dos usuários sobre a falha no banco de dados.

As variáveis utilizadas para representação no painel gráfico foram DBO e DQO (entrada e saída), relação DQO/DBO e eficiências de remoções de DBO e DQO para o tratamento de chorume, uma vez que elas estão diretamente relacionadas à tratabilidade do mesmo. Para o corpo hídrico receptor serão utilizadas as variáveis DBO e DQO (montante e jusante) e oxigênio dissolvido. Embora o estudo da qualidade do corpo receptor não seja o objeto desta pesquisa, a qualidade do curso d’água está diretamente relacionada e influenciada pelo tratamento do chorume. Portanto, o monitoramento abrangeu o corpo hídrico receptor.

Um menu de navegação foi construído no *dashboard* para permitir que o usuário selecione o ano desejado ou até mesmo visualize todos os anos de uma só vez, possibilitando uma visão geral dos dados.


Com a parametrização das variáveis no banco de dados para destacar todos os valores que não atendem à legislação, foi possível realizar a contabilização dos mesmos e apresentá-los no *dashboard* em campos denominados “pontos de atenção”, tanto para o tratamento de chorume quanto para o corpo hídrico receptor. No caso do chorume, os gráficos ainda apresentam o percentual médio de eficiência de remoção de DBO e DQO, além da média da relação DQO/DBO.

Após a visualização dos dados desejados no *dashboard*, o usuário poderá gerar um relatório, bastando apenas clicar no botão “PDF”.

As abas de entrada de dados são as denominadas dicionário (que apresentam informações sobre o tipo de variável, definição, limites de quantificação e detecção e

métodos analíticos), “BD”, valores de referência para chorume (padrões de lançamento estabelecidos pela legislação), valores de referência para o corpo hídrico receptor (valores de referência para o curso d’água enquadrado como classe 2) e dados _coleta, para inserção de informações relativas aos dados, como data, pontos de coleta, coordenadas geográficas dos pontos, nome do laboratório etc.

A aba instruções traz informações aos usuários de como utilizar a planilha eletrônica dinâmica.

Em todos os ambientes da planilha, com exceção da capa, haverá o ícone  com o objetivo de direcionar o usuário novamente ao início da planilha, ou seja, à capa.

2.1 Passo a passo para utilização da planilha eletrônica dinâmica

A seguir, serão apresentadas as instruções para utilização da planilha eletrônica.

A primeira ação a ser realizada ao abrir a planilha pela primeira vez é sua habilitação, clicando nas duas caixas de diálogo (localizadas logo abaixo da barra de menus) que aparecem ao abrir o arquivo: **habilitar a edição** e, na sequência, **habilitar o conteúdo**.

Em seguida, deve-se habilitar as macros, devendo ser seguido o caminho: clique no **Menu de "Opções"** localizado em "Arquivo", depois clique em "**Central de confiabilidade**" e, na sequência, clique em "**Configurações da central de confiabilidade**". Clique em "**Configurações de Macro**" e marque a opção "**Habilitar todas as macros**".

Após a realização dessas ações, a planilha eletrônica está pronta para ser utilizada!

Importante ressaltar que a planilha contém fórmulas lógicas, dinâmicas e relacionais, logo, deve-se ter atenção ao inserir e/ou excluir linhas e/ou colunas. Portanto, apenas preencha os locais apropriados, sendo as abas “**Dicionário**”, “**BD**”, “**Valores referências**” e “**Dados Coleta**”.

Para atualizar a planilha basta preencher a última linha da aba BANCO DE DADOS (BD). A atualização deverá ser realizada única e exclusivamente nas abas "BD", "Dados_Coleta" "Dicionário" e "Valores referências", quando for o caso. Por fim,

para atualizar as informações, clique em "**Dados**", na barra de ferramentas do Excel® (painel superior) e na sequência clique em "**Atualizar tudo**".

2.1.1 Aba “Dicionário”

Essa aba deverá ser atualizada somente em caso de atualização das legislações ambientais e que o órgão ambiental fiscalizador altere os parâmetros a serem analisados para o tratamento de chorume e qualidade da água superficial (curso d'água que recebe o lançamento do chorume).

2.1.2 Aba “Valores referência chorume”

Essa aba deverá ser atualizada somente em caso em que haja atualização das legislações ambientais para lançamento de efluentes, considerando a inclusão de novos parâmetros e/ou a alteração dos limites para lançamento do efluente.

2.1.3 Aba “Valores referência corpo hídrico receptor”

Essa aba deverá ser atualizada somente em caso em que haja atualização das legislações ambientais para enquadramento e qualidade de cursos d'água, considerando a inclusão de novos parâmetros e/ou a alteração dos limites permitidos.

2.1.4 Aba “Dados Coleta”

Essa aba deverá ser atualizada regularmente, **todas as vezes que houver coletas no tratamento de chorume e no curso d'água.**

Deverão ser preenchidas as colunas: data, responsável técnico, responsável pela inserção dos dados, ponto da coleta para o curso d'água (montante e jusante) e para o tratamento de chorume (entrada e saída), as coordenadas geográficas do ponto de coleta, nome do laboratório que realizou as análises, resultados primários (diretório onde os dados estão salvos) e observações, para registro de informações que o responsável pela inserção dos dados julgar pertinente.

Na coluna resultado primário, é possível criar um *hiperlink* direcionando para o arquivo original. Basta clicar com o botão direito na célula em questão, clicar em "*Link*" e selecionar o arquivo.

2.1.5 Aba "Banco de dados (BD)"

Para inserção de dados, inicialmente, o usuário deve realizar o preenchimento das colunas "data da coleta", "mês" e "ano".

O usuário deve estar atento no momento do preenchimento do banco de dados, haja vista que ele é único, ou seja, devem ser inseridos tanto os dados do tratamento de chorume quanto do corpo hídrico receptor, observando, ainda, as frequências de cada variável, bem como seu ponto de coleta (entrada, saída, montante e jusante).

No banco de dados, há também a coluna "Observações", campo a ser utilizado caso o responsável pela inserção dos dados queira registrar informações que julgar pertinentes.

Importante que sejam inseridos dados numéricos absolutos e que não ocorra falta de padronização na apresentação dos resultados por parte do laboratório, como, por exemplo, o uso de < 5 ou ND (não detectado), porque, ao lançar essa informação, o Excel® a entenderá como texto e os dados não poderão ser usados para construção dos gráficos.

2.1.6 Atualização da planilha

Para todas as vezes que a planilha for alterada, deve-se atualizar as informações clicando em "**Dados**", na barra de ferramentas do Excel® (painel superior) e, na sequência, clique em "**Atualizar tudo**".

Esse é um procedimento muito importante e que não pode ser esquecido, caso contrário, as informações do *dashboard* não serão atualizadas.

2.1.7 Dashboard

O *dashboard* é todo interativo, dessa forma, o usuário poderá escolher o ano desejado, por meio do menu de navegação, localizado na parte esquerda do painel gráfico, clicando, primeiramente, na opção “**Limpar filtro**” (localizada no canto superior direito do menu de navegação) e **selecionar** o ano desejado. Caso queira, também, o usuário poderá visualizar os dados de todos os anos de uma só vez, basta selecionar o ícone de seleção múltipla, localizado no canto superior direito do menu de navegação.

A visualização dos dados do tratamento do chorume e da qualidade do corpo hídrico receptor ocorrerá de forma simultânea, sendo os gráficos apresentados lado a lado.

Por fim, será possível gerar um relatório dos dados desejados, bastando clicar no botão “PDF”, localizado logo abaixo do menu de navegação.

3 RESULTADOS


As figuras (16 a 24) apresentadas a seguir têm por objetivo mostrar a planilha eletrônica dinâmica.

Figura 16 – Capa da Planilha



Fonte: A autora, 2021.

Figura 17 – Visualização de uma parte do layout da Aba “Dicionário”

 Variável ▼	Definição ▼
entrada_chumbo_total	amostra referente ao chumbo total, coletada na entrada do sistema de tratamento de chorume. A unidade de medida para o parâmetro é mg/L. A coleta é realizada por empresa especializada em realização de análises laboratorias para efluentes. A frequência do monitoramento para essa variável é semestral.
saida_chumbo_total	amostra referente ao chumbo total, coletada na saída do sistema de tratamento de chorume. A unidade de medida para o parâmetro é mg/L. A coleta é realizada por empresa especializada em realização de análises laboratorias para efluentes. A frequência do monitoramento para essa variável é semestral.
entrada_cobre	amostra referente ao cobre, coletada na entrada do sistema de tratamento de chorume. A unidade de medida para o parâmetro é mg/L. A coleta é realizada por empresa especializada em realização de análises laboratorias para efluentes. A frequência do monitoramento para essa variável é semestral.

Fonte: A autora, 2021.

Figura 18 – Visualização de uma parte do layout da Aba “Valores referências chorume”

Padrão de Lançamento de Ef		
Parâmetro	Unidade	Valor máximo
Vazão		1,5 vezes a vazão média do período de atividade diária
DBO	mg/L	60
DQO	mg/L	180
pH		9
		9
Temperatura	°C	40
Materiais Sedimentáveis	mL/L	1
Óleos Minerais	mg/L	20
Óleos vegetais e gorduras animais	mg/L	50
Substâncias tensoativas	mg/L	2
Sólidos em suspensão totais	mg/L	100
Arsênio total	mg/L	0,5
Arsênio total	mg/L	0,2
Bário total	mg/L	5
Boro total	mg/L	5
Cádmio total	mg/L	0,1
Cádmio total	mg/L	0,2
Chumbo total	mg/L	0,1
Chumbo total	mg/L	0,5


Fonte: A autora, 2021.

Figura 19 – Visualização de uma parte do layout da Aba “Valores referências corpo hídrico receptor”

Padrão para Corpos de Água Doce Classe 2 (limites definidos em Legislação)			
Parâmetro	Unidade	Valor máximo	Valor mínimo
Coliformes termotolerantes	org/100 ml	1000	
Cor verdadeira	mg Pt/L	75	
Turbidez	UNT	100	
DBO ₅	mg/L	5	
OD	mg/L		5
pH		9	6
Óleos e graxas		0	
Clorofila a	µg/L	30	
Densidade de cianobactérias	cel/mL	50000	
Sólidos em suspensão	mg/L	100	
Fósforo total (ambientes lênticos)	mg/L	0,03	
Fósforo total (ambientes intermediários)	mg/L	0,05	
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	500	
Alumínio dissolvido	mg/L	0,1	
Antimônio	mg/L	0,005	

Fonte: A autora, 2021.

Figura 20 – Visualização de uma parte do layout da Aba “Banco de dados (BD)”

Legenda: ND = Não detectado / SD = Sem dados / NA = Não analisada Obs.: - Os valores reconhecidos como texto serão destacados na cor amarelo. - Os valores destacados na cor vermelha são pontos fora do padrão.			Bimestral				
Frequências:							
	Mês	Ano	DBO entrada (mg/L) - Chorume	DBO saída (mg/L) - Chorume	DQO entrada (mg/L) - Chorume	DQO saída (mg/L) - Chorume	Relação DQO/DBO - Chorume
Data da coleta							
jun/14	Jun	2014	86,90	48,00	1519,40	166,50	17,48
jul/14	Jul	2014					
ago/14	Ago	2014	39,10	16,70	1448,30	253,30	37,04
set/14	Set	2014					
out/14	Out	2014					
nov/14	Nov	2014					
dez/14	Dez	2014	59,20	27,40	3345,20	571,60	56,51
jan/15	Jan	2015	298,70	19,40	1763,60	562,50	5,90
fev/15	Fev	2015					
mar/15	Mar	2015	1966,80	132,50	6655,60	1238,90	3,38
abr/15	Abr	2015					
mai/15	Mai	2015	374,70	45,60	2459,90	914,80	6,56
jun/15	Jun	2015					
jul/15	Jul	2015	239,90	16,80	1410,50	466,80	5,88
ago/15	Ago	2015					
set/15	Set	2015	40,10	49,00	1981,40	813,30	49,41
out/15	Out	2015					

Fonte: A autora, 2021.

Figura 21 – Visualização de uma parte do layout da Aba “Dados_ Coleta”

Automonitoramento do Aterro Sanitário Municipal

"Marcelo Reis Arantes"

Descrição dos campos de preenchimento:

Data: Data da coleta.

Responsável técnico: Responsável operacional.

Responsável preenchimento: Responsável pela inserção dos dados.

Ponto de coleta: Ponto de referência da coleta. Ex.: *Montante, jusante*.

Coordenadas: Coordenadas geográficas.

Laboratório: Nome do laboratório que realizou as análises.

Resultados primários: Diretório onde se encontra os resultados originais

Data	Responsavel técnico	Responsavel preenchimento	Ponto de coleta	Coordenadas

Fonte: A autora, 2021.

Figura 22 – Visualização da Aba “Instruções”

Automonitoramento do Aterro Sanitário Municipal
"Marcelo Reis Arantes"

Olá, essa ferramenta tem o intuito de facilitar o controle e gestão da informação. Foi elaborada visando a otimização e facilidade na visualização da informação. Ao abrir a planilha pela primeira vez é necessário habilitar o conteúdo e na sequência:

1) Habilitar Macros No Menu de "Opções" localizado em "Arquivo", clique em "Central de confiabilidade" e na sequência "Configurações da central de confiabilidade": Clique em "Configurações de Macro" e marque a opção "Habilitar todas as macros..."

Pronto! Está pronto para a utilização.

Observação: Essa planilha contém fórmulas lógicas, dinâmicas e relacionais, logo, atenção ao inserir e/ou excluir linhas e/ou colunas. Apenas preencha os locais apropriados: Para atualizar basta preencher a última linha do BANCO DE DADOS (BD) A atualização deverá ser realizada única e exclusivamente na aba "BD", "Dados_Coleta", "Valores referências" e "Dicionário", quando for o caso.

Dashboard: O Dashboard é todo interativo, basta selecionar o ano desejado para alterar as informações.

Por fim, para atualizar as informações, clique em "Dados" localizado na barra de ferramentas do Excel (painel superior) e na sequência clique em "Atualizar tudo".

PREFEITURA MUNICIPAL DE FORMIGA
INSTITUTO FEDERAL Minas Gerais
MESTRADO

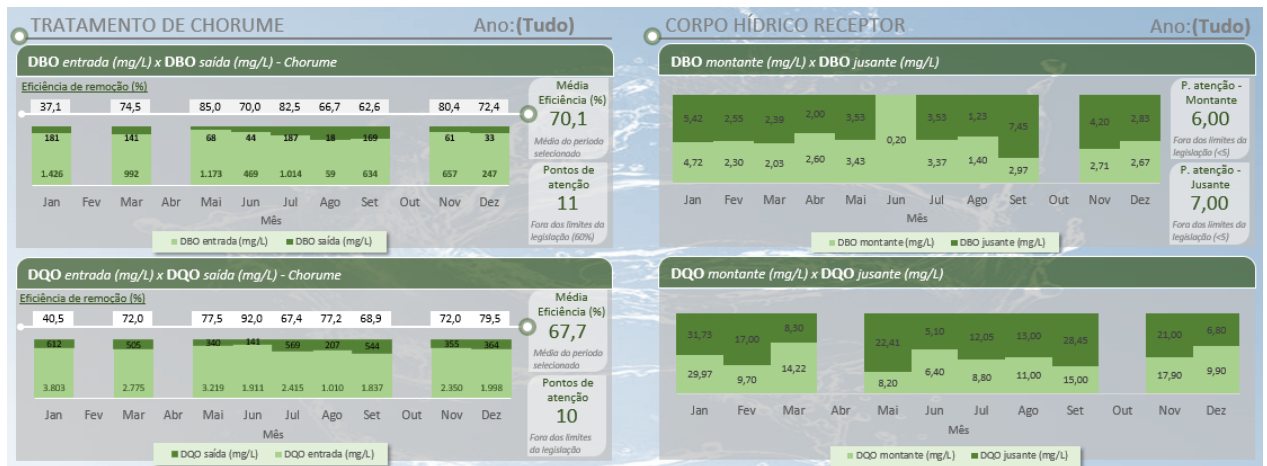
Fonte: A autora, 2021.

Figura 23 – Visualização de uma parte do layout do “Dashboard”



Fonte: A autora, 2021.

Figura 24 – Visualização de uma parte do layout do “Dashboard”



Fonte: A autora, 2021.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para que a planilha funcione de forma eficiente, é necessário que o banco de dados não apresente falhas e seja consistente. Para isso, é de extrema importância que não deixe de executar o Programa de Monitoramento proposto pelo órgão ambiental fiscalizador, obedecendo sempre a periodicidade e parâmetros estabelecidos. A partir do momento em que essa planilha começar a ser utilizada, que os resultados apresentados pelo laboratório responsável pelas análises laboratoriais contenham somente números absolutos, devendo não serem utilizados textos (ND) e nem valores expressos com sinais de < ou >, caso contrário, os mesmos não poderão ser utilizados na construção dos gráficos, haja vista que o Excel® irá reconhecê-los apenas como texto.

Ao corrigir o banco de dados e lançá-lo regularmente na planilha eletrônica gerada como produto desta dissertação, os gestores do aterro sanitário poderão realizar, de forma eficaz, o monitoramento e o acompanhamento da evolução da tratabilidade do chorume e da qualidade do curso d'água durante a vida útil do empreendimento, facilitando a identificação de falhas no tratamento do chorume e planejamento de ações necessárias para a correta operação e gerenciamento do mesmo. Ressaltando que os gestores do aterro sanitário ainda não realizam tal monitoramento e acompanhamento da tratabilidade do chorume e nem da qualidade

do curso d'água, sendo realizadas apenas as análises laboratoriais exigidas na condicionante da LO.

A planilha do Excel® apresenta vulnerabilidade, do ponto de vista de que os usuários podem deletar os dados ou o próprio arquivo ou ainda fazer qualquer edição equivocada que comprometa o desempenho da ferramenta. Dessa forma, é recomendada a realização de backup todas as vezes em que a planilha for atualizada. Portanto, seria ideal que o acesso fosse restrito a determinados servidores, para que se tenha um maior controle da ferramenta.

Devido à essa vulnerabilidade, recomenda-se que a Secretaria Municipal de Gestão Ambiental transforme a ideia dessa planilha em um *dashboard on-line*, com o banco de dados salvo na nuvem, evitando os problemas de perda de dados.

REFERÊNCIAS

PRODUÇÃO TÉCNICA CAPES. **Relatório de Grupo de Trabalho**. 2019. Disponível em: <http://www.capes.gov.br/pt/relatorios-tecnicos-dav>. Acesso em: 25 out. 2021.

ANEXO A

Termo de Parceria



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
 Campus Bambuí
 Diretoria Geral
 Gerência de Gabinete
 Faz. Várzea - Rodovia Bambuí/Medeiros - Km 05 - Caixa Postal 05 - CEP 38900-000 - Bambuí - MG
 37 3431 4966 - www.ifmg.edu.br

ANEXO VI – TERMO DE PARCERIA

Pelo presente **Termo de Parceria**, a Prefeitura Municipal de Formiga situada à Rua Barão de Piumhi nº121, bairro Centro, na cidade Formiga – MG , CEP 35.570-000, CNPJ nº 16.784.720/0001-25, declara colaborar com o suporte necessário na execução do Pré-projeto da discente Nathália Pereira de Jesus, concorrente a uma vaga de estudo no “Curso de Pós-graduação Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental”, do Campus Bambuí, em Bambuí (MG).

Outras informações:

Nome do Pré-projeto apresentado no Processo Seletivo do MPSTA 2018/2019: Avaliação da tratabilidade do chorume produzido no Aterro Sanitário “Marcelo Reis Arantes, no município de Formiga - MG

Cidade na qual será realizada a execução do Pré-projeto Formiga - MG _____

Atividade(s) da empresa/órgão: Administração Pública _____

Suporte da empresa/órgão na execução do Pré-projeto (marque as opções):

(x) infraestrutura disponível.

(x) quadro de funcionários.

() recursos financeiros.

(x) outros suportes. Autorização para consulta e utilização de dados referentes aos projetos do aterro sanitário, planilhas de controle de-pesagem de resíduos, planilhas de controle de vazão de chorume, planilhas de dados pluviométricos, programa de automonitoramento e análises laboratoriais.

Contrapartida do discente para a empresa/órgão referente ao desenvolvimento do Pré-projeto: o desenvolvimento do projeto trará contribuições técnicas ao município, com o intuito de colaborar com o gestor municipal na solução do problema da tratabilidade do chorume do aterro sanitário municipal, problema este que chama minha atenção enquanto cidadã formiguense, funcionária pública e técnica da área, além de contribuir para o meu aperfeiçoamento e crescimento profissional.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Bambuí
Diretoria Geral
Gerência de Gabinete
Faz. Varginha - Rodovia Bambuí/Meeiros - Km 05 - Caixa Postal 05 - CEP 38900-000 - Bambuí - MG
37 3431 4966 - www.ifmg.edu.br

Formiga, 12 de novembro de 2018.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Nathália Pereira de Jesus', written over a horizontal line.

Nathália Pereira de Jesus

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Eugênio Vilela Júnior', written over a horizontal line.

Eugênio Vilela Júnior
Prefeito Municipal

ANEXO B

Declaração



Prefeitura de
Formiga

Administração com Responsabilidade

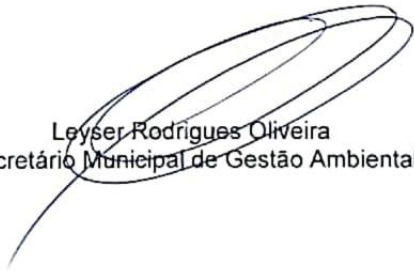
MUNICÍPIO DE FORMIGA - MG
RUA: CORONEL JOSÉ GONÇALVES D' AMARANTE Nº 134 - CENTRO
FORMIGA - MINAS GERAIS - semam_fga@yahoo.com.br
CEP: 35570-146 - TELEFONE: (37) 3329-1803 FAX: (37) 3329-1804

DECLARAÇÃO

Declaro para os devidos fins que a discente Nathália Pereira de Jesus, CPF: 016.305.506-80, aluna do Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental do Instituto Federal de Tecnologia de Minas Gerais (IFMG) está autorizada a utilizar o banco de dados do Aterro Sanitário Municipal "Marcelo Reis Arantes" para elaboração de sua dissertação, bem como seu produto técnico, os quais estão sendo desenvolvidos sob a orientação da Pro^{fa}. Dr^a Grazielle Wolff de Almeida Carvalho e coorientação do Prof. Dr. Hygor Aristides Victor Rossoni.

Por ser verdade, firmo a presente.

Formiga, 23 de maio de 2020.


Leyser Rodrigues Oliveira
Secretário Municipal de Gestão Ambiental