



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MÁRIO JOSÉ DA SILVA JÚNIOR**

**AVALIAÇÃO DO MONITORAMENTO AMBIENTAL DE UM ATERRO DE  
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS ENCERRADO**

Recife

2019

**MÁRIO JOSÉ DA SILVA JÚNIOR**

**AVALIAÇÃO DO MONITORAMENTO AMBIENTAL DE UM ATERRO DE  
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS ENCERRADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Área de concentração: Geotecnia.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Thomé Jucá.

Recife

2019

Catálogo na fonte  
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

- S586a Silva Júnior, Mário José da.  
Avaliação do monitoramento ambiental de um aterro de resíduos sólidos urbanos encerrado / Mário José da Silva Júnior – Recife, 2019.  
197 f.: fig., tabs., abrev. e siglas.
- Orientadora: Prof. Dr. José Fernando Thomé Jucá.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.  
Inclui referências.
1. Engenharia Civil. 2. Monitoramento ambiental. 3. Aterros pós-encerramento. 4. Passivos ambientais. 5. Recursos hídricos naturais. 6. Reflorestamento. I. Jucá, José Fernando Thomé (Orientador). II. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG / 2021-63

**MÁRIO JOSÉ DA SILVA JÚNIOR**

**AVALIAÇÃO DO MONITORAMENTO AMBIENTAL DE UM ATERRO DE  
RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS ENCERRADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Aprovada em: 27 / 09 / 2019.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. José Fernando Thomé Jucá (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Eduardo Antônio Maia Lins (Examinador Externo)  
Instituto Federal de Pernambuco

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Odete Holanda Mariano (Examinadora Interna)  
Universidade Federal de Pernambuco

A minha querida Mãe, Quitéria Regina, o meu suporte de sempre, meu exemplo de força e perseverança, por todo carinho e incentivo, por acreditar e ajudar nas minhas escolhas, pelo apoio nos momentos difíceis e alegres desta jornada. À memória do meu Pai, Mário José, que nos deixou há pouco tempo, não pôde vivenciar este momento tão importante da minha vida, mas estará sempre presente em meu coração. A vocês toda a gratidão pela minha criação e educação! Não seria nada sem vocês.

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

À Deus pelo dom da vida, por todas as bênçãos alcançadas, por não me fazer desistir e permitir que mais um objetivo fosse almejado em minha vida.

Aos meus pais, Mário José (*in memoriam*) e Quitéria Regina pelos esforços diários, pela educação, carinho, cuidados e dedicação para que pudesse alçar novos desafios, serei eternamente grato.

As minhas irmãs Magda Dunga e Mileny Dunga, pelo carinho e amizade, razões das minhas alegrias e aperreios! Amo vocês. Ao meu Sobrinho Mário Neto, meu anjo de luz!

A todos os meus familiares que acompanharam e incentivaram a conclusão deste trabalho. Sendo o suporte necessário nos momentos complicados da vida e as companhias queridas nas conquistas.

Ao Professor Dr. José Fernando Thomé Jucá por prontamente aceitar ser meu orientador, sempre muito solícito e cordial acreditou no meu potencial e dedicou atenção e esforços para a realização desta pesquisa. Obrigado pela colaboração, paciência e conhecimentos transmitidos.

Ao Professor Eduardo Maia, pela atenção, sugestão e contribuição ao trabalho.

À Professora Odete Mariano, pelo incentivo e paciência, pelas críticas e contribuições, sem as quais este trabalho não teria a forma que hoje se apresenta.

Gostaria de deixar um agradecimento especial a Luiza Feitosa, Itamirys Oliveira, Sávio Holanda e Antônio Italcly, obrigado pelo estímulo e compreensão, vocês foram o suporte necessário nos momentos que nada mais fazia sentido, obrigado pelos conselhos e sugestões.

Aos meus amigos e companheiros do apartamento 302, Igor Vieira e Miguel Kelm vocês foram essenciais na construção deste trabalho. Obrigado pelo apoio, pelas conversas, incentivos, por tornarem mais agradável esta caminhada.

Aos amigos que o mestrado me proporcionou, Laís Guilherme, Guilbert Nichollas, Daiany Santos, Karlla Albuquerque, Klayde Verissimo, Thalita Rodrigues, Rafaela Marinho, Bruno Andrade, Yuri Tomaz, Felipe Barbosa, Liz Geisi, Riadny Ferreira, Guilherme Gomes, Alison Norberto, Vanessa Villa Verde, Neura Mendes, permitindo que esta jornada fosse ainda mais satisfatória.

Aos meus eternos amigos, Gabriela Duarte, Igor José, Ana Patrícia, Caroline Cavalcanti, Nyanne Marina, Cida Pontes e Nathalia Tavares, que nos momentos de minha

ausência dedicados a realização deste trabalho, estiveram ao meu lado incentivando, fazendo entender que o futuro é feito a partir da constante dedicação no presente.

A Universidade Federal de Pernambuco, pelo acolhimento, pela oportunidade de realização deste curso, foi um dos pilares na minha formação acadêmica, profissional e pessoal, proporcionando experiências incomparáveis durante os anos da pós-graduação.

Ao corpo docente da área de Geotecnia da UFPE, por proporcionarem o conhecimento contribuindo para o meu enriquecimento profissional.

A direção e administração da Pós-graduação.

Aos funcionários da secretária da PPGEC, pelo profissionalismo, e a todos os funcionários do CTG da UFPE.

Aos amigos do Laboratório de Solos e Instrumentação Gutemberg e Antônio Brito, pelas conversas e ensinamentos.

Ao todos que fazem parte do Grupo de Pesquisa de Resíduos Sólidos (GRS) da UFPE, fico muito contente de ter feito parte deste time. Obrigado pela amizade e troca de experiência.

À Empresa de Limpeza Urbana do Recife (EMLURB), em nome dos amigos e companheiros da direção do Aterro da Muribeca, Rodrigo, Washington, Padilha, Adauto (*in memoriam*), ao funcionário Carlinhos. Obrigado por permitir o acesso às informações do monitoramento realizado.

Aos Engenheiros responsáveis pelo monitoramento ambiental do Aterro da Muribeca (Convênio ATEPE/EMLURB), Ana Sofia Jucá e Felliipe Brandão.

E a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO

O monitoramento ambiental realizado para aterros sanitários é um instrumento que visa acompanhar os passivos ambientais gerados durante e após conclusão das suas atividades operacionais. Este trabalho teve a finalidade de avaliar o monitoramento ambiental realizado do pós-encerramento do Aterro da Muribeca no período de 2009 a 2018. Os dados obtidos foram analisados com o intuito de identificar o estágio de degradação do maciço de resíduos via geração de gases e lixiviado, analisar o monitoramento das águas superficiais e subterrâneas da área de influência direta do Aterro, o controle do reflorestamento realizado na área e a utilização da mesma para uso futuro. O monitoramento quantitativo do biogás gerado vem caindo gradativamente a partir do segundo semestre de 2013.2 quando a média diária do aterro estava em torno de 131,281 (m<sup>3</sup>/dia), para uma vazão média diária de 111,591 (m<sup>3</sup>/dia) no segundo semestre de 2018.2, uma queda de 15,0% entre o período analisado. A vazão do lixiviado está intimamente ligada ao efeito climático da precipitação, observa-se que nos períodos de estiagem a vazão decresce e nos períodos chuvosos tendem a aumentar, esta oscilação é observada nas vazões médias trimestrais estudadas onde, por exemplo, no período de 2014.2 a vazão média registrada foi de 494,3 m<sup>3</sup>/dia e para a última vazão aferida no primeiro trimestre de 2018.1 de 813,05 m<sup>3</sup>/dia. Em relação à avaliação realizada no monitoramento do lixiviado bruto e tratada, evidencia-se que o sistema de tratamento biológico inicialmente adotado era insuficiente para atender os padrões de remoção estabelecidos pela legislação vigente, ficando atestada a eficiência de remoção dos poluentes pelo sistema de tratamento físico-químico posteriormente adotado. O monitoramento das águas superficiais dos rios Muribequinha e Jaboatão, localizados na área de influência direta do aterro, atende os requisitos exigidos acerca do monitoramento qualitativo a montante e a jusante pelo órgão ambiental competente local. Para o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas realizados no poço de monitoramento instalado próximo à administração com profundidade de 16m funciona para os serviços básicos limpeza da sede administrativa e regar as mudas do canteiro. O processo de recuperação da área visa essencialmente destiná-la ao uso futuro, sendo recomendada a criação de espaços verdes na antiga área de depósitos de resíduos, foram plantas cerca de 37.705,00 mudas de espécies arbóreas em sua maioria nativas.

Palavras-chave: Monitoramento ambiental. Aterros pós-encerramento. Passivos ambientais. Recursos hídricos naturais. Reflorestamento.

## ABSTRACT

Environmental monitoring performed for landfills is an instrument that aims to monitor the environmental liabilities generated during and after completion of its operational activities. This study evaluated the environmental monitoring carried out after the Muribeca's Landfill post-closure from 2009 to 2018. The data obtained were analyzed in order to identify the degradation stage of the waste mass via gas generation and leachate, analyzed surface and groundwater of the landfill's direct area of influence, the control of reforestation carried out in the area and its use for future use. Quantitative monitoring of generated biogas has been falling steadily from the second half of 2013 when the daily average of the landfill was around 131.281 (m<sup>3</sup>/day), to an average daily flow of 111.591 (m<sup>3</sup>/day) in the second half of 2018, a decrease of 15.0% between the analyzed period. Leachate flow is closely linked to the climatic effect of precipitation, it is observed that during drought periods the flow decreases and in rainy periods tend to increase, this oscillation is observed in the quarterly average flows studied where, for example, in 2014 the average flow recorded was 494.3 m<sup>3</sup>/day and for the last flow measured in the first quarter of 2018 of 813.05 m<sup>3</sup>/day. Regarding the assessment carried out in the monitoring of raw and treated leachate, it is evident that the biological treatment system initially adopted was insufficient to achieve the removal standards established by current legislation, attesting the efficiency of pollutant removal by the physicochemical treatment system subsequently adopted. The surface water monitoring of the Muribequinha and Jaboaão rivers, located in the landfill's direct area of influence, meets the requirements required for upstream and downstream qualitative monitoring by the local competent environmental agency. For the monitoring of groundwater quality performed in the monitoring installed near the administration with depth of 16m works for basic services cleaning the administrative headquarters and watering the seedlings of the area. The area's recovery process is essentially intended for future use, and the creation of green spaces in the old waste deposit area is recommended. Around 37,705.00 seedlings of mostly native tree species were planted.

Keywords: Environmental Monitoring. Post-closure landfills. Environmental liabilities. Natural water resources. Reforestation.

## LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 -	Dinâmica de funcionamento de um aterro sanitário .....	33
Figura 2 -	Inputs e outputs de um aterro sanitário .....	36
Figura 3 -	Fases de geração de gases de um aterro sanitário .....	39
Figura 4 -	Em (a) drenos horizontais de gases e líquidos de coluna de brita e em (b) drenos verticais de coluna de brita, recobertos com geotêxtil .....	44
Figura 5 -	Diagrama de monitoramento dos gases .....	46
Figura 6 -	Equipamentos utilizados no monitoramento dos gases .....	48
Figura 7 -	Técnica de biorremediação anaeróbia in situ na pluma de contaminação e suas diferentes zonas de redução .....	60
Figura 8 -	Projeto técnico paisagístico da área do aterro, imagens do parque público .....	66
Figura 9 -	Projeto de regeneração do aterro sanitário de Fres Kills, imagens dos espaços do parque já disponível para a visitação pública .....	67
Figura 10 -	(a) Praça Victor Civita; (b) Parque da Juventude; (c) Parque Villa Lobos; (d) Parque Raposo Tavares .....	68
Figura 11 -	Mapa de localização do aterro da Muribeca .....	73
Figura 12 -	Vista área do aterro da Muribeca em (a) no ano de (2007) e em (b) no de seu encerramento (2009) .....	74
Figura 13 -	Fluxograma do monitoramento ambiental analisado do aterro da Muribeca .....	77
Figura 14 -	Croqui com a distribuição dos drenos de biogás do aterro da Muribeca .....	77
Figura 15 -	Monitoramento da vazão do biogás dos drenos do aterro da Muribeca .....	78
Figura 16 -	Controle da vazão do efluente lixiviante na caixa medidora do aterro da Muribeca .....	80
Figura 17 -	Coleta das amostras de lixiviado na entrada da ETL do aterro da Muribeca .....	81
Figura 18 -	Estação de tratamento de lixiviado do aterro da Muribeca .....	82

Figura 19 - Coleta das amostras do lixiviado tratado na saída da ETL da CTR Candeias .....	83
Figura 20 - Pontos de monitoramento das águas superficiais do Aterro da Muribeca .....	84
Figura 21 - Coleta das amostras das águas superficiais a montante (A) e a jusante (B) do Rio Jaboatão e montante (C) e jusante (D) do rio Muribequinha .....	85
Figura 22 - Poços de monitoramento das águas subterrâneas do Aterro da Muribeca .....	86
Figura 23 - Poços de monitoramento de águas subterrâneas do aterro da Muribeca, (A) PS 01, (B) PS 02, (C) PS 03, (D) PS 04 .....	86
Figura 24 - Poço de monitoramento de águas subterrâneas PS 05, localizado próximo à administração do aterro da Muribeca .....	87
Figura 25 - Plantio de gramíneas, plantio e manutenção das mudas do aterro da Muribeca no ano de 2010 .....	89
Figura 26 - Representação gráfica da evolução da vazão média do monitoramento do biogás pós-encerramento do Aterro da Muribeca .....	93
Figura 27 - Precipitação média semestral (mm) X vazão média diária do biogás (m <sup>3</sup> /dia) do Aterro da Muribeca .....	95
Figura 28 - Precipitação média trimestral (mm) X vazão média trimestral do lixiviado (m <sup>3</sup> /dia) do Aterro da Muribeca .....	98
Figura 29 - Dendrograma do Lixiviado bruto do monitoramento ambiental do pós-encerramento do Aterro da Muribeca, (2009 – 2013 1º trimestre) .....	102
Figura 30 - Dendrograma do lixiviado tratado do monitoramento ambiental do pós-encerramento do Aterro da Muribeca, (2009 – 2013 1º trimestre) .....	106
Figura 31 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro de DBO (mg/L), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2009 – 2013 1º trimestre) .....	107
Figura 32 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro de DQO (mg/L), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2009 – 2013 1º trimestre) .....	108

Figura 33 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Alcalinidade total (mg/L CaCO <sub>3</sub> ), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2009 – 2013 1º trimestre) .....	108
Figura 34 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro de pH, na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2009 – 2013 1º trimestre) .....	109
Figura 35 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Cor Aparente (Hazen), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2009 – 2013 1º trimestre) .....	110
Figura 36 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Turbidez (NTU), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2009 – 2013 1º trimestre) .....	110
Figura 37 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Sólidos Totais – ST (mg/L), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2009 – 2013 1º trimestre) .....	111
Figura 38 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Sólidos Dissolvidos Totais - SDT (mg/L), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2009 – 2013 1º trimestre) .....	112
Figura 39 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Sólidos Suspensos Totais - SST (mg/L), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2009 – 2013 1º trimestre) .....	112
Figura 40 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Coliformes Totais (NMP/100ml), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2009 – 2013 1º trimestre) .....	113
Figura 41 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2009 – 2013 1º trimestre) .....	114
Figura 42 -	Dendrograma do Lixiviado bruto do monitoramento ambiental do pós-encerramento do Aterro da Muribeca (2º trimestre de 2013-2018).....	116
Figura 43 -	Dendrograma do lixiviado tratado pela CTR-Candeias do monitoramento ambiental do pós-encerramento do Aterro da Muribeca, referente ao período do (2º trimestre de 2013-2018) .....	119

Figura 44 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro de DBO (mg/L), na caracterização do lixiviado em (a) bruto do Aterro da Muribeca e (b) tratado pela CTR-Candeias (2º trimestre de 2013-2018) .....	120
Figura 45 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro de DQO (mg/L), na caracterização do lixiviado em (a) bruto do Aterro da Muribeca e (b) tratado pela CTR-Candeias (2º trimestre de 2013-2018) .....	121
Figura 46 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Nitrogênio Amoniacal (mg/L), na caracterização do lixiviado em (a) bruto do Aterro da Muribeca e (b) tratado pela CTR-Candeias (2º trimestre de 2013-2018) .....	122
Figura 47 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro de pH, na caracterização do lixiviado em (a) bruto do Aterro da Muribeca e (b) tratado pela CTR-Candeias (2º trimestre de 2013-2018) .....	123
Figura 48 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Cor, na caracterização do lixiviado em (a) bruto do Aterro da Muribeca e (b) tratado pela CTR-Candeias (2º trimestre de 2013-2018) .....	123
Figura 49 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Sulfetos (mg/L), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2º trimestre de 2013-2018) .....	124
Figura 50 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Coliforme Totais (NMP/100ml), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2º trimestre de 2013-2018) .....	125
Figura 51 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Coliforme Termotolerantes (NMP/100ml), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2º trimestre de 2013-2018) .....	126
Figura 52 -	Mapa de localização dos pontos de monitoramento do Rio Muribequinha .....	130
Figura 53 -	Dendrograma do monitoramento ambiental das águas superficiais da montante do Rio Muribequinha .....	134
Figura 54 -	Dendrograma do monitoramento ambiental das águas superficiais da jusante do Rio Muribequinha .....	138
Figura 55 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro DBO (mg/L), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (a) jusante do Rio Muribequinha .....	139

Figura 56 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro DQO (mg/L), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (a) jusante do Rio Muribequinha .....	140
Figura 57 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro pH, do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (a) jusante do Rio Muribequinha .....	141
Figura 58 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro Cor (Hazen), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (a) jusante do Rio Muribequinha .....	142
Figura 59 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro Turbidez (NTU), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (a) jusante do Rio Muribequinha .....	143
Figura 60 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro STD (mg/L), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (a) jusante do Rio Muribequinha .....	144
Figura 61 -	Gráfico Bloxplot para os parâmetros do monitoramento ambiental a montante das águas superficiais em (a) N-Amoniacal e (b) Nitrito do Rio Muribequinha .....	145
Figura 62 -	Gráfico Bloxplot para os parâmetros do monitoramento ambiental a jusante das águas superficiais em (a) Coliformes Totais (b) Coliformes Termotolerantes do Rio Muribequinha .....	146
Figura 63 -	Mapa de localização dos pontos de monitoramento do Rio Jaboaão....	147
Figura 64 -	Dendrograma do monitoramento ambiental das águas superficiais da montante do Rio Jaboaão .....	151
Figura 65 -	Dendrograma do monitoramento ambiental das águas superficiais da jusante do Rio Jaboaão .....	155
Figura 66 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro DBO (mg/L), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (b) jusante do Rio Jaboaão .....	156
Figura 67 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro DQO (mg/L), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (b) jusante do Rio Jaboaão .....	157

Figura 68 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro pH, do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (b) jusante do Rio Jaboatão .....	158
Figura 69 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro Cor (Hazen), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (b) jusante do Rio Jaboatão .....	158
Figura 70 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (b) jusante do Rio Jaboatão .....	159
Figura 71 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro Cloretos ( $\text{mg}/\text{L}$ ), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (b) jusante do Rio Jaboatão .....	160
Figura 72 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro Turbidez (NTU), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (b) jusante do Rio Jaboatão .....	161
Figura 73 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro Nitrogênio Amoniacal ( $\text{mg}/\text{L}$ ), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (b) jusante do Rio Jaboatão .....	162
Figura 74 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro Sólidos Dissolvidos Totais - SDT ( $\text{mg}/\text{L}$ ), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (b) jusante do Rio Jaboatão .....	163
Figura 75 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro Coliforme Total (NMP/100 mL), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (b) jusante do Rio Jaboatão .....	164
Figura 76 -	Gráfico Bloxplot para o parâmetro Coliformes Termotolerantes ( $\text{mg}/\text{L}$ ), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (b) jusante do Rio Jaboatão .....	165
Figura 77 -	Mapa de localização dos pontos de monitoramento das águas subterrâneas do Aterro da Muribeca .....	166
Figura 78 -	Dendrograma do monitoramento ambiental das águas subterrâneas do Aterro da Muribeca (2010 – 2018) .....	169

Figura 79 -	Gráfico Bloxplot para os parâmetros em (a) DBO (mg/L) e (b) DQO (mg/L) do monitoramento ambiental da qualidade das águas subterrâneas do poço artesiano P105 do Aterro da Muribeca (2009-2018) .....	170
Figura 80 -	Gráfico Bloxplot para os parâmetros em (a) pH e (b) Turbidez (NTU) do monitoramento ambiental da qualidade das águas subterrâneas do poço artesiano P105 do Aterro da Muribeca (2009-2018) .....	171
Figura 81 -	Gráfico Bloxplot para os parâmetros em (a) Cor (Hazen) e (b) Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) do monitoramento ambiental da qualidade das águas subterrâneas do poço artesiano P105 do Aterro da Muribeca (2009-2018) .....	172
Figura 82 -	Gráfico Bloxplot para os parâmetros em (a) Sólido Dissolvido Total – SDT (mg/L) e em (b) N-Amoniacal (mg/L) do monitoramento ambiental da qualidade das águas subterrâneas do poço artesiano P105 do Aterro da Muribeca (2009-2018) .....	173
Figura 83 -	Gráfico Bloxplot para os parâmetros em (a) Coliforme Total (NMP/100 ml) e (b) Coliforme Termotolerante (NMP/100 ml) do monitoramento ambiental da qualidade das águas subterrâneas do poço artesiano P105 do Aterro da Muribeca (2009-2018) .....	174

## LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 -	Características das principais composições presente no biogás gerado em aterro de resíduos sólidos urbanos .....	45
Tabela 2 -	Alguns equipamentos utilizados para medições das concentrações de biogás em aterros sanitários .....	47
Tabela 3 -	Principais fatores que influenciam a composição do lixiviado dos aterros .....	50
Tabela 4 -	Cinco principais frações que compõem o lixiviado .....	51
Tabela 5 -	Caracterização de diferentes tipos de lixiviados de aterro .....	52
Tabela 6 -	Valores pertinentes para lixiviados novos, intermediários e velhos .....	53
Tabela 7 -	Características prováveis do lixiviado de aterros brasileiros .....	54
Tabela 8 -	Eficácia dos tratamentos do lixiviado de aterros brasileiros .....	56
Tabela 9 -	Ano de encerramento das células do Aterro da Muribeca .....	75
Tabela 10 -	Periodicidade do monitoramento ambiental realizado no aterro da Muribeca .....	76
Tabela 11 -	Precipitação Média Mensal e Anual da estação pluviométrica (Posto Cód. 268) Jabotão dos Guararapes, localizada em Duas Unas .....	79
Tabela 12 -	Profundidade e localização geográfica dos poços de monitoramento do Aterro da Muribeca .....	87
Tabela 13 -	Tratamento estatístico realizados nos estudos do monitoramento ambiental do Aterro da Muribeca .....	90
Tabela 14 -	Valores médios da vazão diária ( $m^3/dia$ ) do biogás nas células do aterro de 2011 a 2018 .....	92
Tabela 15 -	Precipitação média semestral acumulada da estação pluviométrica (mm) (Posto Cód. 268) Jabotão dos Guararapes, localizada em Duas Unas .....	94
Tabela 16 -	Vazão média diária do lixiviado ( $m^3/dia$ ) do Aterro da Muribeca de 2010 a 2018 .....	96

Tabela 17 - Precipitação média trimestral acumulada da estação pluviométrica (mm) (Posto Cód. 268) Jaboaão dos Guararapes, localizada em Duas Unas .....	97
Tabela 18 - Análise da estatística descritiva das médias da qualidade do lixiviado bruto referente ao período de (2009 – 2013 1º trimestre) do Aterro da Muribeca .....	100
Tabela 19 - Análise da estatística descritiva das médias da qualidade do lixiviado tratado referente ao período de (2009 – 2013 1º trimestre) do Aterro da Muribeca .....	104
Tabela 20 - Análise da estatística descritiva das médias da qualidade do lixiviado bruto referente ao período do (2º trimestre de 2013-2018) do Aterro da Muribeca .....	115
Tabela 21 - Análise da estatística descritiva das médias da qualidade do lixiviado tratado pela CTR-Candeias, referente ao período do (2º trimestre de 2013-2018) .....	118
Tabela 22 - Relação DBO5/DQO do pós-encerramento do Aterro da Muribeca .....	127
Tabela 23 - Análise da estatística descritiva dos parâmetros qualitativos da montante do Rio Muribequinha .....	131
Tabela 24 - Análise da estatística descritiva dos parâmetros qualitativos da jusante do Rio Muribequinha .....	135
Tabela 25 - Análise da estatística descritiva dos parâmetros qualitativos da montante do Rio Jaboaão .....	148
Tabela 26 - Análise da estatística descritiva dos parâmetros qualitativos da jusante do Rio Jaboaão .....	152
Tabela 27 - Análise da estatística descritiva dos parâmetros qualitativos do poço subterrâneo de monitoramento P105, referente ao período (2009-2018) .....	167
Tabela 28 - Nome popular, nome científico/espécie, número total de indivíduos (NTI), densidade absoluta (DA), densidade relativa (DR) e origem das espécies arbóreas plantadas na área do aterro (62 ha). Origem: E=exótica, N=nativa .....	176

Tabela 29 - Espécies relacionadas no plano de recuperação do cinturão verde do aterro Aterro da Muribeca .....	180
Tabela 30 - Estatística descritiva para as espécies exóticas e nativas do reflorestamento do Aterro da Muribeca .....	181

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAH	Análises de Agrupamento Hierárquico
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGV	Ácidos Graxos Voláteis
ANA	Agência Nacional de Águas
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Climas
BSI	British Standards Institution
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COT	Carbono Orgânico Total
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CPRH	Agência Estadual do Meio Ambiente
CTR	Centro de Tratamento de Resíduos
CV	Coeficiente de Variação
DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxigênio durante o período de Incubação de 5 dias
DP	Desvio Padrão
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMLURB	Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
ETL	Estação de Tratamento de Lixiviados
FVMP	Frequência de ocorrência dos valores mais prováveis
GEE	Gases de efeito estufa
GRS	Grupo de Resíduos Sólidos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Itep	Instituto de Tecnologia de Pernambuco
LE	Lodo de Esgoto
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira
NTK	Nitrogênio de Kjeldahl Total
OCA	Órgão de Controle Ambiental
pH	potencial Hidrogeniônico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos

POA	Processos oxidativos avançados
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
VMP	Valores Máximo Permitidos

## LISTA DE SÍMBOLOS

### Símbolos

H <sub>2</sub> O	Água
CO <sub>2</sub>	Gás Carbônico
N <sub>2</sub>	Gás Nitrogênio
O <sub>2</sub>	Gás Oxigênio
CH <sub>4</sub>	Gás Metano
H <sub>2</sub> S	Ácido sulfídrico/Sulfeto de Hidrogênio
T <sub>interna</sub> T <sub>externa</sub>	Temperatura do biogás
CO	Monóxido de Carbono
H <sub>2</sub>	Gás Hidrogênio
NH <sub>3</sub>	Amônia
Ca	Cálcio
Na	Sódio
Mg	Magnésio
K	Potássio
Fe	Ferro
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Amônio
Cl <sup>-</sup>	Cloreto
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Sulfato
CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	Carbonato
Cd	Cádmio
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Pb	Chumbo
Ni	Níquel
Zn	Zinco
Ba	Bário
Co	Cobalto
Li	Lítio
Hg	Mercúrio
B	Boro

As	Arsênio
Se	Selênio
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de Cálcio
C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH	Fenol
MnO <sub>2</sub>	Dióxido de Manganês

#### Unidades

kg/cm <sup>3</sup>	quilograma por centímetro cúbico (densidade)
kJ/m <sup>3</sup>	quilojoule por metro cúbico (densidade de energia)
g/l	grama por litro (concentração)
ppm	Parte Por Milhão (concentração)
kPa	quilopascal (pressão e tensão)
hPa	hectopascal
°C	Graus Celsius
mg/L	Miligrama por litro (concentração)
μS/cm	Microsiemens por centímetro (condutividade)
m <sup>3</sup> /s	Metros cúbicos por segundo (vazão)
m/s	Metros por segundo (velocidade)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>25</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	25
1.2	JUSTIFICATIVA .....	27
1.3	OBJETIVOS .....	28
<b>1.3.1</b>	<b>Geral.....</b>	<b>28</b>
<b>1.3.2</b>	<b>Específicos.....</b>	<b>28</b>
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO .....	28
<b>2</b>	<b>REVISÃO LITERÁRIA .....</b>	<b>30</b>
2.1	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) .....	30
2.2	ATERRO SANITÁRIO PRINCIPAL TECNOLOGIA DE DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS .....	31
2.3	OPERAÇÃO DOS ATERROS SANITÁRIOS .....	32
2.4	PROCESSO DE DEGRADAÇÃO DE RSU EM ATERROS SANITÁRIOS .....	34
<b>2.4.1</b>	<b>Processo de Decomposição Aeróbia.....</b>	<b>36</b>
<b>2.4.2</b>	<b>Processo de Decomposição Anaeróbia.....</b>	<b>37</b>
2.5	ENCERRAMENTO DE ATERROS SANITÁRIOS .....	40
2.6	MONITORAMENTO AMBIENTAL DE ATERROS SANITÁRIOS ENCERRADOS .....	42
<b>2.6.1</b>	<b>Monitoramento dos gases .....</b>	<b>43</b>
<b>2.6.2</b>	<b>Monitoramento dos líquidos lixiviados .....</b>	<b>49</b>
<b>2.6.3</b>	<b>Monitoramento das águas superficiais e subterrâneas .....</b>	<b>59</b>
2.6.3.1	Águas Superficiais.....	60
2.6.3.2	Águas Subterrâneas .....	62
<b>2.6.4</b>	<b>Reflorestamento, controle da vegetação e uso futuro da área.....</b>	<b>64</b>
2.7	ESTUDOS REALIZADOS NO ATERRO DA MURIBECA .....	69
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>72</b>
3.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	72
<b>3.1.1</b>	<b>Aterro da Muribeca.....</b>	<b>73</b>
3.2	MONITORAMENTO AMBIENTAL DO ATERRO DA MURIBECA .....	75
<b>3.2.1</b>	<b>Monitoramento Biogás.....</b>	<b>77</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Monitoramento e Qualidade físico-química e microbiológica do lixiviado bruto e tratado .....</b>	<b>79</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Qualidade do lixiviado bruto.....</b>	<b>80</b>

3.2.4	Qualidade do lixiviado tratado.....	81
3.2.5	Monitoramento das águas superficiais e subterrâneas .....	84
3.2.6	Águas superficiais.....	84
3.2.7	Águas subterrâneas (poço artesiano).....	85
3.2.8	Recomposição florestal da área.....	88
3.3	TRATAMENTOS DOS DADOS E ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	89
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>91</b>
4.1	ANÁLISES ESTATÍSTICAS DO MONITORAMENTO AMBIENTAL DA VAZÃO DO BIOGÁS .....	91
4.2	ANÁLISES ESTATÍSTICAS DO MONITORAMENTO AMBIENTAL DA QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO LIXIVIADO BRUTO E TRATADO DO ATERRO DA MURIBECA .....	96
4.2.1	<b>Análise da estatística da qualidade do lixiviado bruto e tratado (2009 – 2013 1º trimestre).....</b>	<b>99</b>
4.2.1.1	Lixiviado Tratado (2009 – 2013 1º trimestre).....	103
4.2.2	<b>Análise da estatística da qualidade do lixiviado bruto e tratado (2º trimestre de 2013 - 2018). .....</b>	<b>115</b>
4.2.2.1	Lixiviado Tratado (2º trimestre de 2013-2018).....	117
4.3	ANÁLISES ESTATÍSTICAS DO MONITORAMENTO AMBIENTAL DA QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS DO ATERRO DA MURIBECA .....	129
4.3.1	<b>Análise da estatística das águas superficiais .....</b>	<b>129</b>
4.3.1.1	Monitoramento do Rio Muribequinha (Montante).....	130
4.3.1.2	Monitoramento do Rio Muribequinha (Jusante) .....	134
4.3.1.3	Monitoramento do Rio Jaboaão (Montante) .....	147
4.3.1.4	Monitoramento do Rio Jaboaão (Jusante).....	151
4.3.2	<b>Análise da estatística das águas subterrâneas .....</b>	<b>165</b>
4.4	RECUPERAÇÃO FLORESTAL DA ÁREA DO ATERRO DA MURIBECA.....	175
5	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>182</b>
5.1	CONCLUSÕES.....	182
5.2	RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS .....	184
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>186</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo aborda as primeiras discussões a respeito da problemática da destinação final dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e o monitoramento ambiental de aterros encerrados. Evidenciando os assuntos que serão abordados nesta dissertação.

### 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O Brasil dispõe da lei 12.305 de 2010, que trata sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) com a premissa de uma estratégia nacional traçada para promover a extinção dos lixões e o desenvolvimento sustentável na área de resíduos sólidos, como melhoria no tratamento, coleta e destinação final dos resíduos, com a finalidade de sanar os problemas ambientais, econômicos e sociais provindo da realidade de descarte inadequado ainda tão presente no país (BRASIL, 2010).

Os aterros sanitários são obras de engenharia de caráter sanitário, onde são destinados a receber os resíduos sólidos urbanos, os aterros são criados e projetados para minimizar os impactos causados pelos resíduos no meio ambiente tecnicamente adequada e ambientalmente correta. Chegado o fim da vida útil de deposição de resíduos sólidos de um aterro não descontinua os complexos processos de biodegradação dos resíduos no interior das células, uma vez que, os aterros continuam gerando gases e lixiviado (PORTELLA e RIBEIRO, 2014). Para isso, se faz necessário à realização de acompanhamentos, estudos, monitoramentos ambientais, com o propósito de mitigação da área do aterro após o seu encerramento.

O lixiviado é resultado da mistura da água que infiltra e percola através dos resíduos sólidos em decomposição no interior do aterro. A degradação dos resíduos no aterro ocorre mediante a uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos, chamados de dinâmica de aterros. Devido o lixiviado ser resultado desta combinação, não se pode esperar que nele aparecessem apenas produtos do metabolismo microbiano, mas físicos e químicos também. A dinâmica de um aterro sofre e passa por variações, tanto os gases como o lixiviado emitido pelo aterro passam por mudanças ao longo do tempo (SOUTO, 2009).

Garza, Skrzypczak e Domingos (2014) abordam que as fases de degradação dos resíduos ocorrem simultaneamente em vários pontos do mesmo aterro, é que elas ocorrem em quatro etapas distintas, sendo elas; Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese e Metanogênese. Segundo Santos Filho (2013) a relação que ocorre entre as fases de degradação, torna-se cada

vez mais difícil prever as características dos lixiviados e os impactos que o mesmo pode causar. Desta maneira, é essencial a realização do monitoramento ambiental do aterro sanitário mesmo após o seu encerramento como uma forma de controle da poluição, visto que os mesmos continuam gerando lixiviado e gases por um longo período de tempo após o encerramento das atividades.

A recomposição vegetal da área é necessária para a recuperação da cobertura vegetal, como também é a forma mais indicada para a conservação dos taludes, importante para evitar-se o surgimento de voçorocas, desmoronamento de taludes, soterramentos de estradas, entupimento das calhas de águas pluviais com o solo. Para cada ambiente, são indicadas determinadas espécies vegetais que são adequadas para a recuperação da cobertura vegetal e irão se adaptar da melhor forma (KLEIN, *et al.* 2009).

A área para a acondicionamento dos resíduos sólidos dos municípios do Recife e Jaboatão dos Guararapes na Muribeca teve sua operação iniciada no ano de 1985. Em 1994 iniciou-se o processo de transformação do lixão em um aterro controlado, dividindo em nove células a área de 62 hectares destinada a deposição dos resíduos sólidos urbanos. O encerramento do aterro sanitário aconteceu em julho de 2009, a área remanescente continuará sendo recuperada e monitorada até o ano de 2026.

O monitoramento ambiental realizado em aterros sanitários é extremamente importante, uma vez que é definido como um conjunto sistemático de normas adotadas para avaliar os possíveis impactos e riscos ambientais. O monitoramento estabelecido é executado através dos levantamentos realizados em campo e laboratório, de acordo com suas respectivas periodicidades, de acordo com as análises dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos em amostras de: águas superficiais e subterrâneas, efluentes do lixiviado bruto e tratado, como também, a quantidade e qualidade da geração do gás.

A análise e interpretação dos dados fornecidos facilita a comparação com os padrões de referência da qualidade ambiental estabelecidos pela legislação vigente. Assim, pode-se prever possíveis alterações nos padrões de comportamento do aterro, e, em tempo ágil, executar medidas preventivas e/ou corretivas de acordo com o plano de encerramento proposto.

O presente trabalho tem por objetivo analisar os dados de monitoramento ambiental pós-encerramento da geração de gás, lixiviado bruto e tratado, das águas superficiais e subterrâneas do aterro de resíduos sólidos urbanos da Muribeca/PE, como também, realizar um levantamento da recomposição florestal realizada na área. Esta avaliação servirá de

instrumento para as decisões a serem tomadas na gestão do aterro de resíduos sólidos da Muribeca.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

Devido o crescimento demográfico urbano e o processo tecnológico e industrial, associado às mudanças de hábitos de consumo, ligado ao consumo crescente de produtos não duráveis e/ou descartáveis, tem ocasionado um crescimento significativo na produção de resíduos gerados pela população. A problemática da geração dos resíduos sólidos está diretamente conectada aos hábitos culturais de consumo, níveis educacionais, desenvolvimento e atividade econômica predominante. As questões e discussões atuais surgem principalmente situadas à degradação do meio ambiente, como dispor os resíduos gerados e o que fazer com aqueles que já foram destinados incorretamente. Inserindo também nas discussões atuais o encerramento das atividades operacionais de um aterro sanitário, e seu monitoramento ambiental. Após o encerramento de um aterro sanitário, o mesmo continua gerando emissões atmosféricas e efluentes líquidos o que constitui passivos ambientais até o período de sua estabilização, os maciços por sua vez apresentam deformações horizontais e verticais elevadas. Diante deste cenário, com a finalidade de entender o processo de biodegradação e avaliação após o encerramento operacional do aterro sanitário, este estudo trás conclusões baseadas nos levantamentos realizados pela gestão do aterro nos últimos anos, evidenciando cada vez mais a necessidade de um conhecimento mais complexo no que abrange à gestão dos aterros sanitários após seu encerramento. Apresentar resultados obtidos através de registros documentais do monitoramento dos gases, do lixiviado do aterro sanitário da Muribeca, e do controle das águas subterrâneas, e das águas superficiais dos rios que cortam a região, bem como o cuidado com o reflorestamento da área, trás para o centro das discussões as responsabilidades do monitoramento ambiental após o encerramento de um aterro sanitário, como também, os cuidados que devem ser tomados para mitigar os impactos provocados. O tema enquadra-se no contexto social e político atual, o enfoque desta pesquisa foi o monitoramento ambiental realizado no aterro sanitário da Muribeca situado na região Metropolitana do Recife, após o encerramento das atividades, este estudo permite ainda a inserção acadêmica da engenharia sanitária, na medida em que engloba as águas, as águas residuais e os resíduos sólidos. Este estudo possibilita acesso às informações, procedimentos, recomendações e sugestões para cada área do monitoramento ambiental de um aterro encerrado, uma vez que esse tema tem sido pouco discutido no Brasil.

### 1.3 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho estão devidos em geral e específico.

#### 1.3.1 Geral

Realizar o estudo do monitoramento ambiental no pós-encerramento do aterro sanitário da Muribeca, no período de (2009-2018).

#### 1.3.2 Específicos

- a) Avaliar os dados do monitoramento da vazão de biogás nos drenos existentes no período pós-encerramento;
- b) Avaliar os dados do monitoramento do lixiviado bruto e tratado durante o período de pós-encerramento;
- c) Avaliar os dados do monitoramento ambiental das águas subterrâneas dos poços artesianos localizados no entorno do aterro controlado;
- d) Avaliar os dados do monitoramento ambiental das águas superficiais dos Rios Jaboaão e Muribequinha em pontos localizados a montante e a jusante do aterro controlado;
- e) Levantamento quantitativo das espécies utilizadas na recomposição florestal da área.

### 1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está dividida em cinco capítulos.

O capítulo 1 apresenta a importância do tema que será abordado ao longo desta dissertação, enfatizando a importância do monitoramento ambiental dos aterros sanitários na área da Geotecnia Ambiental.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica sobre o monitoramento ambiental do pós-encerramento dos aterros sanitários, com ênfase para as principais discussões sobre os diversos temas relacionados diretamente com a temática estudada, ressaltando a relevância para o presente estudo.

O capítulo 3 apresenta as características do Aterro da Muribeca e os materiais e métodos empregados no seu monitoramento ambiental. Descreve também os métodos estatísticos adotados para análise dos dados de monitoramento.

O capítulo 4 apresenta os resultados e discute os dados obtidos durante a pesquisa do Aterro da Muribeca em quatro etapas principais: monitoramento do biogás; monitoramento das águas superficiais; monitoramento das águas subterrâneas e avaliação da recomposição florestal da área.

O capítulo 5 apresenta de modo sucinto as principais conclusões obtidas a partir da realização desta pesquisa, bem como as recomendações e sugestões para futuras pesquisas desenvolvidas nesta área.

## 2 REVISÃO LITERÁRIA

Este capítulo explana uma revisão bibliográfica sobre os resíduos sólidos urbanos, destinação, aterros sanitários, processo de degradação, operação e encerramento dos aterros, monitoramento ambiental de toda a área de influência do aterro, processos de recuperação da área degradada. Por fim, estudos relevantes desenvolvidos no Aterro da Muribeca.

### 2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

Os chamados Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são habitualmente chamados de lixo. Na maior parte dos casos, estes materiais são percebidos como algo que não presta coisas velhas, inúteis, sem valor, causadores de doenças e maus odores e que por isso são jogadas fora. De acordo com Sá (2008) esta percepção negativa sobre os resíduos vem evoluindo positivamente nos últimos anos.

Os RSU são conhecidos como resíduos que resultam de diversas atividades domésticas e comerciais das áreas urbanas. De acordo com a norma brasileira NBR 10.004 (ABNT, 2004) define-se resíduos sólidos como:

Resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

Quaisquer atividades humanas, independente da sua origem, têm como resultado a geração de resíduos sólidos. A intensa produção de resíduos pela população brasileira é uma das grandes preocupações atuais, tendo em vista que a destinação dos resíduos sólidos ainda são um dos principais problemas ambientais, vistos que estes rejeitos tem se tornado cada vez mais tóxicos, contribuindo cada vez mais para a poluição ambiental (PINHEIRO e FRANCISCHETTO, 2016).

Os resíduos sólidos foram por muitos anos depositados em lugares impróprios, os chamados lixões áreas destinadas para tal atividade, afastadas dos grandes centros urbanos. Entretanto, devido o efeito da expansão urbana das grandes cidades, estes resíduos foram

ficando cada vez mais próximos do ambiente urbano, sendo depositados em locais sem tratamento adequado (SOARES, 2014).

Segundo Nascimento (2012) a proximidade dos locais de disposição inadequada com os centros urbanos é um grave problema ambiental enfrentado pelas grandes cidades em todo o mundo, uma vez que a esta proximidade acarretou o surgimento de diversos problemas de saúde e sociais relacionados com a população. Em razão disso os RSU necessitaram de um destino final ambientalmente adequado, para que a sociedade e o ecossistema não sejam punidos.

De acordo com Sá (2008) os riscos de contaminação e disposição inadequada dos resíduos sólidos são diversos, e a preocupação da população resume-se apenas em ter um sistema eficiente de coleta de resíduos, para afastar os resíduos do seu meio de convivência, se abstendo ou até mesmo não se importando em saber qual o tratamento e a destinação final adequada dada aos resíduos por eles gerados, sem a responsabilidade de que poderão trazer sérios riscos à saúde humana e ao meio ambiente.

As características dos resíduos sólidos produzidos pela sociedade variam muito em função dos fatores culturais e econômicos. Para Rocha (2005) a questão socioeconômica da população é um dos fatores mais importantes, entre os que influenciam na origem e formação do lixo, uma vez que ocorram variações econômicas do poder aquisitivo de uma comunidade, o acesso da população a certos bens de consumo e não a outros, estes reflexos são sentidos imediatamente nos locais de disposição final, uma vez que as próprias culturas de consumo de cada localidade resultam nas diferenças qualitativas e quantitativas dos resíduos produzidos.

## 2.2 ATERRO SANITÁRIO PRINCIPAL TECNOLOGIA DE DESTINAÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Os aterros sanitários é o método mais simples e economicamente viável de disposição final de resíduos sólidos urbanos, sendo também o mais empregado quando comparado com outras tecnologias de gestão de resíduos, sendo considerado um método ambientalmente adequado para a disposição de resíduos sólidos na maior parte do mundo. Os conceitos sobre os aterros sanitários são diversos, uma vez que são baseados nos princípios científicos da engenharia, dos custos envolvidos, e das normas operacionais, onde se embasa todo o processo de planejamento, projeção, operação e manutenção. Além de que, possui grande capacidade de absorção diária de resíduos, consistindo basicamente no

acondicionamento/estocagem dos resíduos sólidos no solo. (LIMA, 2006; NASCIMENTO, 2012).

A Associação Brasileira de Normas e Técnicas por meio da norma brasileira NBR-8419/NB 843 (ABNT, 1992) define aterro sanitário da seguinte forma:

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou intervalos menores, se necessário. NBR 8419:1992 (ABNT, 1992).

Santos (2008b) conceitua aterro sanitário como uma componente necessária em qualquer sistema de gestão de RSU, não sendo apenas uma escavação realizada para depositar materiais e do qual nunca mais saiam. Os aterros sanitários também representam sistema de tratamento, indo além de um simples método de acondicionamento e disposição final para o RSU. Onde ocorre a conversão de biomassa em energia, ou seja, nos aterros ocorrem processos capazes de estabilizarem a matéria orgânica e os metais pesados presentes em materiais ou substâncias mais estáveis (LIMA, 2006).

### 2.3 OPERAÇÃO DOS ATERROS SANITÁRIOS

Os aterros sanitários são um método comumente utilizado para a disposição final de resíduos sólidos no solo, são componentes fundamentais na estratégia da gestão integrada e do manejo dos resíduos sólidos, seguindo orientações estabelecidas por órgãos ambientais, os aterros são construídos, na maior parte das vezes, em locais distantes dos grandes centros urbanos tendo em vista dos aspectos visuais e operacionais, como também, o intuito de minimizar a existência de impactos ambientais negativos aos meios físicos, biótico e antrópico, e da complexidade técnica para a viabilização do aterro, como também a aceitação pública (VAN ELK, 2007).

Para um bom funcionamento e operação de um aterro sanitário, o mesmo deve atender toda a concepção desde a fase inicial do projeto, seleção da área de implantação do aterro, os aspectos de engenharia e proteção ambiental, impermeabilização da fundação e dos sistema de drenagem do fundo do aterro, espalhamento e compactação dos resíduos, instalação dos drenos verticais de gás e lixiviado, recobrimento diário, intermediário e final, monitoramento ambiental e geotécnico, além do plano de encerramento do aterro ao fim da sua vida útil. São fatores fundamentais para a operação dos aterros sanitários, uma vez, que de nada adiantará

um bom projeto e o cumprimento das licenças ambientais em dias, se a operação não atender às particularidades que tornem o aterro sanitário ambientalmente adequado durante o período de operação.

O aterro pode também ser considerado um processo de valorização energética, no decorrer da biodegradabilidade dos resíduos são formados composto de gases com aceitável poder calorífico que pode ser convertido em energia elétrica ou térmica. O aproveitamento energético do biogás pode gerar uma importante alternativa para diversificar a matriz energética de eletricidade nacional e, ao mesmo, como uma solução altamente sustentável de mitigação dos gases de efeito estufa (JORDÃO, 2011).

A Figura 1 representa a anatomia de um aterro sanitário, onde se encontram demonstrados os vários elementos que vão da fase pré-operacional, operacional, encerramento e pós-encerramento.

Figura 1 - Dinâmica de funcionamento de um aterro sanitário



Fonte: Adaptado de Autossustentável (2010).

1. É realizada escavações até uma certa profundidade, mantendo uma distância limite de aproximadamente 2 metros acima do lençol freático, para a etapa do sistema de impermeabilização do aterro;

2. Tratores realizam a compactação do solo natural da área escavada;

3. Sistema de drenagem do lixiviado (líquido resultante da decomposição do lixo);

4. Cinturão verde com vegetação nativa ao redor do aterro;

5. Sistema de drenagem de gases;

6. Resíduos em decomposição no interior das células;

7. O lixiviado através do sistema de drenagem é recolhido para o sistema de tratamento, onde passará por várias etapas de tratamento (físico-químico e biológico) até ser estabilizado para o descarte;

8. Balanças de pesagem para caminhões, onde controlam a quantidade de lixo que chega diariamente no aterro.

9. Administração do aterro, área responsável para coordenar e monitorar as atividades do aterro;

10. Encerramento das atividades do aterro sanitário, quando o mesmo já atingiu sua capacidade de receber resíduos, realização do monitoramento geotécnico e ambiental por um período entre 10 - 15 anos após o encerramento das atividades, recuperação da área degradada em espaços verdes de conservação ambiental.

Mesmo após o encerramento da operação do aterro, lixiviados e gases continuam sendo gerados, sendo necessário estabilizar a área (física, química e biologicamente), por meio, da realização do monitoramento pelo período entre 10 – 15 anos após a sua desativação, até que os resíduos dispostos estejam totalmente estabilizados, destinando a área a um uso compatível (DORES, 2007; ALVES, 2010).

Alves (2010) recomenda que o terreno não seja utilizado para construções, mesmo depois de vários anos após seu encerramento. Estas áreas apresentam recalques diferenciados significativos, baixa capacidade de carga, variada composição bioquímica do interior do aterro e a presença de gases combustíveis potencialmente explosivos (CHERNICHARO, *et al.* 2008).

Van Elk (2007) enfatiza que o reaproveitamento da área deve ser previsto após o encerramento da vida útil do aterro. É geralmente utilizado nestas áreas a construção de áreas verdes e parques de lazer para a comunidade das proximidades do aterro sanitário. Não é recomendado a instalação de grandes estruturas na área, devido a heterogeneidade dos resíduos, é possível a ocorrência de recalques elevados durante décadas, o que pode dificultar e onerar as construções nesses locais.

#### 2.4 PROCESSO DE DEGRADAÇÃO DE RSU EM ATERROS SANITÁRIOS

No Brasil a destinação dos RSU geralmente não recebe um tratamento prévio, como triagem por exemplo, antes de ir para o aterro, a maior parte deste resíduo é formado por materiais recicláveis que poderiam facilmente ter outra finalidade, diminuindo desta forma o

volume depositado nos aterros (LEME, 2009). Em geral tudo que é coletado, acaba sendo destinado para o aterro sanitário, o que reflete diretamente no processo de degradação dos RSU no interior do aterro, uma vez que a velocidade com que vários componentes presentes no resíduo se degradam varia significativamente, refletindo em diversas evoluções com alta complexidade, que são constituídas pela superposição de mecanismos físicos, químicos e biológicos (BRITO, 2015).

Como mencionado anteriormente o processo de biodegradação dos RSU demanda uma série de reações alta complexibilidade, a degradação dos diferentes tipos de resíduos depende das condições locais e regionais, como a temperatura, tipo de solo, vegetação, clima, fauna e os microrganismos decompositores. Desta maneira se faz necessário o conhecimento da diversidade bioquímica para entender os processos dos organismos decompositores, uma vez que os mesmos possuem ampla habilidade enzimática de degradação dos resíduos sólidos no interior dos aterros sanitários, para convertê-los em metabólitos assimiláveis (AUER; GHIZELINI e PIMENTEL, 2007).

A biodegradabilidade dos resíduos é a propriedade biológica de maior importância na fração orgânica dos resíduos sólidos, uma vez que as reações ocorrem com ou sem a presença de oxigênio. A biodegradação da fração orgânica dos resíduos sólidos é um substrato complexo e multifacetado, envolvendo um grande número e variedade de microrganismos, um caminho metabólico ainda mais complexo constituído por uma série de reações, resultando o metano como produto final (REIS, 2012).

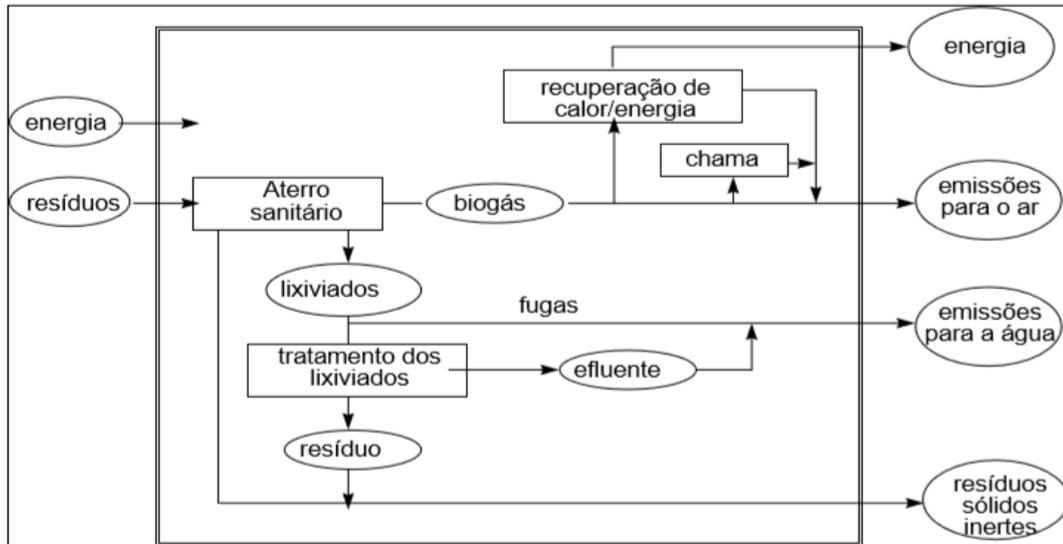
De acordo com Jesus (2013) a composição física dos resíduos sólidos urbanos é fracionada em matéria orgânica, papel, vidro, papelão, trapos de tecido, couro, metais ferrosos e não-ferrosos, borracha, madeira e uma vasta gama de plásticos. Ainda segundo o autor, a composição da matéria orgânica constitui-se em cerca de 60%, em contato direto com o meio, degrada-se facilmente, em contrapartida os outros materiais dependendo do tipo desta composição, podem levar a milhares de anos para se decompor.

Segundo Van Elk (2007) o aterro sanitário apresenta um comportamento de um reator dinâmico, isso porque produz, por meio de reações químicas e biológicas, emissões como o biogás, efluentes líquidos como os lixiviados, e resíduos mineralizados como o húmus resultado da decomposição da matéria orgânica.

Os aterros sanitários podem ser considerados como um reator bioquímico, em que os resíduos e as águas pluviais correspondem a energia necessária para o desenvolvimento do processo chamado de entrada ou *inputs* de um aterro, etapa onde exista condições que garantam a decomposição da fração orgânica dos resíduos, por ação dos microrganismos. Já a

saída ou *outputs* são os processos resultantes da decomposição aeróbia e anaeróbia dos resíduos, que se transformam em resíduos finais estabilizados, biogases que podem ser convertidos em energia e os líquidos lixiviados resultantes da decomposição dos resíduos e da precipitação (SANTOS, 2008b). A figura 2 a seguir exemplifica o processo de decomposição.

Figura 2 – Inputs e outputs de um aterro sanitário



Fonte: O Autor (2019).

\*Dados extraídos de Santos (2008b); Adaptado de White *et al.* (1995).

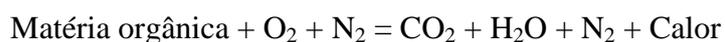
Com relação ao processo biológico de degradação dos resíduos sólidos urbanos nos aterros sanitários, são compreendidos como verdadeiros reatores biológicos heterogêneos, ocorrem a partir da presença de microrganismos heterótrofos, oxidando os substratos orgânicos para suas necessidades energéticas (ZANTA e FERREIRA, 2003).

O processo de degradação dos compostos orgânicos e inorgânicos dos resíduos são consumidos por microrganismos aeróbios e anaeróbios (DMITRIJEVAS, 2010). Esses microrganismos são capazes de converter os resíduos em substâncias mais estáveis, o diferencial entre os processos aeróbios e anaeróbios é resultante, respectivamente da presença ou não de oxigênio, no processo aeróbio os organismos se desenvolvem na presença do oxigênio, uma vez que, dependem do mesmo para obter energia, no processo anaeróbio os microrganismos se desenvolvem na ausência de oxigênio (BRITO, 2015).

#### 2.4.1 Processo de Decomposição Aeróbia

O primeiro processo é da decomposição aeróbia, ocorrendo normalmente no período de deposição do resíduo no aterro, fase de duração relativamente curta, durando poucas horas

ou dias (SANTOS, 2008b). Devido a redução de oxigênio e do nitrogênio nos espaços vazios presentes nos resíduos recém depositados, quando associados à umidade, acelera o processo da decomposição aeróbia, gerando dióxido de carbono, água, calor, biomassa e moléculas complexas para a fase seguinte. Nessa fase, ocorre cerca de 5 a 10% da matéria possível a ser degradada (DMITRIJEVAS, 2010; BRITO, 2015). Segundo Van Elk (2007) nessa fase a composição do gás será de 100% de CO<sub>2</sub>.



#### 2.4.2 Processo de Decomposição Anaeróbia

O segundo processo é da decomposição anaeróbia, a fase inicia-se após o consumo de todo o oxigênio livre presente na massa de resíduos, em decorrência da superposição de camadas de resíduos. A decomposição anaeróbica ocorre sem a presença de oxigênio, a velocidade da degradação é muito lenta, os subprodutos gerados são mais complexos como o gás metano e gás sulfídrico, podendo produzir gases por vários anos. Esta fase de degradação pode durar dias ou anos, ao longo desse período, as quantidades gasosas produzidas são diferenciadas, o que depende muito do tipo de material que é depositado e das fases de degradação anaeróbia que ocorre nos resíduos (VAN ELK, 2007; DMITRIJEVAS, 2010; BRITO, 2015).

O processo anaeróbio é dividido em quatro fases, são elas:

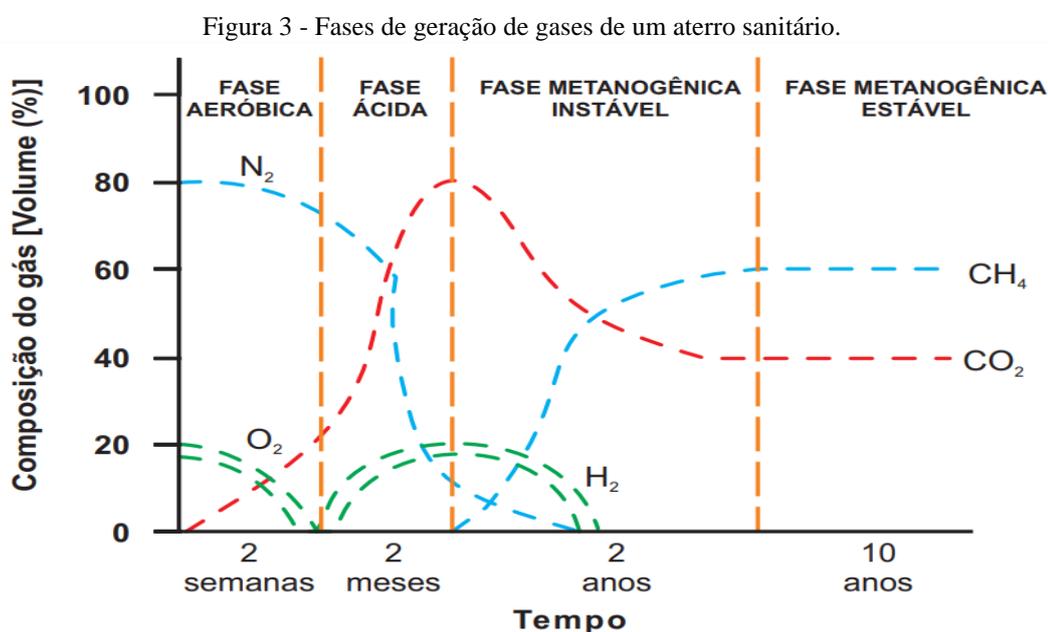
- a) **1ª Fase Hidrólise:** esta fase é caracterizada pela atuação das bactérias anaeróbias facultativas, a degradação da matéria orgânica inicia na presença de oxigênio, esses microrganismos são conhecidos como formadores de ácidos, atuam sobre os compostos orgânicos complexos do tipo carboidratos, proteínas e compostos de lipídios são hidrolisados por enzimas os convertendo em outros compostos mais simples e assimiláveis pelas bactérias, como aminoácidos, pequenos sacarídeos, ácidos graxos e álcoois (VAN ELK, 2007; SANTOS FILHO, 2013; GARZA; SKRZYPCZAK e DOMINGOS, 2014; BRITO, 2015; VICTORINO, 2017).
- b) **2ª Fase Acidogênese:** nesta segunda etapa, os produtos solúveis provenientes da fase de hidrólise são metabolizados, no interior das células das bactérias fermentativas, as

convertendo em substâncias orgânicas simples como os ácidos graxos voláteis (AGV). No processo de acidogênese a maioria das bactérias que atuam são estritamente anaeróbias, existindo também espécies facultativas. As bactérias transformam os ácidos orgânicos e o dióxido de carbono em produtos finais gasosos como o metano. Neste período a carga de matéria orgânica nos lixiviados diminui, significando uma menor biodegradabilidade dos mesmos (VAN ELK, 2007; SANTOS FILHO, 2013; GARZA; SKRZYPCZAK e DOMINGOS, 2014; BRITO, 2015; VICTORINO, 2017).

- c) **3ª Fase acetogênese:** é a fase mais longa, prolongando-se por décadas, onde os produtos da fase ácida, como por exemplo, os ácidos graxos voláteis e outros compostos orgânicos, são transformados pelas bactérias acetogênicas em hidrogênio gasoso, dióxido de carbono e ácido acético, essas bactérias sobrevivem em relação de simbiose com as bactérias metanogênicas, ou seja, uma relação de beneficiamento de ambas. Nesta etapa a carga orgânica dos lixiviados decresce e as concentrações em nutrientes se tornam limitantes (VAN ELK, 2007; SANTOS FILHO, 2013; GARZA; SKRZYPCZAK e DOMINGOS, 2014; BRITO, 2015; VICTORINO, 2017).
- d) **4ª Fase Metanogênese:** esta é a etapa decisiva do ponto de vista energético da digestão anaeróbica, o metano é produzido por um grupo de procariontes, as metanobactérias, convertendo o hidrogênio gasoso, dióxido de carbono e ácido acético especialmente em metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). A composição básica da produção do metano pelas bactérias metanogênicas acetoclásticas correspondem por cerca de 70% do metano produzido, fato este que se deve à redução do ácido acético, os 30% restantes correspondem às bactérias hidrogenotróficas, capazes de produzir metano a partir de hidrogênio e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). A produção de gás ocorre por vários anos, quando a porcentagem do metano na composição do final do biogás começa a diminuir chegando a índices desprezíveis, onde praticamente todo o material degradável nas condições do aterro tenha se esgotado. Nota-se a ocorrência de um material orgânico resistente, ainda biodegradável, com a volta do oxigênio essa matéria é convertida em moléculas como ácidos húmicos (VAN ELK, 2007; SANTOS FILHO, 2013; GARZA; SKRZYPCZAK e DOMINGOS, 2014; BRITO, 2015; VICTORINO, 2017).

De acordo com Van Elk (2007) as diferentes fases de decomposição da matéria orgânica presente na massa de resíduos não estão claramente definidas no tempo e podem ocorrer simultaneamente em diferentes partes do mesmo aterro, como resultado da decomposição heterogênea dos resíduos no interior do aterro. O que segundo Santos Filho (2013) torna-se cada vez mais difícil prever as características dos lixiviados originados.

Brito (2015) aborda que a decomposição anaeróbica da matéria orgânica dos resíduos requer a presença de água, isso prediz que as condições hidrológicas em que o aterro encontra-se inserido pode afetar na velocidade e na taxa de produção de biogás. Mesmo assim, conforme aborda Van Elk (2007) a duração de cada fase de geração do biogás varia de acordo com a distribuição dos componentes orgânicos presentes no aterro, a disponibilidade de nutrientes, a umidade dos resíduos, a entrada de água no aterro e o grau de compactação inicial. A Figura 3 apresenta a geração dos gases de aterro sanitário ao longo das principais fases de decomposição anaeróbica da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários, em função do tempo de disposição final dos resíduos e, da composição dos gases gerados.



Fonte: Cassini; Coelho; Pecora (2014).

Nas palavras de Firmo (2013), as fases de degradação que ocorre em um aterro, assim como a velocidade de decomposição e a decorrente geração de biogás dependem de diversos fatores, entre eles particularmente a composição do resíduo, do teor de umidade dos resíduos, idade do resíduo, pH, temperatura, tamanho das partículas, densidade dos resíduos, flora microbiana, além das condições ambientais.

Os sistemas de digestão anaeróbia dos aterros passam inicialmente por uma fase aeróbia, de duração relativamente curta, devido a presença do oxigênio. Em seguida, a conversão e estabilização dos resíduos continua sequencialmente, passando pelas quatro fases mencionadas anteriormente, de tal forma que as alterações que se verificam ao longo do tempo são refletidas na qualidade do gás produzido e do líquido lixiviante. A completa decomposição dos resíduos pode durar vários anos, incluindo os mais naturalmente biodegradáveis, de acordo com às condições que prevalecem no aterro, motivos estes que podem prolongar por alguns anos mesmo após o encerramento das atividades operacionais do aterro a produção do biogás e do lixiviado (SANTOS, 2008b).

## 2.5 ENCERRAMENTO DE ATERROS SANITÁRIOS

Os aterros sanitários constituem a destinação mais comum dos RSUs no Brasil, entretanto, os aterros sanitários têm um ciclo de vida útil limitada. Atualmente, o tempo médio de uso de um aterro é idealizado na concepção do projeto, geralmente a vida útil em torno de 20 a 25 anos, o período de monitoramento após o seu encerramento e definido pelo órgão ambiental de controle, este tempo determinado é um prazo importante para as ações de remediação da área e deve ser, portanto, respeitada pelo tratador (CHERNICHARO, *et al.* 2008).

O Brasil não dispõe de uma legislação ou normas específica que oriente sobre o processo de encerramento dos aterros sanitários. A Lei nº 12.305/2010 que trata da Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, apenas aborda a necessidade de existência do plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos, que o licenciamento ambiental de aterros e outras infraestruturas operacionais relacionadas devam ser de órgão competente do Sisnama.

A resolução Conama nº 404/2008 estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte, aqueles com disposição diária de 20 t (vinte toneladas), no parágrafo XVI e XVII do art. 4º da resolução, aborda que deve ser apresentada o projeto de encerramento, recuperação, e monitoramento da área degradada e o uso futuro previsto para a área.

De acordo com a NBR 8419 (ABNT, 1992), aborda que chegado o fim da operação do aterro sanitário, deve ser apresentado um plano de encerramento, indicando como e quando o aterro será encerrado de suas atividades, assim como os cuidados de monitoramento que serão mantidos após o encerramento das atividades operacionais.

Segundo Oliveira (2005) o plano de encerramento é essencial para otimizar a proteção ambiental e revegetação da área, este plano é conhecido como plano de monitoramento. É importante salientar que os órgãos ambientais não exigem a apresentação do projeto detalhado para uso futuro da área, apenas são previstos no plano de encerramento, à execução da cobertura vegetal de gramínea como revegetação, afim de evitar erosões, além de minimizar a infiltração d'água das chuvas. Entretanto, são indicado apenas como sugestões para o uso futuro destas áreas como espaços de lazer ou áreas verdes para a população.

Segundo o órgão regulador do estado de São Paulo CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), propõem algumas diretrizes e normativas para o encerramento e monitoramento de lixões e aterros sanitários. O monitoramento consiste em uma rotina de inspeções visuais no aterro, de forma a identificar eventuais problemas e evitar o seu agravamento. Devem ser observados os seguintes itens na área (CETESB, 2010):

- a) Condições das vias de acesso;
- b) Processos erosivos;
- c) Rebaixamento da camada superior do aterro (recalques);
- d) Existência e adequação da cobertura operacional;
- e) Condição operacional da frente de trabalho;
- f) Existência e adequação da cobertura vegetal;
- g) Condição do aceiro;
- h) Condição operacional dos sistemas de drenagem;
- i) Carreamento de resíduos pelo vento;
- j) Percepção de odores;
- k) Presença de vetores.

O plano de encerramento das atividades operacionais do aterro possui o intuito de minimizar os possíveis impactos remanescentes e a manutenção da área (CHERNICHARO, *et al.* 2008). Segundo as recomendações da NBR 13896 (ABNT, 1997), descreve alguns procedimentos a serem realizados por ocasião do encerramento das atividades operacionais, as medidas devem ser tomadas a fim de garantir a minimização da necessidade de manutenção futura que deve ser observada após o fechamento; minorar ou evitar a liberação de líquidos lixiviados e/ou gases para o lençol de águas subterrâneas, para os corpos d'água superficiais ou para a atmosfera, bem como deve-se observar a vegetação da área, uma vez que, pode ocorrer a probabilidade de incêndios na vegetação nos períodos de estiagem.

## 2.6 MONITORAMENTO AMBIENTAL DE ATERROS SANITÁRIOS ENCERRADOS

Os aterros sanitários são empreendimentos potencialmente impactantes do meio ambiente, a realização do monitoramento permite verificar e identificar em tempo hábil, soluções mitigadoras para estes impactos. O monitoramento ambiental do pós-encerramento de um aterro sanitário envolve ações voltadas para o meio físico e antrópico (ALVES, 2010; NISYAMA, 2016).

De acordo com Oliveira (2005) o sistema de monitoramento é muito importante durante a operação do aterro e também após o seu encerramento. O monitoramento realizado na área do aterro deve incluir o monitoramento da qualidade da água do lençol freático e dos corpos hídricos da área de influência, análises físico-químicas do lixiviado gerado, acompanhamento dos possíveis recalques e movimento de massa de resíduos, inspeção dos sistemas de drenagem pluvial, acompanhamento da geração de gases. Ainda de acordo com o autor os dados gerados pelo monitoramento deve alimentar o sistema de gestão do aterro, direcionando as medidas corretivas e preventivas necessárias.

A NBR 13896 (ABNT, 1997), recomenda a construção de aterros com vida útil mínima de 10 anos de operação. A norma ainda aborda que no eventual encerramento operacional do aterro sanitário, algumas medidas de minimizar a necessidade de manutenção futura devem ser tomadas. O período em que se prolonga o monitoramento realizado após o seu encerramento, geralmente é determinado pelo órgão ambiental competente local, que segundo alguns autores mencionados anteriormente, o período de monitoramento da área é realizado entre 10 – 15 anos após o seu fechamento.

De acordo com que explana Boscov (2008) o monitoramento dos aterros de resíduos geralmente consiste na inspeção visual da área, com o propósito de caracterizar a situação atual da área. Constitui como o início dos trabalhos de recuperação e reparação ambiental da área utilizada. Como mencionado anteriormente, há dois tipos de monitoramento o ambiental e o geotécnico. O monitoramento geotécnico realizado nos aterros consiste basicamente em investigar indícios de erosões, trincas ou cavidade, da topografia e estabilidade, das medições de recalque (deformações verticais) e deslocamento horizontais, das pressões de percolado e gases, uma vez que os RSU são materiais extremamente deformáveis.

Segundo Chernicharo, *et al.* (2008) o monitoramento ambiental possui o objetivo de verificar se as obras de drenagem e impermeabilização cumprem com a função de isolar o entorno do aterro dos resíduos e efluentes com potencial poluidor. É primordial o monitoramento pluviométrico da área, devido à água ser considerado um veículo excelente de

dispersão dos poluentes, à vista disso, excluir a possibilidade do contato das águas de superfície do lençol freático com os resíduos sólidos, lixiviados e biogás é a função das obras de engenharia que consiste basicamente no sistema de drenagem e impermeabilização do fundo.

O monitoramento ambiental abrange o entorno da área no lugar em que se encontra inserida o aterro, são medidas necessárias que visa estabelecer as condições ambientais da área. O monitoramento ambiental é compreendido como o controle da qualidade das águas subterrâneas e superficiais, do lixiviado, dos gases, do solo e do ar das condições meteorológicas, e ecológicas com a recuperação da paisagem e vegetação da área (BOSCOV, 2008).

O monitoramento realizado nos aterros sanitários consiste em um processo de coleta de dados, estudo e acompanhamento contínuo e metódico das variáveis ambientais, com o intuito de identificar e avaliar, qualitativa e quantitativamente, as condições dos recursos naturais em um determinado momento, assim como o comportamento ao longo do tempo. Com base nos levantamentos realizados, o monitoramento ambiental fundamenta-se em informações sobre os fatores que influenciam o estado de conservação, preservação, degradação, e recuperação ambiental da área estudada (LIMA, 2015).

### **2.6.1 Monitoramento dos gases**

De acordo com Teixeira (2015) o sistema de drenagem de gases de um aterro sanitário é composto por diversos drenos verticais e camadas horizontais que estão interligados, desde camada base até a superfície do aterro. Segundo Boscov (2008) os drenos verticais são construídos com tubos de concreto verticais perfurados e rodeados por materiais granulares. As camadas horizontais são compostas geralmente de areia (cerca de 15 a 30 cm), geotêxteis espessos, geomalhas e geocompostos para drenagem.

De acordo com Andrades (2018) os aterros sanitários sofrem significativas reduções durante sua vida útil, ocasionada pela alta compressibilidade dos RSU. Ainda segundo a autora os recalques são atribuídos a diferentes fenômenos entre os quais está os recalques determinados pela migração de partículas pequenas para os de maiores vazios, parcela esta devida ao adensamento semelhante ao processo que ocorrem nos solos, onde a dissipação de pressões neutras de líquidos e gases ocorre através da expulsão dos mesmos do interior do maciço do aterro sanitário, demandando certo tempo, que de certa forma está relacionado diretamente com o tempo de biodegradação dos resíduos orgânicos, além disso, ocorre

também o fenômeno chamado de “*Creep*”, que são deformações lentas sob carga constante em razão dos fenômenos viscosos.

As Figuras 4(a) e 4(b) ilustram as obras de instalações das tubulações de captação de gases e líquidos de um aterro sanitário.

Figura 4 - Em (a) drenos horizontais de gases e líquidos de coluna de brita e em (b) drenos verticais de coluna de brita, recobertos com geotêxtil.



Fonte: O autor (2019)

\*Imagens de AgSolve (2014); Diprotec Geo (2018)

A biodegradação dos resíduos é ocasionada por microrganismos, transformando a massa da fase sólida para a fase líquida e gasosa (TEIXEIRA, 2015). De acordo com Brito Filho (2005) os processos microbiológicos dominam o processo de geração de gás devido à natureza orgânica da maioria dos resíduos. Segundo Oliveira (2013) a degradação anaeróbia da matéria orgânica dos resíduos sólidos é uma das principais fontes de geração de vários tipos de gases responsáveis pelo aquecimento global, o metano ( $\text{CH}_4$ ), gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ), conhecidos como gases de efeito estufa (GEE).

De acordo com Lima (2015) a geração de gases e lixiviado determinam a necessidade de monitoramento periódico do aterro sanitário. O monitoramento dos gases tem o objetivo de identificar riscos de explosões e migração dos gases no interior da célula de resíduos, o que pode ocasionar problemas de instabilidade (ALVES, 2010).

Além disso, o acompanhamento da geração de gases, permitindo que sua emissão para atmosfera se enquadre nas especificações legais existentes. Segundo Brito Filho (2005) é recomendado que se queime o gás que é emitido para atmosfera, uma vez que o mesmo não provoque alterações significativas na qualidade do ar ou oferecendo risco à população local. Desta forma é essencial monitorar as emissões particuladas, além de detectar problemas no sistema de drenagem de gases e lixiviado e, da estabilidade do maciço de resíduos,

proporcionando desta forma, o estabelecimento de medidas corretivas (FIRMO, 2013; ANDRADES, 2018).

Maciel (2009) afirmou que a composição características dos gases varia ao longo do tempo em função da fase de decomposição dos RSU. Diversos gases se fazem presentes em grandes concentrações e outros em quantidades traços, são encontrados presentes na composição do biogás. Ainda de acordo com o autor os principais constituintes das concentrações volumétricas, são aqueles que juntos representam quase a totalidade (99%) dos gases encontrados nos aterros, como o metano ( $\text{CH}_4$ ) e o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

Segundo Maciel (2009) outros gases presentes como hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), oxigênio ( $\text{O}_2$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), podem existir em quantidades significativas, o que depende da fase de degradação em que se encontra o resíduo e da susceptibilidade do aterro as condições atmosféricas, que se enquadram também nesta classificação, apresentados na Tabela 1. Para o referido autor, as principais variáveis que influenciam nas características dos principais componentes encontrados no biogás.

Tabela 1 - Características das principais composições presente no biogás gerado em aterro de resíduos sólidos urbanos

Gás	Composição típica	Massa específica ( $\text{kg}/\text{cm}^3$ )	Poder calorífico ( $\text{kJ}/\text{m}^3$ )	Limite de explosividade	Solubilidade em água ( $\text{g}/\text{l}$ )	Propriedades gerais
$\text{H}_4$	45 - 60%	0,717	35600	5 - 15%	0,0645	inodoro, incolor, não tóxico, inflamável
$\text{CO}_2$	35 - 50%	1,977	-	-	1,688	inodoro, incolor, asfixiante
$\text{N}_2$	0 - 10%	1,25	-	-	0,019	inodoro e incolor
$\text{O}_2$	0 - 4%	1,429	-	-	0,043	inodoro e incolor
$\text{CO}$	<0,1%	1,25	12640	12,5 - 74%	0,028	inodoro, incolor, tóxico, inflamável
$\text{H}_2$	<0,1%	0,09	10760	4 - 74%	0,001	inodoro, incolor, não tóxico, inflamável
$\text{H}_2\text{S}$	<0,07%	1,539	N.I	4,3 - 45,5%	3,846	incolor, muito tóxico

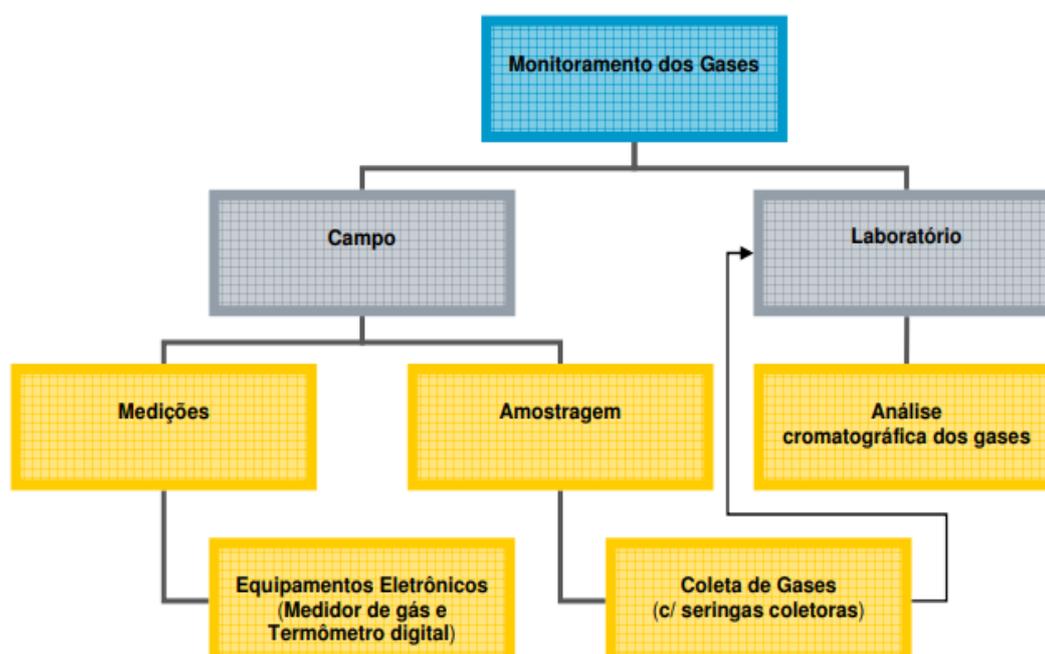
Fonte: Maciel (2009).

O monitoramento das emissões de gases de aterros sanitários ocorre periodicamente quando o mesmo encontra-se em operação, o monitoramento realizado pós-encerramento é necessário uma vez que os dados e informações obtidas tem o objetivo de avaliar a eficiência do processo de inertização da matéria orgânica que ocorre no interior do maciço, servindo como instrumento para identificar e detectar eventuais falhas ou interferências. De acordo com Catapreta e Simões (2016) em aterros encerrados o monitoramento é utilizado para determinar as fases de degradação e o grau de estabilização dos resíduos, interferindo diretamente com o tempo de duração do monitoramento ambiental realizado após o encerramento das atividades do aterro.

Almeida (2016) ressalta a importância do monitoramento pluviométrico e a sua influência na geração do lixiviado e do biogás de aterro. O acompanhamento pluviométrico é pertinente uma vez que afeta diretamente a produção do biogás, considerando que a infiltração da água pode carregar oxigênio dissolvido para o interior do aterro, como também ocasionar a ocupação dos poros presentes na camada de cobertura causando a saturação, devido a altas taxas de precipitação.

Brito Filho (2005) em seu estudo elaborou um diagrama de como funciona o processo de monitoramento dos gases, onde se divide em duas etapas: a primeira etapa os estudos realizados em campo, e a segunda etapa os estudos realizados em laboratório. A seguir a Figura 5 apresenta o diagrama elaborado pelo referido autor.

Figura 5 - Diagrama de monitoramento dos gases



Fonte: Brito Filho (2005).

O monitoramento do biogás é realizado no campo e, se dá por meio de leituras com equipamentos utilizados especificamente para medição de gases, onde são capazes de verificar a presença, a composição e, em que quantidade de gases combustíveis ou tóxicos está presente no ambiente. Conforme estabelece as diretrizes do órgão ambiental competente, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente – MMA, independente do uso final do biogás, o sistema de drenagem de gases (drenos e flares) equipamentos destinados à queima controlada, para garantir a maior eficiência da queima do metano, transformando-o em dióxido de carbono e vapor d'água. Desta maneira, a simples queima do gás metano caracteriza-se como um procedimento ambientalmente adequado.

Existem atualmente diversos equipamentos analíticos modernos, capazes de identificar a composição do biogás, além de determinar as diferentes concentrações gasosas presentes no ambiente (AIRES, 2013). Segundo Catapreta e Simões (2016) o monitoramento qualitativo e quantitativo do biogás é realizado com o intuito de estabelecer a quantidade gerada e a sua composição. O monitoramento é realizado diretamente nos drenos, com a realização de amostragens em outros pontos do aterro, a fim de verificar a possível migração dos gases pela camada de impermeabilização dos taludes e da cobertura final do aterro.

A Tabela 2 agrupa alguns equipamentos utilizados para monitoramento das pressões e concentrações de emissões de gases nos drenos dos aterros sanitários. Por Oliveira (2013).

Tabela 2 - Alguns equipamentos utilizados para medições das concentrações de biogás em aterros sanitários

Parâmetro	Equipamento	Faixa de medição	Faixa de erro
CH <sub>4</sub>	Analisador de gases Drager, modelo X-am 7000	0 a 100%	±5%
CO <sub>2</sub>		0 a 100%	±2%
O <sub>2</sub>		0 a 25%	± 5%
H <sub>2</sub> S		0 a 500 ppm	±1 ppm
Pressão do biogás	Manômetro digital portátil Dwyer, Modelo 477-2	0 a 10 kPa	± 0,5%
Pressão atmosférica	Barômetro digital portátil Lufft, Modelo C300	750 a 1100 hPa	±0,5 hPa
Temperatura do biogás T <sub>interna</sub> T <sub>externa</sub>	Termômetro digital Minipa, modelo MT-525	-100°C a 1300°C	± 0,7°C

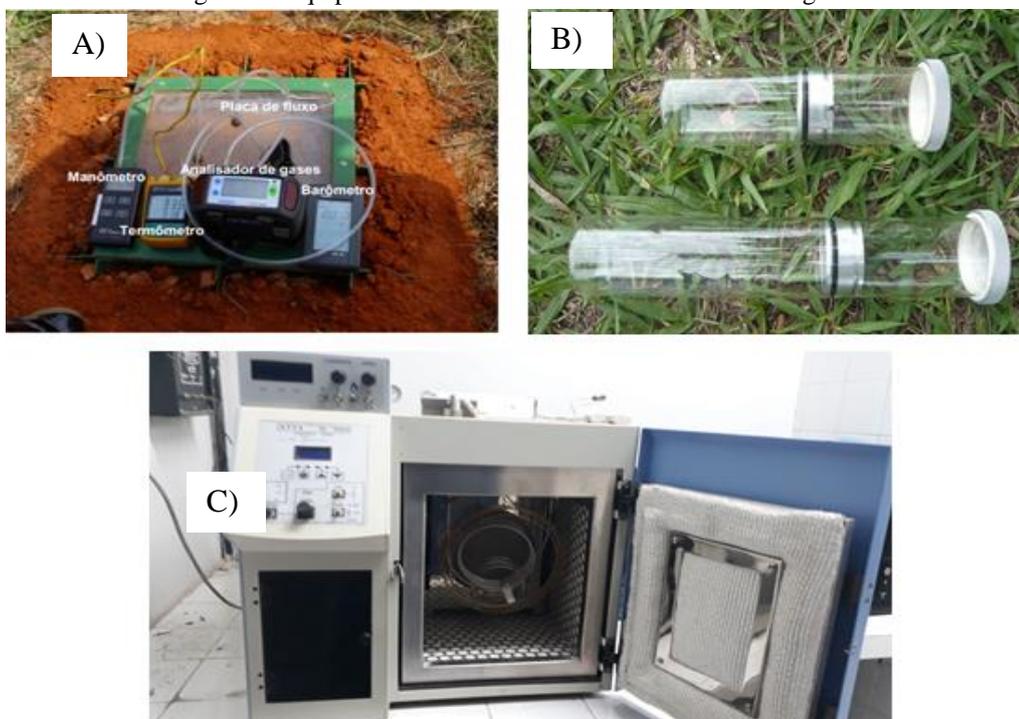
Fonte: Oliveira (2013).

É importante enfatizar que diversas técnicas são utilizadas para monitorar o biogás dos aterros sanitários de RSU. Conforme Aires (2013) as concentrações de biogás podem ser medidas com equipamentos *in situ* e/ou por meio de amostras coletadas para análises laboratoriais. Para o monitoramento seja eficiente e o mais confiável possível, se faz necessário o conhecimento prévio das características operacionais dos sensores e do ambiente a ser monitorado.

As amostras de biogás são obtidas por meio da instalação de placas de fluxo, onde na parte superior deste equipamento existe um dispositivo de silicone, em que se insere uma agulha hipodérmica para retirar uma fração do biogás. O gás coletado é armazenado em uma ampola gasométrica de vidro, onde as amostras são transportadas e analisadas em laboratório por meio de análises de cromatografia gasosa (SILVA; DE FREITAS e CANDIANI, 2013).

A Figura 6 mostra o procedimento da instalação da placa de fluxo e a coleta das análises de emissão do biogás pela camada de cobertura na superfície dos aterros sanitários, como também, o armazenamento das amostras na ampola gasométrica, e o equipamento cromatógrafo utilizado para análises gasosas.

Figura 6 - Equipamentos utilizados no monitoramento dos gases.



Fonte: O autor (2019)

\*(a) Oliveira (2013); (b) Construmaq São Carlos (2011) e (c) O autor (2019).

Segundo o que explana Almeida (2016) o monitoramento realizado nas camadas de coberturas consiste em um fator fundamental no qual serve para avaliar a interferência

decorrente das variações climáticas locais, na eficiência no que se refere em termos de infiltração de líquidos e emissão de gases. Ainda de acordo com o autor, o desempenho das camadas de cobertura pode variar ao longo do tempo, em função das características do solo, como estrutura, índices de vazios, grau e umidade de compactação, além das variações climáticas como precipitação pluviométrica e pressão atmosférica.

Os dados obtidos por meio do monitoramento ambiental realizado nas emissões do biogás de aterro contribuem para o conhecimento necessário dos processos de biodegradação dos resíduos aterrados que ocorrem ao longo do tempo no interior do maciço, através do monitoramento será possível propor mudanças para melhorar a eficiência dos processos de degradação dos RSU dos aterros sanitário, além disso, é possível conhecer também as quantidades de GEE e ter soluções para este preocupante problema climático (TARAZONA, 2010; ARAÚJO, 2015).

### **2.6.2 Monitoramento dos líquidos lixiviados**

O lixiviado é um efluente líquido altamente recalcitrante composto do resultado da decomposição dos resíduos e água da chuva que infiltra nas camadas do aterro ou participa do processo de decomposição, por meio da umidade natural desses resíduos (BASSANI, 2010). De acordo com o que explana Amaral *et al* (2008), a geração de lixiviados constitui a principal preocupação quanto à degradação ambiental das áreas localizadas próximas ao local de disposição final dos RSU.

Os efluentes lixiviantes dos aterros sanitários são gerados pela decomposição completa dos resíduos, possui coloração escura, mau cheiro e a elevada DBO<sub>5</sub>, podendo durar por vários anos, incluindo os resíduos mais facilmente biodegradáveis. O lixiviado é a principal fonte de poluição em aterros sanitários (SÁ *et al.*, 2012).

Devido o elevado potencial de poluição em função da sua composição, o lixiviado deve ser monitorado e controlado frequentemente. O monitoramento do efluente lixiviante consiste geralmente na avaliação quali-quantitativa realizada na medição da vazão e análises físico-químicas. O controle dos parâmetros dos líquidos analisados é um instrumento essencial, uma vez que visa à avaliação da eficiência do sistema tratamento adotado (BORGES, 2015).

Diversos fatores influenciam a composição dos lixiviados, como as características dos resíduos, do aterro, dos processos internos e das condições ambientais, entre os principais fatores: umidade natural da massa de resíduos sólidos; água constituinte dos diferentes

materiais que sobram durante o processo de decomposição; dos líquidos provenientes da degradação dos resíduos orgânicos (chorume) pelas enzimas expelidas pelas bactérias; da precipitação condição ambiental de maior influência na produção efetiva tanto em quantidade quanto na qualidade do lixiviado em aterros sanitários, devido ao seu potencial de diluição do lixiviado, sendo obtidas altas gerações em períodos chuvosos e baixas em períodos mais secos (SANTOS 2012; SANTOS FILHO, 2013).

A Tabela 3 apresenta os principais fatores que influenciam a composição dos lixiviado de aterros.

Tabela 3 - Principais fatores que influenciam a composição do lixiviado dos aterros.

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

Fonte: Morais (2005).

Segundo Magalhães (2014) os lixiviados dos aterros sanitários brasileiros possuem altas concentrações de compostos inorgânicos de nitrogênio, tais como, amônia ( $\text{NH}_3$ ), nitrito e nitrato, sendo a amônia ( $\text{NH}_3$ ) como a principal causa da toxicidade do lixiviado. De acordo com Paixão Filho (2017) o lixiviado pode ser classificado como toxidade aguda alta, devido à presença da alta concentração de amônia. O lançamento de efluentes com essas características pode provocar a poluição das águas, provocando endemias ou intoxicações, se houver a presença de organismos patogênicos e substâncias tóxicas em níveis acima do permissível, ocasionando a morte de peixes e demais organismos (MOURA, 2008).

O lixiviado é produzido indeterminadamente, tanto em aterros jovens como nos aterros antigos, o lixiviado geralmente apresenta em sua composição, ácidos graxos voláteis, metais pesados e poluentes orgânicos tóxicos persistentes. Uma das principais características é a

elevada carga orgânica, o que resulta em uma alta demanda de oxigênio necessária para sua estabilização, além disso, abriga algumas bactérias, sais de íons inorgânicos comuns, e micropoluentes como o tolueno e diclorometano (BASSANI, 2010). A Tabela 4 apresenta as principais frações cuja lixiviação é composta.

Tabela 4 - Cinco principais frações que compõem o lixiviado.

Principais Frações	Componentes
Matéria orgânica dissolvida	Expressa como Demanda Química de Oxigênio (DQO) ou Carbono Orgânico Total (COT), inclui metano (CH <sub>4</sub> ), ácidos graxos voláteis, principalmente na fase ácida, e muitos compostos recalcitrantes, como por exemplo, compostos húmicos e fúlvicos.
Macro-componentes inorgânicos	Metais como cálcio (Ca), Sódio (Na), magnésio (Mg), potássio (K), ferro (Fe) e vários íons como: amônio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), cloretos (Cl <sup>-</sup> ), sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ), sulfetos (S <sup>-2</sup> ), carbonatos (CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup> ). Presença de metais pesados: cádmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), chumbo (Pb), níquel (Ni) e Zinco (Zn).
Compostos orgânicos xenobióticos	Incluem uma variedade de hidrocarbonetos halogenados, compostos fenólicos, álcoois, aldeídos, cetonas e ácidos carboxílicos, além de outras substâncias tóxicas.
Compostos encontrados em menor proporção	Metais como bário (Ba), cobalto (Co), lítio (Li) e mercúrio (Hg) e semi-metais: boro (B) e arsênio (As) e não metal selênio (Se).
Bactérias	Acetogênicas, metanogênicas, desnitrificantes e coliformes.

Fonte: Bassani (2010).

Dentre os diversos fatores já mencionados sobre a versatilidade da composição lixiviado do aterro, resultantes dos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no interior do maciço, podem-se ressaltar também o estado de degradação ou idade do aterro sanitário. Uma vez que, lixiviados coletados nos aterros mais jovens apresentam valores

baixos de pH e concentração de matéria orgânica expressa em DBO<sub>5</sub> alta, enquanto na fase final, os lixiviados são caracterizados por valores altos de pH e DBO<sub>5</sub> menor (CAMPOS, 2014).

De acordo com que descreve Silva (2008) a DBO e DQO são dois parâmetros fundamentais para controlar o descarte do lixiviado tratado nos corpos hídricos receptores. Em razão da biodegradabilidade da matéria orgânica presente no lixiviado ser normalmente determinada pela relação DBO<sub>5</sub>/DQO. Esta relação pode sugerir o estágio de degradação em que se encontra o resíduo sólido e, por conseguinte, indicar a maturidade do aterro e do lixiviado o qual decresce com o tempo.

A relação DBO<sub>5</sub>/DQO, cuja lixiviado encontra-se na faixa de 0,4 a 0,6 pode ser considerado novo devido a grande quantidade de matéria orgânica de fácil de gradação e oriundo das primeiras fases de decomposição do resíduo, caracterizando desta maneira, lixiviados de aterros jovens. Para os aterros mais antigos, onde o lixiviado encontra-se mais estabilizado, esta relação situa-se normalmente na faixa entre 0,05 a 0,2. Este valor menos da relação de DBO<sub>5</sub>/DQO indica baixa biodegradabilidade, ocorre devido o lixiviado de aterros mais velhos conterem a presença de mais ácidos húmicos e fúlvicos, constituintes considerados recalcitrantes, ou seja, que são de difícil degradação (SILVA, 2008; PAIXÃO FILHO, 2017).

A Tabela 5 a seguir apresenta a classificação do lixiviado jovem, intermediário e estabilizado, a relação DBO<sub>5</sub>/DQO, extremamente importante para o controle do lixiviado, expõe que o lixiviado instável do aterro novo, apresenta concentrações acima > 0,5, o aterro na fase intermediária 0,1 – 0,5, para o lixiviado de aterros velhos apresentam valores < 0,1.

Tabela 5 - Caracterização de diferentes tipos de lixiviados de aterro

Type of leachate	Young	Intermediate	Stabilized
Age of landfill (years)	<1	1 - 5	>5
pH	<6.5	6.5 - 7.5	>7.5
BOD/COD	0.5 - 1.0	0.1 - 0.5	<0.1
COD (g/L)	>15	3 - 15	<3
NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	<400	NA	>400
TOC/COD	<0.3	0.3 - 0.5	>0.5
Kjehdal nitrogen (g/L)	0.1-2	NA	NA
Heavy metals (mg/L)	>2	<2	<2

Fonte: Kurniawan, Lo; Chan (2006).

Segundo o que descreve Magalhães (2014) a composição do lixiviado pode variar de um local para o outro, bem como no mesmo local, em diferentes épocas do ano. Sendo a degradação anaeróbia o principal processo de decomposição dos resíduos de um aterro sanitário, a degradação anaeróbia consiste em um processo bioquímico complexo, sendo composto por diversas reações sequenciais, cada qual com sua população bacteriana específica. Esta variabilidade da composição do lixiviado em diferentes aterros, bem como no próprio aterro, impossibilita a existência de uma tecnologia específica de tratamento que atenda todas as situações. A Tabela 6 a seguir expõe uma comparação dos lixiviados gerados em aterros sanitários jovens e velhos.

Tabela 6 - Valores pertinentes para lixiviados novos, intermediários e velhos

Constituinte	Aterro jovem (menos que 2 anos)		Aterro velho (mais de 10 Anos)
	Valor médio	Valor típico	
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	2000 - 30000	10000	100 - 200
DQO (mg/L)	3000 - 60000	18000	100 - 500
Sólidos suspensos totais (mg/L)	200 - 2000	500	100 - 400
N-orgânico (mg/L)	10 - 800	200	80 - 120
N-amoniaco (mg/L)	10 - 800	200	20 - 40
Nitrato (mg/L)	5 - 40	25	5 - 10
P-total (mg/L)	5 - 100	30	5 - 10
Ortofosfato (mg/L)	4 - 80	20	4 - 8
Alcalinidade (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	1000 - 10000	3000	200 - 1000
pH	4,5 - 7,5	6	6,6 - 7,5
Cálcio (mg/L)	200 - 3000	1000	100 - 400
Magnésio (mg/L)	50 - 1500	250	50 - 200
Potássio (mg/L)	200 - 1000	300	50 - 400
Sódio (mg/L)	200 - 2500	500	100 - 200
Ferro total (mg/L)	50 - 1200	60	20 - 200

Fonte: Ferreira (2010).

A tabela manifesta a modificação da composição do lixiviado de um aterro jovem com um aterro mais antigo. Ferreira (2010) relata que nos aterros situados nos países tropicais, a

transição entre o lixiviado novo e o mais velho, pode decorrer dentro de um a dois anos após o início da operação do aterro, e não após os cinco anos como acontece no clima temperado, por exemplo. Isto ocorre devido à decomposição da matéria orgânica dos resíduos ser mais rápida em função das temperaturas mais elevadas e ocorrência de chuva.

Souto e Povinelli (2007) relatam que em algumas situações o uso de sistemas de drenagem utilizados com brita na forma de colchões drenantes funciona como filtros anaeróbios agregados no aterro, onde remove a carga orgânica biodegradável e colabora para que o lixiviado adquira características recalcitrantes. Ainda de acordo com os autores a incapacidade de degradar ou transformar as substâncias químicas presentes no composto, é o indício de sua recalcitrância ou persistência no meio ambiente. Boscov (2008) completa que a drenagem do percolado diminui as pressões neutras na massa de resíduos, melhorando sua estabilidade geotécnica, além de conduzir o líquido gerado para fora das células para receber os devidos tratamentos.

A Tabela 7 a seguir reúne uma comparação dos lixiviados realizada por Souto e Povinelli (2007), com o intuito de elaborar uma caracterização do lixiviado em aterros sanitários brasileiros.

Tabela 7 - Características prováveis do lixiviado de aterros brasileiros

Variável	Faixa máxima	'Faixa mais provável	FVMP*
pH	5,7 – 8,6	7,2 – 8,6	78%
Alcalinidade total (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	750 – 11	750 – 7 100	69%
Dureza (mg/L de CaCO <sub>3</sub> )	95 – 3 100	95 – 2 100	81%
Condutividade (µS/cm)	2 950 – 25 000	2 950 – 17 660	77%
DBO (mg/L)	< 20 – 30 000	< 20 – 8 600	75%
DQO (mg/L)	190 – 80 000	190 – 22 300	83%
Óleos e Graxas (mg/L)	10 – 480	10 – 170	63%
Fenóis (mg/L de C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)	0,9 – 9,9	0,9 – 4,0	58%
NTK (mg/L)	80 – 3 100	não há	-
N-amoniaco (mg/L)	0,4 – 3 000	0,4 – 1 800	72%
N-orgânico (mg/L)	5 – 1 200	400 – 1 200	80%
N-nitrito (mg/L)	0 – 50	0 – 15	69%
N-nitrato (mg/L)	0 – 11	0 – 3,5	69%
P-total (mg/L)	0,1 – 40	0,1 – 15	63%

Variável	Faixa máxima	'Faixa mais provável	FVMP*
Sulfeto (mg/L)	0 – 35	0 – 10	78%
Sulfato (mg/L)	0 – 5 400	0 – 1 800	77%
Cloreto (mg/L)	500 – 5 200	500 – 3 000	72%
Sólidos totais (mg/L)	3 200 – 21 900	3 200 – 14 400	79%
Sólidos totais voláteis (mg/L)	630 – 20 000	630 – 5 000	60%
Sólidos totais fixos (mg/L)	2 100 – 14 500	2 100 – 8 300	74%
Sólidos suspensos totais (mg/L)	5 – 2 800	5 – 700	68%
Sólidos suspensos voláteis (mg/L)	5 – 530	5 – 200	62%
Ferro (mg/L)	0,01 – 260	0,01 – 65	67%
Manganês (mg/L)	0,04 -2,6	0,04 – 2,0	79%
Cobre (mg/L)	0,005 – 0,6	0,05 – 0,15	61%
Níquel (mg/L)	0,03 – 1,1	0,03 – 0,5	71%
Cromo (mg/L)	0,003 – 0,8	0,003 – 0,5	89%
Cádmio (mg/L)	0 – 0,26	0 – 0,065	67%
Chumbo (mg/L)	0,01 – 2,8	0,01 – 0,5	64%
Zinco (mg/L)	0,01 – 8,0	0,01 – 1,5	70%

Fonte: Souto; Povinelli (2007).

FVMP\*: frequência de ocorrência dos valores mais prováveis.

Magalhães (2014) aborda que não existe uma tecnologia específica que consiga realizar o tratamento do lixiviado de forma isolada. Desta maneira, as soluções convencionais utilizadas são insuficientes para enquadrar o efluente em condições aceitáveis ao corpo receptor d'água, é necessária a adoção de sistemas combinados, cujas preocupações relevantes estejam associadas principalmente à eficiência e ao custo do tratamento utilizado.

O efluente lixiviante é complexo por diversos aspectos, a dificuldade do seu tratamento extremamente complexo, oneroso e geralmente envolve a combinação de diversas tecnologias e várias etapas de tratamento até que se alcance um efluente final na qualidade imposta pelas normas legais. Devido a isto, o tratamento vem recebendo uma atenção significativa nos últimos anos, tendo em vista principalmente à redução das altas concentrações de matéria orgânica e de nitrogênio amoniacal, visto que inúmeros fatores interferem na escolha da melhor forma de tratamento deste tipo de efluente (YABROUDI, 2012; MAGALHÃES, 2014; PAIXÃO FILHO, 2017).

Durante muito tempo o efluente lixiviante era tratado por processos biológicos convencional em sistemas de lodo ativado. De acordo com Telles (2010) estudos prévios com tratamento biológico se mostram efetivo quando o lixiviado é novo. Entretanto, o tratamento biológico particularmente pode ser ineficiente quando o lixiviado contém altas concentrações de amônia e nitrogênio amoniacal originário de aterros de meia-idade e velho.

Lixiviado de aterros de meia-idade e velho apresentam alta concentração de compostos recalcitrantes, conseqüentemente para o seu tratamento é necessário à combinação de diferentes processos físico-químicos e biológicos que potencializará e diminuirá a sua recalcitrância, onde irão compor uma estação de tratamento de efluentes, tais como: sistema de degradação aeróbio (lodos ativados, biodiscos, lagoas de estabilização) filtros biológicos e reatores anaeróbios, oxidação química, precipitação química, processos oxidativos avançados (POA), coagulação-floculação, dessorção de amônia, adsorção em carvão ativado e processos fundamentados no uso de membranas. São tecnologias essenciais aplicadas para alcançar uma ótima eficiência na remoção dos poluentes presentes no lixiviado (YABROUDI, 2012; PAREDES, 2012; MAGALHÃES, 2014; PAIXÃO FILHO, 2017).

Na Tabela 8 são apresentadas as comparações associadas sobre a eficácia dos tratamentos de lixiviados de aterro sanitário.

Tabela 8 - Eficácia dos tratamentos do lixiviado de aterros brasileiros.

TRATAMENTO FÍSICO e QUÍMICO	IDADE DO ATERRO			REMOÇÃO	COMENTÁRIO
	Recente	Intermediário	Antigo		
Coagulação/ floculação	Ruim	Regular	Regular	Metais pesados e Sólidos suspensos	Elevada produção de lodo
Precipitação química	Ruim	Regular	Ruim	Metais pesados e NH <sub>3</sub> - N	Elevada produção de lodo
Adsorção por Carvão ativado	Ruim	Regular	Bom	Compostos orgânicos	Custo elevado
Oxidação química	Ruim	Regular	Regular	Compostos orgânicos	Resíduo de O <sub>3</sub>

TRATAMENTO FÍSICO e QUÍMICO	IDADE DO ATERRO			REMOÇÃO	COMENTÁRIO
	Recente	Intermediário	Antigo		
Dessorção de amônia	Ruim	Regular	Regular	N - NH <sub>3</sub>	Requer outros equipamentos para controle da poluição atmosférica, visando à captação da amônia liberada.
Troca iônica	Bom	Bom	Bom	Compostos dissolvidos, cátions/ânions	Elevado custo, sendo utilizado como etapa de polimento no pós-tratamento biológico.

Fonte: Paredes (2012).

Elevadas cargas orgânicas ocasiona uma diminuição do oxigênio dissolvido no corpo hídrico receptor, o que compromete o equilíbrio do ecossistema local. Altas concentrações de nitrogênio amoniacal favorece o processo de eutrofização dos corpos d'água, consequentemente diminui a qualidade e inviabiliza a utilização do mesmo (YABROUDI, 2012).

A Resolução CONAMA nº 430/2011 dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Segundo Sá (2008) o lançamento de qualquer tipo de efluente no meio ambiente é regulamentado pelos órgãos ambientais e de saúde pública, em função de quaisquer que seja o destino do efluente, o mesmo deverá passar por algum tipo de tratamento para se adequar aos requisitos estabelecidos pela legislação vigente para a disposição final,

onde o efluente não poderá causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos dos corpos receptores a que se destina.

Magalhães (2014) complementa que as Resoluções estabelecidas pelo CONAMA órgão do âmbito federal ao qual fixa as normas gerais sobre os assuntos nela tratados, ficando a cargo dos órgãos ambientais de competência estadual e municipal a necessidade de complementá-las de acordo com suas necessidades e especificidades locais.

O monitoramento ambiental dos efluentes lixiviantes é extremamente importante, uma vez que o mesmo tem a função de examinar a qualidade do lixiviado bruto (efluente que sai do maciço de resíduo pelo sistema de drenagem e chega a Estação de Tratamento de Lixiviado), como também controlar a qualidade do lixiviado após o tratamento recebido (VAN ELK, 2007). Nisiyama (2016) relata que as amostras obtidas do monitoramento ambiental realizado, devem ser comparadas aos padrões de qualidade ambiental determinado pela legislação ambiental vigente, a fim de que se possa verificar a necessidade de realizar intervenções necessárias caso as amostras não se adequem aos padrões estabelecidos.

De acordo com Santos Filho (2013) o objetivo do programa de monitoramento é estabelecer as condições ambientais dos padrões de referência, detectando também os impactos ambientais adversos da deposição dos resíduos, demonstrando que as medidas estabelecidas no plano de controle ambiental estão sendo operadas como projetado. Em razão disto, o monitoramento ambiental realizado é seriamente importante, visto que, ele poderá implicar alterações nos padrões de qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos por efeito influência dos resíduos depositados no maciço.

O monitoramento das características do lixiviado é realizado através das amostras coletadas *in natura* na chegada do efluente ao sistema de tratamento, como também na saída do tratamento do efluente da ETL, onde as amostras coletadas são destinadas para análises laboratoriais. Moravia (2007) relata que o monitoramento da qualidade do efluente é realizado também em amostras do líquido bruto drenado do sistema de lagoas de estabilização, uma forma de averiguar se o sistema está sendo eficiente ou insuficiente para o tratamento de lixiviados. Nas palavras de Magalhães (2014) a realização do monitoramento do lixiviado do aterro sanitário após tratamento visa garantir sua disposição no meio ambiente, minimizando possíveis impactos.

Para Mendonça (2010) a importância da realização do monitoramento do lixiviado após o tratamento é fundamental, pois visa garantir níveis mais seguros para a disposição no ambiente, este acompanhamento é realizado por meio das amostras coletadas do efluente tratado, onde é realizada uma série de análises físico-química e biológica. A autora ainda

ressalta que nenhum dos parâmetros analisados, particularmente, se faz capaz de determinar se a amostra poderá ter efeitos tóxicos nos ecossistemas aquáticos. Entretanto, o monitoramento permite a eficiência real dos sistemas de proteção ambiental assegurando que sejam suficientes para manter as emissões sob o controle ao longo do tempo (EDUARDO, 2007).

### **2.6.3 Monitoramento das águas superficiais e subterrâneas**

O monitoramento ambiental realizado no aterro sanitário em operação ou encerrado é extremamente necessário, uma vez que, ele poderá implicar alterações anormal nos padrões de qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos sob influência da decomposição dos resíduos depositados no maciço (CAVALCANTE, 2014).

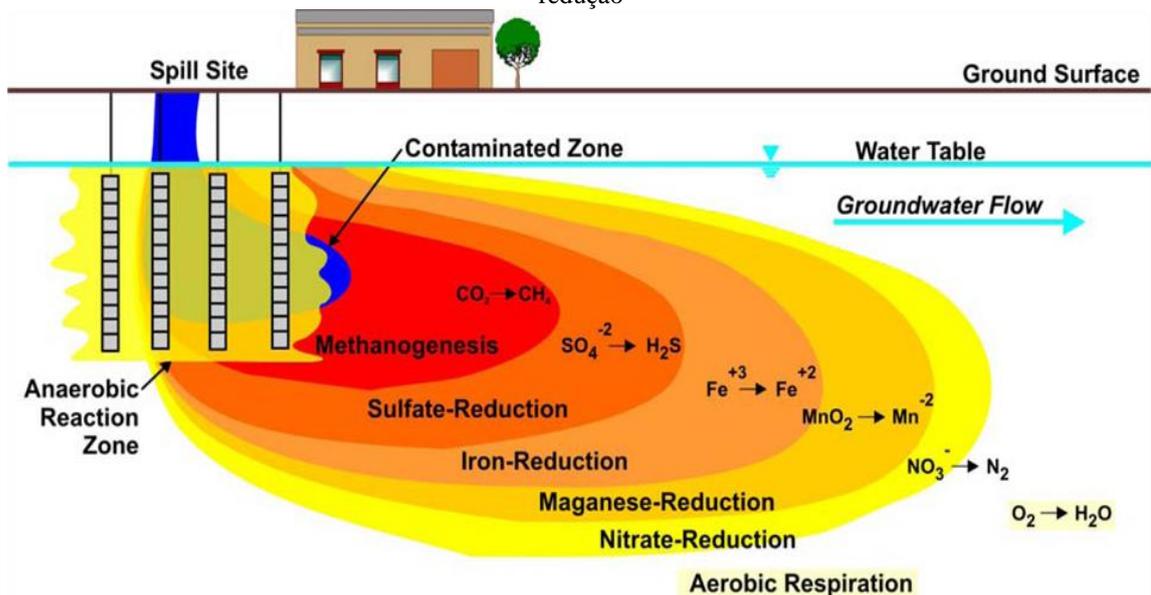
De acordo com Rocha (2005) essas alterações ocorrem na operação do aterro, uma vez que os aterros sanitários recebem diversos resíduos provenientes de várias atividades, como relatado anteriormente à decomposição dos resíduos geram subprodutos pelos processos físico-químicos e bioquímicos que ocorrem no interior do maciço de resíduos e que produzem os gases e efluentes. A preocupação sobre a potencialidade de contaminação dos lixiviados ocorre, uma vez que possíveis falhas na operação inadequada destes resíduos no aterro possam acarretar na ruptura da impermeabilização das células de disposição, no sistema de drenagem de líquidos e percolados, podem ocasionar vários problemas ambientais, incluindo ameaças de contaminação dos recursos hídricos locais, acarretando preocupantes consequências ao meio ambiente e a saúde pública (SANTOS, 2008a).

Cavalcante (2014) ressalta que os líquidos lixiviantes é o principal aspecto de controle ambiental que deve ser monitorado, a fim de identificar eventuais alterações nos padrões de qualidade das águas superficiais e subterrâneas dos corpos hídricos receptores localizados na circunvizinhança do aterro. Catapreta e Simões (2016) complementam que o monitoramento ambiental é definido como um conjunto de normas adotadas para avaliar os prováveis impactos e riscos ambientais.

Sá *et al.*, (2012) ressalta que os efluentes lixiviantes representam a principal fonte de poluição potencial em aterros sanitários, para as águas superficiais e principalmente, para as águas subterrâneas. Yabroudi (2012) enfatiza que este impacto pode ser bastante acentuado, principalmente em aterros controlados, em razão da camada base não ser impermeabilizado e que muitos deles apesar do recobrimento dos resíduos com terra periodicamente, nem sempre possuem sistema de drenagem do percolado, muito menos captação de gases.

Zelic (2017) destaca que assim como os aterros controlados os lixões também não possuem base impermeabilizada e sistemas de drenagem, constituindo um potencial poluidor das águas subterrâneas e superficiais, assim como contaminam o solo. A Figura 7 simboliza a pluma de contaminação de aterros no solo e em águas subterrâneas, que podem chegar algumas centenas de metros, envolve extensas análises biogeoquímicas da pluma para determinação da técnica de remediação adequada, causando custos extremamente elevados.

Figura 7 - Técnica de biorremediação anaeróbica in situ na pluma de contaminação e suas diferentes zonas de redução



Fonte: EPA (2015).

Segundo Catapreta e Simões (2016) o monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais e subterrâneas é realizado mediante dos resultados realizados das observações de campo, das análises físico-químicas e biológicas nas amostras de águas coletadas. Cavalcante (2014) completa que as amostras de águas superficiais e subterrâneas devem ser coletadas a montante e à jusante do aterro.

### 2.6.3.1 Águas Superficiais

Segundo Zanta e Ferreira (2003) o monitoramento de águas superficiais justifica-se quando há na área de influência direta do aterro em afloramento de águas do subsolo (nascentes, olhos d'água, vertentes, minas) ou manancial hídrico superficial (rios, córregos, represas, lagos). Ainda segundo as autoras, caso os efluentes do tratamento de lixiviados sejam lançados em coleções hídricas, à qualidade dessas deverá ser monitorada.

Bassani (2010) frisa que o lixiviado é uma água residuária com alta capacidade de poluição, podendo percolar no solo e atingir o lençol freático ou lixiviar e alcançar os recursos hídricos superficiais, em consequência da sua alta carga orgânica e inorgânica, coloração escura, odor desagradável, além disso, possui composição química e microbiológica complexa. O lançamento do lixiviado em condições impróprias pode causar efeitos danosos à água, conseqüentemente ao ecossistema aquático, bem como aos seres humanos que dela dependem. Em razão disto, para que se obtenha o devido controle deste efluente, se fazem necessários o tratamento e o monitoramento do mesmo de modo que se facilite sua assimilação ao ambiente.

De acordo com Cavalcante (2014) os requisitos ambientais são mais rigorosos em relação à qualidade das águas superficiais e subterrâneas, em virtude disto, o tratamento do lixiviado têm-se tornado um assunto de grande relevância ambiental. A autora ainda ressalta que é indispensável o planejamento das etapas e ações necessárias para o encerramento dos aterros sanitários, devendo ser realizadas atividades de monitoramento e controle, assegurando a qualidade ambiental em longo prazo e os cuidados posteriores após o encerramento das atividades.

Borges (2015) evidencia que o objetivo do monitoramento das águas superficiais é acompanhar as condições dos mananciais nas áreas de influência do aterro, onde servem de corpo receptor para o lançamento do efluente lixiviante tratado, com a finalidade de preservar os mesmos. Cavalcante (2014) ressalta que o monitoramento ambiental realizado nos aterros encerrados é executado de acordo com os resultados obtidos das observações feitas em campo, das análises dos instrumentos instalados, como também, das amostras dos lixiviados e das análises físico-químicas e microbiológicas das águas superficiais e subterrâneas, realizadas em laboratório em conformidade com a legislação ambiental vigente.

Segundo Chernicharo *et al* (2008), o monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais tem o intuito de verificar e avaliar possíveis alterações na qualidade das águas dos corpos hídricos da área de influência onde se encontra inserida o aterro sanitário. De acordo com Cavalcante (2014) o monitoramento das águas superficiais tem a finalidade de acompanhar as condições dos mananciais, o monitoramento é realizado em dois pontos, sendo um localizado a montante e o outro a jusante do curso d'água, da região do aterro.

Para o monitoramento e os parâmetros analisados da avaliação da qualidade das águas superficiais é usado a Resolução CONAMA nº 430/2011, que estabelece as condições, parâmetros padrões e diretrizes de lançamento de efluentes em corpos receptores, o que altera parcialmente e complementa a Resolução CONAMA nº 357/2005. Vale ressaltar que a

referida resolução determina os Valores Máximo Permitidos (VMP), enfatiza que os efluentes provenientes dos sistemas de disposição final, independente de sua origem devem atender às condições e padrões estabelecidas pela norma.

Havendo obrigatoriedade do monitoramento das águas superficiais, todas os corpos hídricos inseridos na área de influência significativas, ou seja, que contribuem para o sistema hídrico local deverá, portanto, ter sua qualidade monitorada. Os pontos de amostragem geralmente são definidos conforme a localização dessas coleções na área de interesse. Para os aterros sanitários que façam os efluentes do tratamento do lixiviado em coleções hídricas, são recomendados dos pontos de amostragem: sendo o primeiro localizado a 100 metros a montante do ponto de lançamento, e o segundo a cerca de 50 metros a jusante do ponto de lançamento (ZANTA e FERREIRA, 2003).

O monitoramento das águas superficiais é essencial uma vez que permite avaliar as alterações da qualidade da água causadas pelo lançamento de efluentes do aterro sanitário. As informações obtidas permitirá acompanhar as condições dos mananciais superficiais, a fim de verificar e avaliar os possíveis impactos nos corpos de água, adotando medidas de manejo para assegurar o gerenciamento dos recursos hídricos ao longo da bacia hidrográfica, garantindo a qualidade das águas superficiais, seus múltiplos usos, bem como, a existência do ambiente aquático (STELLATO, 2017).

#### 2.6.3.2 Águas Subterrâneas

O lixiviado é um efluente altamente recalcitrante por conter substâncias solúveis, podendo contaminar as águas do subsolo. Moura (2008) elucida que a presença do lixiviado em águas subterrâneas pode acarretar consequências sérias para o meio ambiente e a saúde pública, devido sua composição tóxica. O lixiviado pode dispersar-se e atingir os poços artesianos por meio da permeabilidade que permite a movimentação do efluente ao lençol freático.

O sistema de monitoramento ambiental das águas subterrâneas consiste basicamente no monitoramento da qualidade das águas do subsolo. A contaminação das águas subterrâneas é o principal problema ambiental nos aterros sanitários, as áreas localizadas nas proximidades da instalação do aterro têm a maior probabilidade de contaminação da água subterrânea devido à principal fonte de poluição (NAKAMURA, *et al.* 2014). Em razão disto, estes locais necessitam do monitoramento contínuo da qualidade das águas subterrâneas em função do risco existente, mesmo que a área apresente condições de controle (BECK, *et al.* 2009).

Borges (2015) destaca que para avaliar a qualidade das águas subterrâneas, se faz necessário avaliar os poços de monitoramento com o intuito de detectar possíveis alterações nos padrões de qualidade, preservando os mananciais subterrâneos. De acordo com Chernicharo *et al.* (2008), o monitoramento é realizado através de amostras coletadas nos poços localizados a montante e a jusante do aterro em relação ao fluxo subterrâneo conforme estabelecido pela NBR 13895 (construção de poços de monitoramento e amostragem) e analisadas em laboratório.

A NBR 13895 (ABNT, 1997) trás as normas fixas referentes as considerações exigíveis para execução do projeto e construção da rede de poços de monitoramento em aquífero freático de um aterro sanitário, a referida norma ainda ressalta que deva existir um ou mais poços localizados a montante do aterro, com a finalidade de avaliar a qualidade original da água subterrânea. Os poços localizados a jusante deveram ser no mínimo três, os mesmo possuem o objetivo de avaliar as possíveis influências do líquido percolado na alteração da qualidade das águas do lençol freático.

Com a finalidade de avaliar a qualidade das águas subterrâneas é usualmente utilizado o padrão de potabilidade das águas destinado ao consumo humano, conforme estabelecido pela Portaria nº 2914, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2010). Além da Portaria Nº 2914, a Resolução CONAMA nº 396/2008, dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas, apresentando uma lista de parâmetros com a maior probabilidade de ocorrência em águas subterrâneas, contendo os Valores Máximo Permitidos (VMP), que são considerados como aceitáveis.

Borges (2015) salienta que é extremamente importante realizar a comparação dos dados encontrados com os limites estabelecidos pelas legislações. A autora reforça ainda que a adequação do corpo d'água superficial ou subterrâneo as legislações vigentes dependem também das características iniciais do mesmo, antes da implantação e operação do empreendimento.

Conforme Catapreta e Simões (2016) o monitoramento ambiental realizado na qualidade das águas superficiais e subterrâneas, objetiva verificar as condições de contaminação dos mesmos na área de influência dos aterros sanitários, constituindo uma importante ferramenta de tomada de decisão preventivas e corretivas na gestão do aterro sanitário e dos recursos hídricos. Ferreira (2010) finaliza que após a desativação do aterro, o monitoramento das águas superficiais e subterrâneas são previstos no plano de desativação do aterro, sendo realizadas as coletas das amostras nos poços de monitoramento a montante e a jusante para análises de parâmetros físico-químicos e biológicos.

#### 2.6.4 Reflorestamento, controle da vegetação e uso futuro da área

Em aspectos gerais o reflorestamento da área do aterro também faz parte das atividades de monitoramento ambiental ao longo dos anos, com o intuito de acompanhar e avaliar à evolução das espécies plantadas, à medida que a área de disposição atingiu sua capacidade, toda a área deverá ser recoberta com vegetação, é essencial garantir a manutenção e a recuperação desta flora e fauna, havendo desta forma a reintegração da paisagem da área utilizada como destinação final dos RSUs para outros fins (OLIVEIRA, 2005; LIMA, 2015).

O chamado cinturão verde que circunda toda a área externa ao redor do aterro sanitário é utilizado para minimizar o impacto visual, além de servir como uma cerca viva ou uma barreira vegetal, com espécies arbóreas no perímetro da instalação. O cinturão verde possui o intuito de isolar a visualização do interior do aterro e melhorar o seu aspecto estético (MONTEIRO, 2006).

De acordo com Meinerz *et al* (2009) os aterros sanitários são planejados com a finalidade de reduzir o máximo de impacto possível. Os autores reforçam o entendimento que um ambiente, após uma perturbação ou mudanças que resulte na retirada radical da vegetação original, posteriormente ocorrerá o fenômeno da sucessão. O conceito de sucessão de acordo com Carvalho (2010) consiste em mudanças ocasionadas tanto por fenômenos naturais, quanto por pressões antrópicas que modificam o ambiente natural.

De acordo com a CETESB (2010), ao fim do encerramento das atividades de um aterro, o mesmo deverá receber uma camada de cobertura com solo orgânico e cobertura vegetal, recomenda-se o uso de plantas nativas, gramíneas sobre os taludes, como medida preventiva a fim de evitar-se erosões, de modo que minimize a infiltração de águas provenientes das chuvas. Ainda sobre cobertura definitiva e vegetação Rocha (2006) destaca as ações pertinentes a cobertura definitiva, que deve ser projetada e direcionadas com o intuito de atender os requisitos de isolar o resíduo do maciço ao meio ambiente, impedindo desta forma a infiltração de chuvas e a saída não controlada dos gases.

Andrade (2008) brilhantemente define o processo de recomposição florística de um ecossistema alterado, seja por processos naturais ou por ação antrópica, através da adoção de métodos de restauração, recuperação ou reabilitação. FONSECA (2005) conceitua a recuperação de áreas degradadas, como um conjunto de ações idealizadas e executadas por especialistas de diferentes áreas de atuação, põe visto proporcionar o restabelecimento de condições de equilíbrio e sustentabilidade existentes anteriormente num sistema natural.

Segundo Oliveira (2005) com relação ao plantio de espécies deverá ser planejado, não abrangendo só as espécies gramíneas, como também a inserção de espécies arbóreas e arbustivas. Ainda de acordo com o autor, o plantio de gramíneas não significa reintegrar à paisagem, seu uso tem a finalidade apenas, de conservar e proteger a superfície dos taludes da ação dos agentes intempéricos (ventos e chuvas).

Segundo Chernicharo *et al* (2018) a vegetação utilizada nestas áreas deve ser resistente, auto-suportada, densa o suficiente para minimizar o processos erosivos, além disso as raízes não devem penetrar a camada de baixa permeabilidade, recomenda-se ainda que o plantio de espécies com raízes pivantes e profundas devem ser evitado. Assim como, o uso de espécies frutíferas uma vez que as mesmas podem gerar frutos contaminados muito menos consumidos, uma vez que prejudicariam a população e a fauna (OLIVEIRA, 2005).

De acordo com Chernicharo *et al* (2008), existem diversos tipos de usos para estas áreas, são elas: agricultura, paisagismo e recreação. Entre as opções de usos futuros, as mais utilizadas são as áreas destinadas para paisagismo e recreação, uma vez que estes locais podem ser destinadas para a prática de esportes, como quadras ou campos de futebol, criação de áreas verdes, implatação de gramados, trabalhos paisagísticos, arbustos e arborés, uma vez que parques, praças e espaços abertos poderão ser de interesse de um número maior de pessoas, pode trazer benefícios para a comunidade. Além disso, esse tipo de uso não implica grandes estruturas no local, apenas pequenas e leves construções, como sedes administrativas e sanitários.

Em alguns países já é encontrado alguns exemplos de depósitos de resíduos que após o encerramento das operações, foram destinados em parques públicos e grandes projetos paisagísticos. A figura 8 apresenta a resutauração paisagística do aterro de Vall d'em Joan na região metropolitana de Barcelona na Espanha, o projeto reabilitou uma área de 885 hectares destinada para disposição de resíduos durante mais de 30 anos em um parque público, que foi aberto a população no ano de 2010 quando se finalizou o período de regeneração natural do lugar (HOLANDA, 2012).

Figura 8 - Projeto técnico paisagístico da área do aterro, imagens do parque público.



Fonte: Holanda (2012).

Iniciativas como essas têm modificado áreas anteriormente degradadas em parques e praças, o intuito é oferecer a população mais áreas verdes de lazer, principalmente na periferia. Além disso, o controle da área serve de laboratório para identificar espécies vegetais mais adequadas para a cobertura do solo (PEREIRA, 2018).

O aterro sanitário de Fresh Kills, localizado no distrito de Staten Island, em Nova Iorque, em uma correspondente a três vezes o Central Park. A Figura 9 a seguir apresentará uma grande variedade de espaços públicos destinado a população local, atualmente o parque encontra-se aberto a visitação, no ano de 2012 foi inaugurado playground, quadras de handebol e basquete, no ano seguinte quatro campos de futebol, estacionamento e espaço para o gramado foram inaugurados, dois anos depois foi inaugurada uma ciclovia com extensão de pouco mais de 5 Km que serpenteia a borda leste do Freshkills Park. Além disto, o parque ainda abrigará muitos tipos de atividades sociais, culturais e recreativas, incluindo cavalgadas, mountain bike, caiaque e arte pública.

Figura 9 - Projeto de regeneração do aterro sanitário de Fres Kills, imagens dos espaços do parque já disponível para a visita pública.



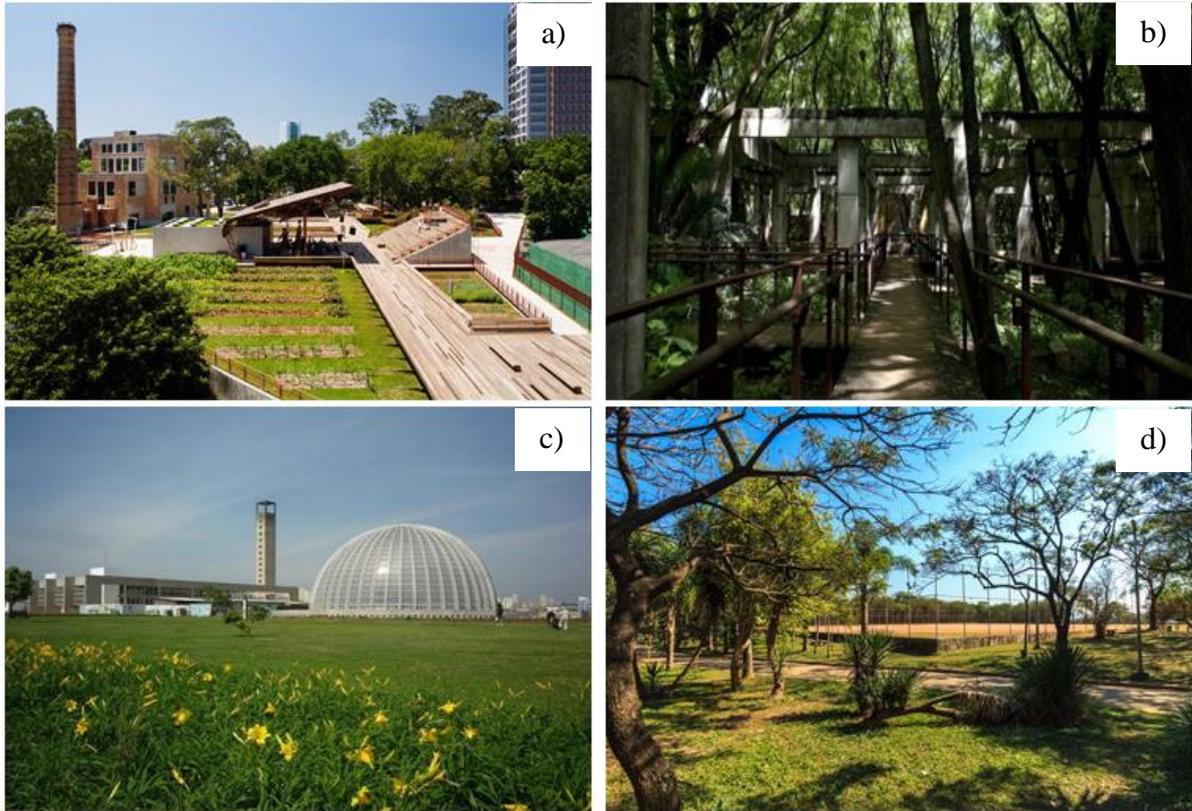
Fonte: Vinnitskaya (2013)

\*Projeto de recuperação do aterro, demais imagens extraídas do site NYC Parks.

Outros exemplos pelo mundo estão na cidade de Hiratsuka, província de Kanagawa, Japão, um antigo lixão deu espaço a um jardim caminhável. No centro histórico do Cairo no Egito, o Parque Al-Azhar local que atualmente abriga uma extensa superfície verde com cerca de 30 hectares, com cerca de 655 mil espécies vegetais, entre plantas e árvores, anteriormente a área era um depósito de lixo de mais de 500 anos (PEREIRA, 2018).

Pereira (2018) ainda destaca alguns projetos que contempla a cidade de São Paulo, como a Praça Victor Civita localizada no bairro de Pinheiros, área anteriormente utilizada como um antigo incinerador de lixo. Ainda na cidade de São Paulo, outros parques foram erguidos sob antigos lixões, como é o caso dos parques Villa Lobos, da Juventude e Raposo Tavares. A Figura 10 mostra as áreas provenientes dos lixões que se transformaram em praças na cidade de São Paulo.

Figura 10 - (a) Praça Victor Civita; (b) Parque da Juventude; (c) Parque Villa Lobos; (d) Parque Raposo Tavares



Fonte: Pereira (2018)

\*A transformação de aterros sanitários em parques, demais imagens extraídas do site archdaily.

Segundo Alberte, Carneiro e Kan (2005) a proposta de uso futuro da área deve levar em consideração a implantação de uma área de lazer com equipamentos comunitários como quadras esportivas, campos de futebol, áreas verdes e áreas de convívio, nos casos em que os aterros são localizados próximos a áreas urbanizadas, estes espaços podem ser utilizados para os mais diversas finalidades, entre as quais a preservação ambiental e o lazer, são as mais recomendadas dependendo das condições locais. Os autores ressaltam ainda que em todo caso a requalificação do aterro deve integrar a área ao seu entorno, contemplando a necessidade da comunidade local, como também, a participação efetiva da mesma.

De acordo com Cavalcante (2014) um aterro sanitário somente poderá ser considerado encerrado, quando o maciço de resíduos estiver estabilizado em relação aos aspectos bioquímicos, ambientais e geotécnicos, sua área estiver ambientalmente requalificada, reduzindo os impactos negativos sofridos pela área utilizada, através da revitalização da mesma, há destinando pra uma nova ocupação, assegurando a qualidade ambiental em longo prazo.

## 2.7 ESTUDOS REALIZADOS NO ATERRO DA MURIBECA

A presente pesquisa dá continuidade a uma série de outros estudos já realizados no aterro controlado da Muribeca-PE. Com base na cooperação GRS/UFPE, EMLURB e ATEPE o Aterro controlado da Muribeca foi cenário para várias pesquisas de teses e dissertações, a seguir um breve histórico dos estudos já realizados.

Algumas teses desenvolvidas pelo grupo de pesquisa:

- a) Alcântara (2007) estudou o comportamento de reatores em pequena escala, simulando aterros sanitários, avaliando a influência da composição de resíduos sólidos urbanos e das condições climáticas no processo espontâneo de degradação dos resíduos.
- b) Maciel (2009) avaliou em seu estudo o potencial de geração de biogás e a viabilidade econômico-financeira da produção de energia, realizado a partir do desenvolvimento e monitoramento da célula experimental do Aterro da Muribeca.
- c) Lins (2011) em sua pesquisa avaliou e propôs um sistema experimental de tratamento físico-químico para lixiviado de aterros sanitários, para isto, o autor utilizou a caracterização quantitativa e qualitativa do lixiviado do Aterro da Muribeca.
- d) Motta (2011) estudou a resistência ao cisalhamento dos RSU, utilizando RSU do Aterro da Muribeca e da CTR Igarassu, onde considerou o efeito de reforço dos materiais fibrosos constituintes dos resíduos e alguns aspectos relacionados à codisposição de resíduos com lodo de esgoto (LE), tais como: geração de biogás, redução da permeabilidade, e sua influência nos parâmetros de resistência e na estabilidade de taludes de aterros sanitários.
- e) Lopes (2011) realizou um estudo na célula experimental do Aterro da Muribeca, avaliando o desempenho de três diferentes camadas de cobertura utilizada no aterro de resíduos sólidos, em relação à infiltração de líquidos e emissão de metano  $\text{CH}_4$ .
- f) Firmo (2013) estudou o comportamento da geração e fluxo de biogás e metano a partir da biodegradação de RSU, através de simulação numérica, utilizando um modelo desenvolvido *in house*, na célula experimental do aterro da Muribeca, e posteriormente da CTR Igarassu.
- g) Costa (2015) analisou em seu estudo, o desempenho de duas camadas de cobertura da célula experimental construída no Aterro da Muribeca, por meio de ensaios laboratoriais de colunas de solos, compreendendo o comportamento dos solos em função do fluxo de líquidos e gases.

Algumas dissertações desenvolvidas pelo grupo de pesquisa:

- a) Maciel (2003) estudou a geração, percolação e emissão dos gases da camada de cobertura da célula nº 8 do Aterro da Muribeca-PE.
- b) Lins (2003) estudou através de modelos empíricos chamado de método de capacidade de campo, a estimativa do volume de percolado gerado no Aterro da Muribeca-PE.
- c) Rocha (2005) avaliou em seu estudo o desempenho do sistema de lagoas de estabilização na redução de carga orgânica do chorume gerado no aterro da Muribeca.
- d) Sá (2008) o objetivo do seu estudo era desenvolver, avaliar e otimizar um sistema de evaporação natural do lixiviado do aterro da Muribeca, com o intuito de diminuir as cargas orgânicas, através de um destilador solar.
- e) Silva (2008) realizou coleta e caracterização das amostras de lixiviado bruto da muribeca, para serem submetidas a uma série de análises com o intuito de desenvolver métodos de tratamento de baixo custo mais eficientes, com isto, o autor avaliou o método de precipitação química associado ao *stripping* de amônia no tratamento de lixiviados gerados no Aterro da Muribeca-PE.
- f) Lins (2008) estudou o emprego da zeólita natural como material alternativo de baixo custo para compor uma barreira reativa permeável para o tratamento terciário do lixiviado proveniente do aterro de resíduos sólidos urbanos da Muribeca-PE.
- g) Rodrigues (2009) estudou a análise de viabilidade econômico-financeira do aproveitamento energético do biogás gerado na célula experimental construída no aterro da Muribeca.
- h) Purificação (2009) estudou o comportamento das emissões de metano e a estrutura da comunidade metanotrófica nas camadas de cobertura tradicionais e em sistemas de biocamada oxidativa, como alternativa para redução de emissões de metano por aterros sanitários.
- i) Mello (2011) estudou a otimização de processos adsortivos para o tratamento de lixiviado da muribeca-PE, e corantes de lavanderia por processos físico-químicos.
- j) Oliveira (2013) avaliou as emissões de biogás pelo sistema de drenagem e em três diferentes configurações de camada de cobertura entre o período (2009-2012), na célula experimental no aterro de resíduos da Muribeca.
- k) Santos Filho (2013) avaliou a variabilidade temporal dos parâmetros físico-químico do lixiviado do Aterro da Muribeca, por um período de 11 anos, os correlacionados com o efeito da precipitação pluviométrica na evolução das características do lixiviado.

- l) Holanda (2016) avaliou o uso de consórcio microbiano facultativo no estudo da biodegradação e geração de biogás de resíduos sólidos urbanos envelhecidos do aterro da Muribeca.
- m) Guilherme (2019) analisou a evolução dos parâmetros geoambientais do monitoramento realizado no pós-encerramento do aterro da Muribeca.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o cumprimento desta pesquisa, foi realizada uma revisão literária que abrangeu tópicos sobre o saneamento básico, evidenciando principalmente sobre os aspectos pós-operacionais do monitoramento ambiental de aterros sanitários. Para que este estudo fosse executado, por intermédio da equipe multidisciplinar do Grupo de Resíduos Sólidos (GRS/UFPE) da Universidade Federal de Pernambuco, através do Convênio de Cooperação Técnica realizado entre a Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana – EMLURB e a Associação Tecnológica de Pernambuco – ATEPE, parceria firmada desde 1994 para o estudos no aterro controlado da Muribeca-PE, os dados de monitoramento ambiental foram disponibilizados.

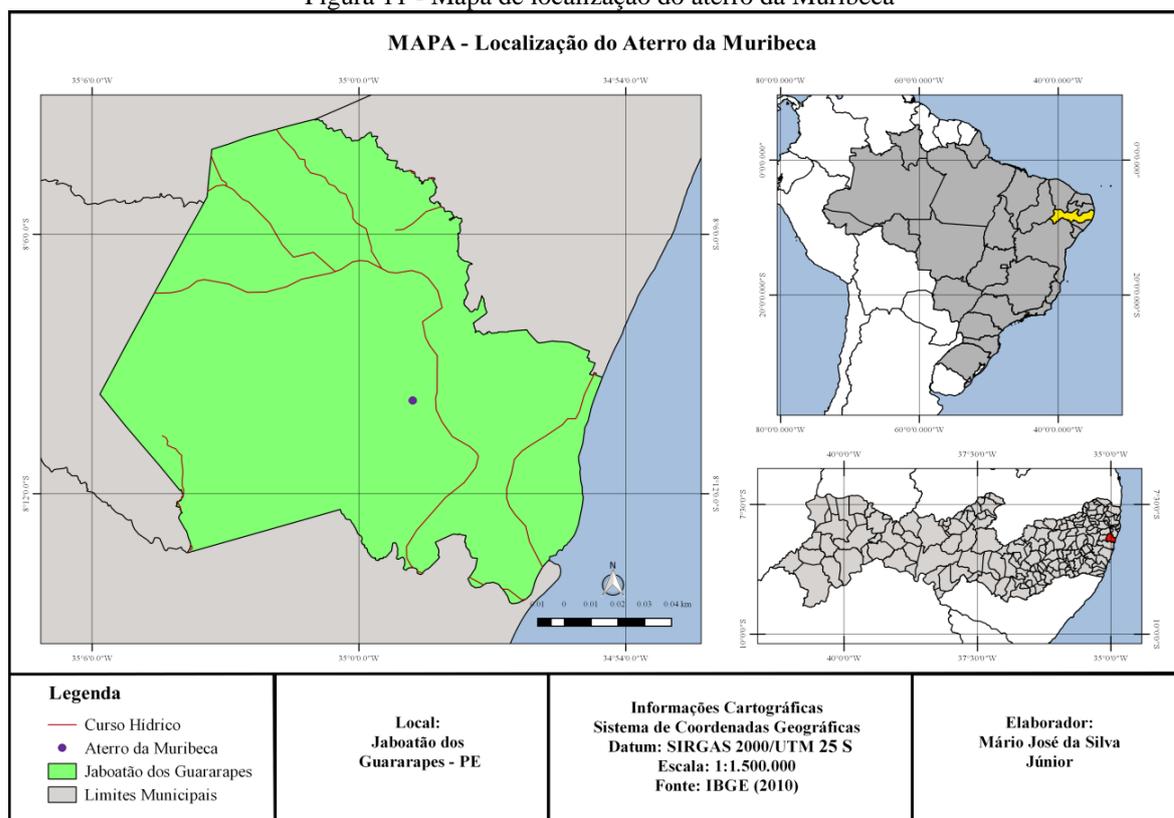
Foi permitido o acesso às instalações do aterro, onde algumas visitas de campo foram realizadas para o reconhecimento de toda área do aterro controlado e acompanhar o monitoramento ambiental e a disponibilização de dados técnicos e dos relatórios gerenciais de monitoramento já executados. Esta dissertação trabalhou-se com dados secundários, ou seja, dados do monitoramento ambiental realizado no aterro da Muribeca. Foram levantados nove anos de dados (período 2009-2018), do biogás gerado, da qualidade físico-química e microbiológica do lixiviado bruto e tratado, do monitoramento das águas superficiais e subterrâneas e do reflorestamento da área.

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O aterro da Muribeca está localizado na estrada da Integração Prazeres na zona rural conhecida como Muribeca dos Guararapes, do município do Jaboatão dos Guararapes na região metropolitana do Recife, recebia os resíduos sólidos urbanos dos municípios do Jaboatão dos Guararapes e Recife, até o ano de 2009.

O aterro está situado a uma distância de mais de 9 Km do centro do Jaboatão dos Guararapes, e de um pouco mais de 16 Km da Capital Recife, o aterro compreende uma área média entre 60 - 62 hectares, com um perímetro correspondente de 3.848 metros (LINS, 2011). A antiga área de disposição encontra-se entre as seguintes coordenadas: 8°09'50.5"S e 34°58'47.4"W. A Figura 11 identifica a localização do Aterro da Muribeca inserida no município de Jaboatão dos Guararapes, no estado de Pernambuco, Brasil.

Figura 11 - Mapa de localização do aterro da Muribeca



Fonte: O Autor (2019).

### 3.1.1 Aterro da Muribeca

O aterro da Muribeca operou como depósito de lixo a céu aberto desde 1985. No ano de 1994, foi realizado um diagnóstico físico na área, com a finalidade de reconhecer a geologia, hidrogeologia, geotecnia, morfologia, recursos hídricos e meteorologia de toda a área do aterro, por meio destes estudos permitiram-se o conhecimento e a caracterização do subsolo, dos lençóis de água superficial e subterrânea e das falhas da rocha (LINS, 2003).

Com a finalização do diagnóstico, foi iniciado naquele mesmo ano o processo de tratamento dos resíduos e recuperação ambiental, tendo em vista o aumento da vida útil da área de disposição e a transformação do lixão em aterro controlado, onde foram construídas nove células revestidas por uma camada de solo impermeabilizante onde o lixo era depositado e compactado. As células possuem dimensões de largura e comprimento médios de, respectivamente 200 x 200m, com altura variando de 20 a 40m, aproximadamente (LINS, 2003; MELLO, 2011).

O Aterro da Muribeca foi o maior aterro em operação na Região Metropolitana do Recife no Estado de Pernambuco entre os anos de 1985 até meados de 2009. Nesta época,

recebia em média cerca de 3.000 toneladas/dia de resíduos provenientes dos municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes. Em Novembro do ano de 2001, foi firmado o convênio do gerenciamento do aterro entre os municípios do Recife e Jaboatão dos Guararapes e o Governo do estado, através da gestão compartilhada, com o intuito de transformar o aterro controlado em aterro sanitário, por meio de ações específicas, com a construção e operação da estação de contenção e tratamento de lixiviado da Muribeca, atendendo desta forma à Legislação Ambiental vigente, as normas técnicas de controle da Agência Estadual do Meio Ambiente – CPRH e a Resolução Conama nº 20 que enquadra os corpos hídricos. O projeto de modernização do aterro foi monitorado pelo Grupo de Resíduos Sólidos - GRS da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.

As atividades operacionais da Muribeca chegaram ao fim em meados de 2009, onde toda a área remanescente continua com ações mitigadoras visando a remediação do passivo ambiental em concordância com o Projeto de Encerramento do Aterro da Muribeca-PE, elaborado pela equipe da ATEPE/GRS, com aprovação pela Agência Estadual do Meio Ambiente CPRH de acordo com a Autorização Ambiental sob o nº 04.10.00874-1 datada em janeiro de 2010. Atualmente, as atividades realizadas no Aterro da Muribeca correspondem às atividades de monitoramento ambiental e geotécnico, de manutenção e da realização das obras para o encerramento do aterro.

As Figuras 12 (a) e 12 (b) abaixo mostra a vista aérea do Aterro da Muribeca no estado de Pernambuco.

Figura 12 - Vista aérea do aterro da Muribeca em (a) no ano de (2007) e em (b) no de seu encerramento (2009).



Fonte: GRS/ATEPE (2018).

O Aterro da Muribeca é formado por nove células preenchidas de resíduos sólidos provenientes das diversas atividades. Com o encerramento das atividades de disposição de

resíduos, as células não se apresentam de maneira dissociada, devido ao preenchimento das vias de acesso por resíduos sólidos, formando uma única massa de resíduos, na tabela 9 encontra-se o ano de encerramento de cada célula.

Tabela 9 - Ano de encerramento das células do Aterro da Muribeca.

Identificação da Célula	Ano de Encerramento
C-1	2003/2004
C-2	2007/2008
C-3	2009
C-4	2009
C-5	2002/2003
C-6	2007/2008
C-7	2005/2006
C-8	2005/2006
C-9	2003/2004

Fonte: GRS/ATEPE (2018).

### 3.2 MONITORAMENTO AMBIENTAL DO ATERRO DA MURIBECA

O encerramento do ciclo operacional de deposição de resíduos de um aterro sanitário, não finaliza os complexos processos de degradação dos resíduos. Segundo Jucá *et al.* (1999) o sistema de monitoramento ambiental e geotécnico do pós-encerramento das atividades operacionais do Aterro da Muribeca tem por objetivo avaliar os parâmetros físico-químicos e biológicos, que visa acompanhar o grau de contaminação da área de influência do aterro, através dos monitoramentos dos solos, líquidos e gases. Assim como o processo de tratamento adotado pela Empresa de Manutenção e Limpeza Urbana da Cidade do Recife – EMLURB.

O monitoramento da qualidade das águas superficiais resulta de amostragens das águas coletadas a montante e a jusante nos Rios Muribequinha e Jaboatão que circundam a área de influência do aterro. Para as águas subterrâneas o monitoramento é realizado nos poços artesianos situados no Aterro. Os efluentes lixiviantes são monitorados pela qualidade do lixiviado bruto que chega à Estação de Tratamento de Lixiviado – ETL da Muribeca. Desde 2013 o lixiviado bruto é encaminhado para a ETE da CTR Candeias para o tratamento, onde o controle do efluente tratado é realizado através das amostras coletadas na saída da mesma.

No plano de monitoramento das atividades pós-operacionais do aterro, ainda são realizadas o plantio da vegetação da área, e o acompanhamento das obras do Projeto de Encerramento do Aterro, elaborado pelo GRS Grupo de Resíduos Sólidos da UFPE/ATEPE em 2009.

A periodicidade do monitoramento geotécnico e ambiental do Aterro da Muribeca vem sendo realizado de acordo com as exigências da Autorização Ambiental emitida pela Agência Estadual de Meio Ambiente CPRH, atendendo a Licença 04.15.03.001342-3, e do Projeto de Encerramento e Recuperação Ambiental do Aterro da Muribeca, conforme citado na tabela 10.

Tabela 10 - Periodicidade do monitoramento ambiental realizado no aterro da Muribeca

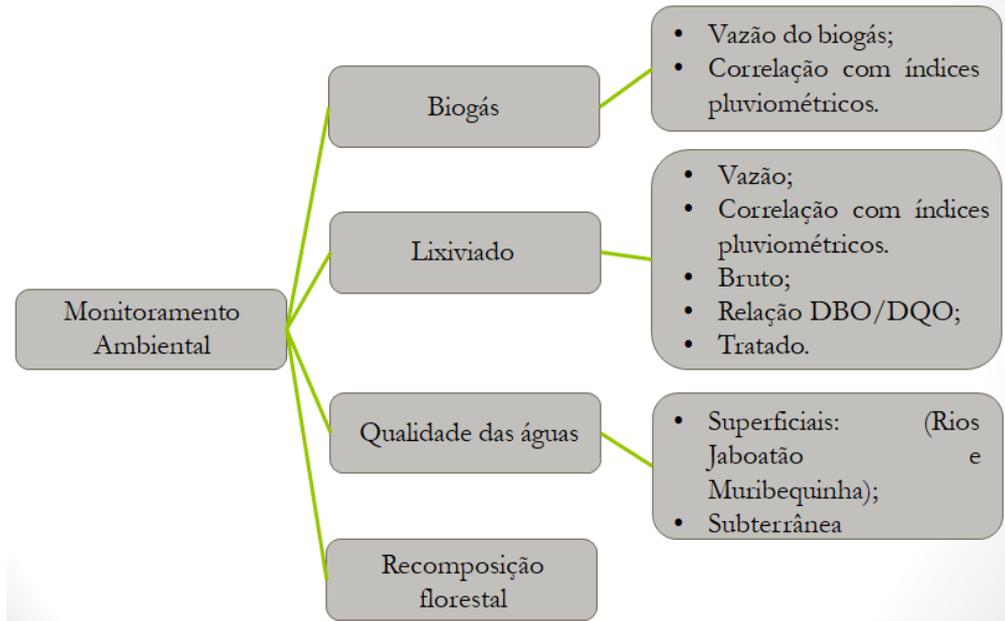
Monitoramento Ambiental	Periodicidade
Monitoramento geomecânico (recalque)	Trimestral
Monitoramento do biogás	Semestralmente
Monitoramento do lixiviado bruto	Trimestral
Monitoramento do efluente tratado	Trimestral
Monitoramento das águas superficiais	Trimestral
Monitoramento das águas subterrâneas	Trimestral

Fonte: GRS/ATEPE (2018).

O quadro anterior aborda a periodicidade dos principais monitoramentos realizados no Aterro da Muribeca após o seu encerramento. Fazendo parte do plano de ações, inspeção, manutenção e, de infraestrutura que contempla o encerramento das atividades, e o monitoramento da área após o seu fechamento, conforme recomenda o órgão ambiental competente local.

Contudo, é importante salientar que a presente pesquisa aborda apenas uma avaliação sobre o monitoramento ambiental realizado no Aterro da Muribeca, conforme apresenta o fluxograma da Figura 13. Não sendo abordado, portanto, o monitoramento geomecânico realizado no maciço, como também, as pequenas obras de infraestrutura executadas, que são necessárias para promover uma manutenção adequada em toda área do Aterro.

Figura 13 – Fluxograma do monitoramento ambiental analisado do aterro da Muribeca.

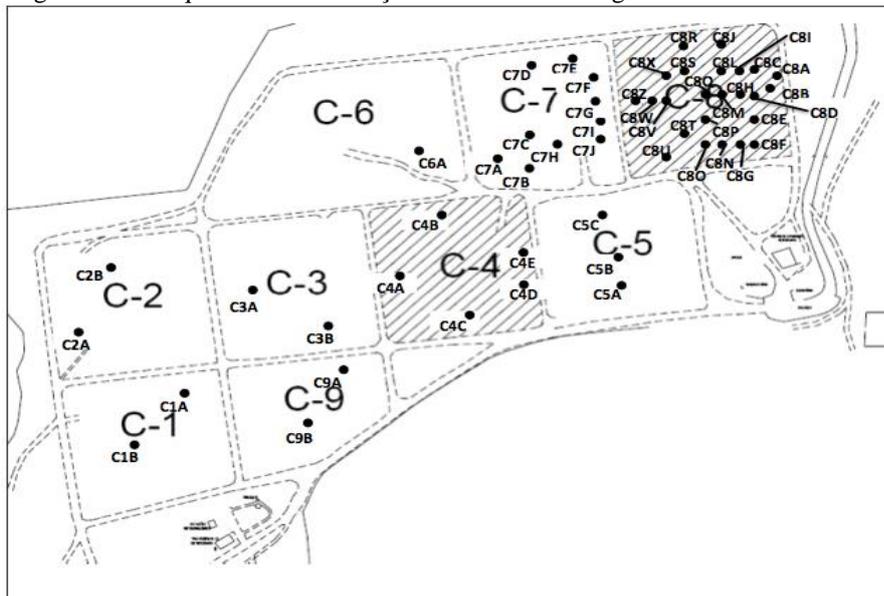


Fonte: O Autor (2019).

### 3.2.1 Monitoramento Biogás

A Figura 14 apresenta o croqui da distribuição das células no Aterro, antes do preenchimento das vias de acesso, assim como a locação dos drenos de gases, no entanto, conforme mencionado anteriormente com o encerramento da disposição de resíduos, foi formado uma única massa de resíduos.

Figura 14 - Croqui com a distribuição dos drenos de biogás do aterro da Muribeca



Fonte: GRS/ATEPE (2018).

O sistema de monitoramento da determinação da vazão é baseado na Norma BSI 104-2.3 – 19984 - Measurement of Fluid flow in closed conduits. Velocity area methods. Methods of flow measurement in swirling or asymmetric flow conditions in circular ducts by means of currentmeters or Pilot statis tube.

A medição da velocidade do biogás considerada é a velocidade média dos valores obtidos nas duas leituras realizadas. Além disso, é realizada a medição da pressão e a concentração dos principais gases que formam o biogás nos drenos (OLIVEIRA, 2013). A Figura 15 apresenta a medição do monitoramento do biogás.

Figura 15 - Monitoramento da vazão do biogás dos drenos do aterro da Muribeca



Fonte: O Autor (2019).

No aterro da Muribeca é realizado o acompanhamento dos dados pluviométricos e evaporação. A correlação das informações é extremamente importante para o entendimento da influência dos elementos meteorológicos (precipitação pluviométrica, temperatura ambiente e umidade natural), no processo de decomposição dos resíduos, como também no comportamento da emissão do biogás e da vazão do lixiviado gerado no aterro.

De acordo com a classificação de Köppen e Geiger o clima de Jaboatão do Guararapes situa numa transição entre os climas tropical úmido (Ams') e savânico (As), apresentando uma estação mais seca no verão. Junho e Julho são os meses que registram maiores índices de precipitação, sendo Novembro o mês mais seco do ano. A pluviosidade média anual gira em torno de 1660 mm. Os índices pluviométricos foram obtidos da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) da estação de monitoramento pluviométrica (Posto Cód. 268), localizada em Duas Unas em Jaboatão dos Guararapes/PE, as informações estão na tabela 11.

Tabela 11 - Precipitação Média Mensal e Anual da estação pluviométrica (Posto Cód. 268) Jaboatão dos Guararapes, localizada em Duas Unas

Meses \ Ano	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Janeiro	156,5	202,0	197,0	86,4	133,3	40,6	172,3	22,2	174,7
Fevereiro	53,4	204,0	186,0	38,6	268,4	58,3	62,4	77,0	126,3
Março	88,0	130,0	55,0	108,8	223,6	275,4	178,9	203,5	157,2
Abril	294,2	480,0	38,1	299,2	219,3	14,2	220,6	225,7	484,7
Maio	106,0	771,0	198,1	348,0	267,4	180,9	327,8	300,2	178,3
Junho	568,0	296,0	389,9	378,0	255,2	352,8	112,0	425,6	99,8
Julho	250,0	466,0	306,0	369,8	29,9	386,9	77,4	345,1	98,3
Agosto	155,0	198,0	118,0	208,2	69,2	96,0	30,7	150,8	67,7
Setembro	95,0	43,0	10,9	140,7	260,6	19,0	43,0	98,4	32,8
Outubro	43,0	62,0	81,8	178,6	119,0	30,6	17,7	41,0	15,2
Novembro	30,0	60,0	5,8	81,3	25,9	16,7	19,1	29,7	68,1
Dezembro	93,0	58,0	23,0	162,5	52,2	103,5	45,1	32,2	81,3
P.M.A* (mm)	1932,1	2970,0	1609,6	2400,1	1924,0	1574,9	1307,0	1951,4	1584,4

Fonte: O Autor (2019).

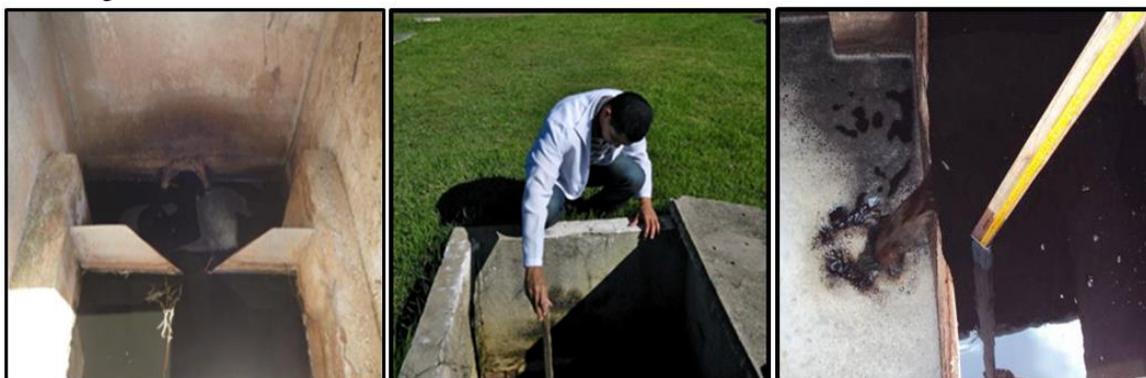
(\*) Precipitação Média Anual (mm).

\*\*Dados obtidos da APAC.

### 3.2.2 Monitoramento e Qualidade físico-química e microbiológica do lixiviado bruto e tratado

O monitoramento do lixiviado bruto realizado na Estação de Tratamento de Lixiviados (ETL) da Muribeca, consiste no acompanhamento diário das lagoas, por meio do preenchimento da ficha de inspeção, onde são realizadas as medidas de vazão com a frequência de três vezes ao dia, precipitação pluviométrica e avaliação das condições meteorológicas. O controle da vazão do efluente é realizado na caixa medidora (vertedouro triangular) de vazão, conforme exposto na Figura 16.

Figura 16 - Controle da vazão do efluente lixiviante na caixa medidora do aterro da Muribeca.



Fonte: GRS/ATEPE (2018).

Para a avaliação do monitoramento realizado no lixiviado bruto e tratado do aterro da Muribeca, o estudo foi dividido em dois momentos, o primeiro momento referente ao período de tratamento biológico utilizado (2009 – 2013 1º trimestre), sendo analisados os seguintes parâmetros: DQO, DQO, Alcalinidade, pH, Cor, Turbidez, ST, STD, SST, Coliformes totais e termotolerantes.

O segundo pertinente ao período de tratamento físico-químico do lixiviado que passou a ser adotado (2º trimestre de 2013 - 2018), sendo observados os parâmetros: DBO, DQO, Nitrogênio Amoniacal, pH, Sulfetos, Coliformes totais e termotolerantes.

### 3.2.3 Qualidade do lixiviado bruto

A metodologia utilizada para o monitoramento do lixiviado do aterro da Muribeca consiste nas técnicas de coleta das amostras descritas pela CETESB (2011). As amostras são coletadas na caixa de areia da ETL, localizada antes das lagoas de decantação. As coletas são realizadas trimestralmente pelo Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP), seguindo a metodologia de coleta proposta pela CETESB (2011). A precaução técnica se faz necessária, a fim de evitar todas as fontes possíveis de contaminação e perdas da amostra coletada, que possam interferir nas interpretações dos dados, como também das próprias análises de laboratório.

A Figura 17 demonstra como é realizada a coleta das amostras de lixiviado bruto na ETL da Muribeca.

Figura 17 - Coleta das amostras de lixiviado na entrada da ETL do aterro da Muribeca.



Fonte: GRS/ATEPE (2018).

Para os procedimentos realizados no aterro Muribeca são coletados cerca de 5 litros da amostra do lixiviado bruto, onde são acondicionadas em recipientes plásticos/vidros previamente esterilizados para a realização das análises físico-químicas.

Os parâmetros físico-químico e microbiológico do lixiviado analisados seguem os fundamentos de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998). A avaliação dos resultados das análises dos parâmetros físico-químico e biológico do lixiviado é baseada nos padrões de lançamento de efluente estabelecidos pela Resolução CONAMA 430 de 2011.

### 3.2.4 Qualidade do lixiviado tratado

Para o período estudado, temos dois padrões de tratamento do lixiviado diferentes. No período de 2009 a abril de 2013 o tratamento biológico era realizado na ETL localizada no próprio aterro da Muribeca. A partir do mês de maio de 2013 até os dias atuais o tratamento é realizado na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) da Central de Tratamento de Resíduos CTR/Candeias, sendo adotado o tratamento físico-químico combinado com o biológico para o lixiviado.

O tratamento biológico da Muribeca era composto por uma lagoa de decantação, por uma lagoa anaeróbia, três lagoas facultativas e um sistema bioquímico, conforme a Figura 18.

Figura 18 - Estação de tratamento de lixiviado do aterro da Muribeca.



Fonte: LINS (2008).

Segundo Lins (2011) o tratamento biológico tem a finalidade de estabilizar os constituintes orgânicos do lixiviado reduzindo a sua DBO, entretanto, o tratamento biológico têm sido satisfatório na remoção da matéria orgânica do lixiviado novo, mas é pouco indicado para lixiviado estabilizado, uma vez que é mais resistente a biodegradação, ou seja, a fração orgânica presente é constituída por pouco material biodegradável comprometendo o sistema que era utilizado.

Atualmente o efluente da Muribeca é enviado para ser tratado no CTR/Candeias, sendo, portanto, misturado com o afluente do CTR/Candeias aterro que atualmente recebe os resíduos de algumas cidades da região metropolitana do Recife, localizado ao lado do antigo aterro da Muribeca. Os resíduos líquidos são misturados e o tratamento adotado na ETE do CTR/Candeias é composto por quatro etapas:

- a) Tratamento preliminar (peneira estática para remoção dos sólidos grosseiros, reservatório de chorume bruto), posteriormente, encaminhado para o;
- b) Tratamento primário (objetiva principalmente a remoção da amônia e parte da carga orgânica de entrada, no tanque de alcalinização é iniciado o processo de precipitação química do chorume com a suspensão de cal e hidróxido de cálcio  $\text{Ca(OH)}_2$ , esta mistura com pH em torno de 12 é conduzida por gravidade para o de cantador primário, cuja função é separar por sedimentação a fase líquida que transborda por gravidade para o tanque de *Stripper*. O tanque de *Stripper* possui difusores de ar no

- seu fundo, cumprindo a função de remoção de amônia do efluente, em seguida é realizada a face correção do pH para compatibilizá-lo com o tratamento posterior;
- c) O tratamento secundário consiste no processo biológico de lodos ativados, o efluente com o potencial poluidor reduzido é encaminhado para um reator biológico, entrando em contato com a biomassa formada por microrganismos os quais na presença de oxigênio e nutrientes conseguem degradar a matéria orgânica ainda presente, seguidamente o efluente é separado por decantação simples, obtendo desta forma o lodo biológico que retorna para o reator e uma fase líquida que segue para o tratamento subsequente;
- d) Tratamento terciário compõe a última etapa do processo de tratamento, onde se inicia pelos filtros de areias, no qual os materiais finos indesejáveis ainda presente no efluente são retidos, logo em seguida o efluente é conduzido para um tanque pulmão que atua como reservatório, então é encaminhado ao sistema de nanofiltração, onde são removidas partículas do tamanho de um nanômetro, como por exemplo, as partículas de moléculas orgânicas de elevado peso molecular e alguns sais, o que gera um efluente de cor e de sua grande carga orgânica inicial.

Vale ressaltar que parte do efluente final é reaproveitada na unidade para o uso de umedecimento das vias de acesso, e o restante é lançada no emissário do rio Jaboatão, seguindo os padrões técnicos e ambientais estabelecidos pelas resoluções do Conama. A Figura 19 apresenta a coleta das amostras do efluente lixiviante tratado na saída da ETL do CTR Candeias.

Figura 19 - Coleta das amostras do lixiviado tratado na saída da ETL da CTR Candeias.



Fonte: O Autor (2019).

### 3.2.5 Monitoramento das águas superficiais e subterrâneas

A coleta de amostra das águas superficiais segue os mesmos procedimentos baseados na técnica de coleta das amostras estabelecidas pela CETESB (2011), da mesma maneira do lixiviado bruto e do efluente líquido da ETL.

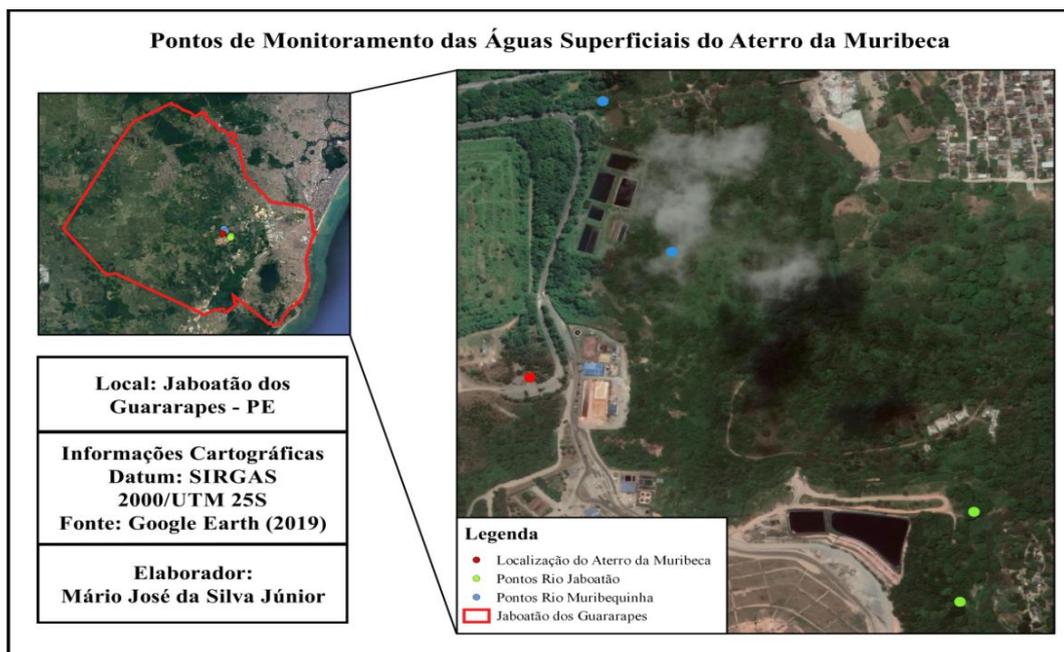
Para as análises realizadas são recomendados a adoção dos procedimentos descritos no manual da Associação Americana de Saúde Pública, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998). Os parâmetros solicitados para as amostras de coleta de águas superficiais pelos órgãos ambientais, geralmente são os mesmos para águas do subsolo.

### 3.2.6 Águas superficiais

O monitoramento ambiental das águas superficiais do aterro da Muribeca é realizado em dois corpos hídricos na área de influência do aterro. O rio Muribequinha e o rio Jaboatão, conforme apresentado na Figura 20.

Estes pontos de monitoramento foram definidos a partir da localização do ponto de lançamento do efluente tratado, sendo usualmente empregados 100 metros localizados a montante e cerca de 50 metros a jusante.

Figura 20 – Pontos de monitoramento das águas superficiais do Aterro da Muribeca.



Fonte: O Autor (2019).

A frequência de amostragem do monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais do Aterro da Muribeca é trimestral.

Para os corpos receptores consideram-se ainda os parâmetros estabelecidos para classificação de águas pela Resolução CONAMA N° 357/2005, complementada e alterada para a Resolução CONAMA N° 430/2011.

Para a avaliação do monitoramento realizado nas águas superficiais dos rios Muribequinha e Jaboaão, foram observados os seguintes parâmetros físico-químicos e biológicos:

- a) Rio Muribequinha: DQO, DQO, pH, Cor, Turbidez, STD, Nitrogênio Amoniacal, Nitrito, Coliformes totais e termotolerantes.
- b) Rio Jaboaão: DQO, DQO, pH, Cor, Condutividade elétrica, Cloretos, Turbidez, Nitrogênio Amoniacal, STD, Coliformes totais e termotolerantes.

A Figura 21 apresenta os pontos onde são realizadas as coletas das amostras das águas superficiais.

Figura 21 - Coleta das amostras das águas superficiais a montante (A) e a jusante (B) do Rio Jaboaão e montante (C) e jusante (D) do rio Muribequinha.

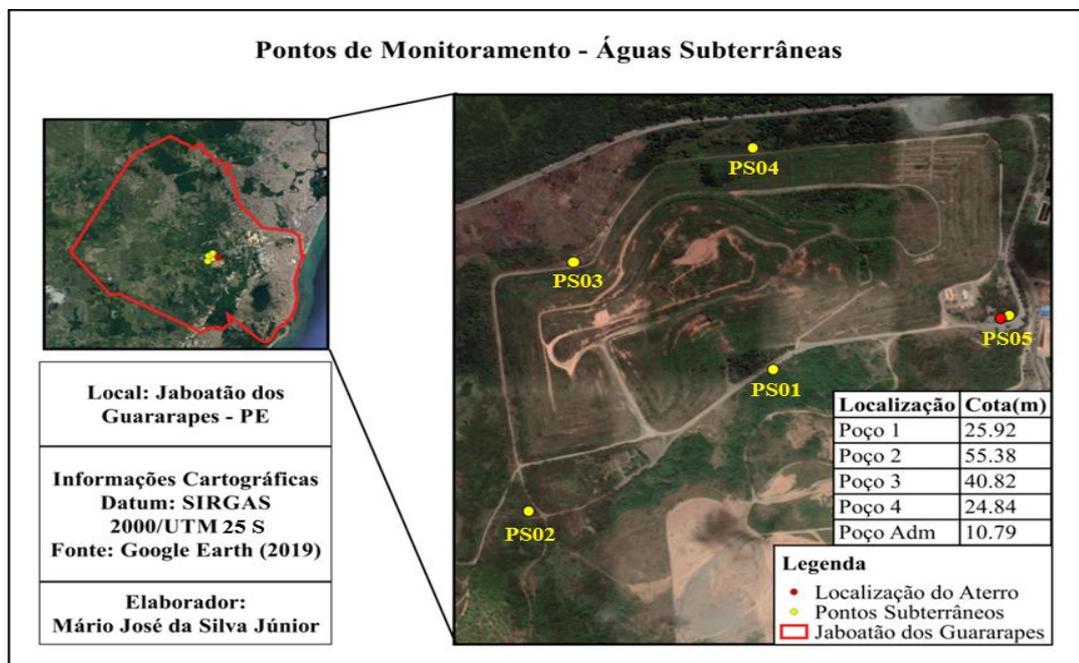


### 3.2.7 Águas subterrâneas (poço artesiano)

Os poços de monitoramento das águas subterrâneas foram locados a montante e a jusante do aterro, instalados adequadamente na área de influência do aterro, de acordo com as especificações da NBR 13895 (ABNT, 1997).

A seguir encontra-se a figura 22 com o mapa de localização dos poços de monitoramento das águas subterrâneas localizados na área de influência direta do aterro.

Figura 22 – Poços de monitoramento das águas subterrâneas do Aterro da Muribeca.



Fonte: O Autor (2019).

As Figuras 23 e 24 mostram os poços de monitoramento das águas subterrâneas do Aterro da Muribeca. A tabela 12 apresenta a profundidade dos poços e os pontos de localização geográfica.

Figura 23 - Poços de monitoramento de águas subterrâneas do aterro da Muribeca, (A) PS 01, (B) PS 02, (C) PS 03, (D) PS 04.



Fonte: O Autor (2019).

Figura 24 - Poço de monitoramento de águas subterrâneas PS 05, localizado próximo à administração do aterro da Muribeca



Fonte: O Autor (2019).

Tabela 12 - Profundidade e localização geográfica dos poços de monitoramento do Aterro da Muribeca

	Profundidade (m)	Coordenadas Geográficas
PS01	3,85	8°09'54,540''S e 34°59'1,644''W
PS02	3,60	8°10'4,656''S e 34°59'16,872''W
PS03	10,0	8°09'43,848''S e 34°59'14,316''W
PS04	9,0	8°09'38,592''S e 34°59'2,976''W
PS05 (Adm)	16,0	8°09'50,436''S e 34°58'47,028''W

Fonte: O Autor (2019).

A coleta de amostras de água dos poços artesianos foi transportada até o recipiente da coleta, utilizando uma bomba d'água e mangueira, e a conservação das amostras adotada foi referida no Guia de Coleta e Conservação de Amostras de Água do CETESB de 1986, qual teve sua edição revisada e atualizada em parceria com a Agência Nacional de Águas CETESB (2011). É importante ressaltar que o poço de monitoramento em questão está localizado próximo à administração e a aproximadamente cerca 5 metros da fossa séptica.

A NBR 13896/97, recomenda uma frequência de análise de todos os parâmetros a serem monitorados pelo menos quatro vezes ao ano, em cada poço, durante o período de vida ativa da instalação. As análises realizadas nas amostras são recomendadas a adoção dos procedimentos descritos no manual da Associação Americana de Saúde Pública, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998). Entre os parâmetros solicitados frequentemente pela OCA (Órgão de Controle Ambiental) resalta-se: pH, dureza, sólidos sedimentáveis, DQO, ferro, manganês, zinco e coliformes.

Os parâmetros adotados para o monitoramento ambiental das águas subterrâneas realizado nos poços artesianos do aterro da Muribeca, tendo por base os padrões de aceitação de consumo estabelecido pela Portaria N° 2.914/2011 do Ministério da Saúde, para águas destinadas ao consumo humano, como também parâmetros específicos estabelecidos para águas subterrâneas pela Resolução CONAMA N° 396/2008.

Para a avaliação dos parâmetros de monitoramento das águas subterrâneas do Aterro da Muribeca observados no presente estudo foram: DBO, DQO, pH, Turbidez, Cor, Condutividade elétrica, STD, Nitrogênio Amoniacal, Coliformes totais e termotolerantes.

### **3.2.8 Recomposição florestal da área**

No ano de 1995 foi iniciado o projeto de arborização, com a recomposição vegetal englobando toda a área que abrange a entrada do aterro, escritório da administração, creche, pátio de máquinas, com o plantio de mudas, cujas espécies utilizadas foram encontradas nas matas vizinhas, outras oriundas do descarrego de caminhões da podaçaõ urbana e outras cultivadas nas Sementeiras da Prefeitura do Recife (FATIMA, 1998).

Além disso, foi realizado o plantio do cinturão verde em toda a área ao redor do aterro, a principal função do cinturão é diminuir a emissão dos odores transportados pelo ar, é reduzir o impacto visual isolando a área de disposição de resíduos sólidos.

Projeto foi iniciado devido à exigência do Órgão de Controle Ambiental do Estado de PE, onde requeria uma compensação por parte da Prefeitura de realizar algo que pudesse minimizar os impactos ambientais, provocados pelos resíduos daquela área, como complemento do processo de biorremediação que já se encontrava em implantação. Além do plantio de mudas o projeto abrangia o plantio de gramíneas nos taludes que davam forma a célula 01 do projeto de biorremediação do aterro e com estabelecimento de canteiros de ajardinamento (FATIMA, 1998). A figura 25 apresenta o início das operações realizadas no plantio das gramíneas nos taludes e das mudas pertencentes ao reflorestamento.

Figura 25 - Plantio de gramíneas, plantio e manutenção das mudas do aterro da Muribeca no ano de 2010.



Fonte: GRS/ATEPE (2010).

A técnica mais simples utilizada no recobrimento imediato do solo é o plantio de espécies gramíneas. A técnica de plantio de mudas em módulos ou em linhas é utilizada no aterro da Muribeca, onde a reposição vegetal da área é heterogênea, o plantio de mudas é realizado de forma aleatória, diversas espécies de plantas (pioneiras, secundárias e clímaxes) em uma única etapa.

Em referência a avaliação da recomposição florestal do aterro da Muribeca, foi realizado um levantamento documental de caráter quantitativo da composição florística das espécies já plantadas até o período de análise do estudo, incluindo o cinturão verde de toda a área do aterro.

### 3.3 TRATAMENTOS DOS DADOS E ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A metodologia utilizada neste trabalho trata-se de uma pesquisa longitudinal retrospectiva, com base em um levantamento mediante a uma investigação documental, do comportamento e monitoramento ambiental do pós-encerramento do aterro da Muribeca, que atendia os municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes.

O tratamento dos dados é realizado após a obtenção dos dados recolhidos através dos relatórios técnicos de monitoramento cedidos pela administração do aterro, onde foram levantados nove anos de dados (período 2009-2018) que serão organizados em tabelas, analisados e trabalhados em gráficos e testes estatísticos através de softwares, verificando as conformidades segundo os parâmetros estabelecidos pelos órgãos ambientais vigentes. As interpretações destes dados são de extrema importância para verificar o cumprimento das condicionantes ambientais.

Carvalho (2003) conceitua que os dados gerados em estudos ambientais visam caracterizar e descrever um processo ou estado do meio ambiente atendendo várias finalidades como monitoração, remediação e pesquisa. No seu estudo a autora relata que de maneira geral, o processo ambiental pode ser caracterizado como complexo, multifacetado, não linear e dinâmico. Em regra, a realização dos estudos ambientais não é simples e a análise dos resultados analíticos não é trivial, mas requer conhecimento de sua natureza, do processo de medição e de técnicas estatísticas específicas.

O tratamento estatístico descritivo é a fase inicial de estudo dos dados coletados do monitoramento ambiental da Muribeca consistirá em apresentar os valores de mediana (Med), média ( $\bar{x}$ ) e o Desvio Padrão (DP) valor máximo valor mínimo e Coeficiente de Variação (CV). Para melhor interpretar os resultados foram gerados gráficos do estilo *Bloxplot*. Posteriormente, foi aplicada a Análise de Agrupamentos Hierárquicos (AAH) conhecida também como (*Cluster Analysis*). A avaliação possibilitará se as medidas adotadas estão sendo efetivas, com isto, discutiremos a partir das informações contidas no presente trabalho os principais monitoramentos ambientais realizados no Aterro da Muribeca descritos na tabela 13.

Tabela 13 - Tratamento estatístico realizados nos estudos do monitoramento ambiental do Aterro da Muribeca

Monitoramento Ambiental	Tratamentos Estatísticos
Vazão do Biogás	Gráfico da evolução da vazão média, correlação dos dados de vazão com o índice de precipitação pluviométrica.
Vazão do Lixiviado	Gráfico da evolução da vazão média, correlação dos dados de vazão com o índice de precipitação pluviométrica.
Lixiviado Bruto e Tratado	Estatística descritiva, Gráficos <i>Bloxplot</i> , Análise de Agrupamentos Hierárquicos (AAH).
Águas Superficiais e Subterrâneas	Estatística descritiva, Gráficos <i>Bloxplot</i> , Análise de Agrupamentos Hierárquicos (AAH).
Recomposição Florestal	Densidade absoluta (DA), Densidade relativa (DR), Comparação com o estudo realizado por De Fátima (1998), Estatística descritiva das espécies exóticas e nativas.

Fonte: O Autor (2019).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos os principais dados acerca do monitoramento ambiental realizado no Aterro da Muribeca. O estudo realizado procura demonstrar a evolução do comportamento dos parâmetros observados após o encerramento operacional das atividades do referido Aterro.

Os resultados foram divididos em quatro tópicos, com a finalidade de simplificar a interpretação dos mesmos, sendo eles: monitoramento da vazão do biogás, monitoramento do lixiviado bruto e tratado, monitoramento das águas superficiais e subterrâneas, controle do reflorestamento do Aterro da Muribeca.

### 4.1 ANÁLISES ESTATÍSTICAS DO MONITORAMENTO AMBIENTAL DA VAZÃO DO BIOGÁS

Os dados fornecidos sobre o monitoramento realizado nos drenos de gases do Aterro da Muribeca servirá de base para o entendimento dos processos de biodegradação que ocorre nos resíduos sólidos urbanos no interior do maciço. Neste estudo será possível acompanhar a evolução da emissão da vazão do biogás do pós-encerramento das atividades do Aterro da Muribeca, como também, avaliar como esta vazão vem se comportando ano após ano.

O monitoramento quantitativo do biogás gerado no Aterro deve ser realizado com o intuito de avaliar a quantidade de vazão de gás gerada, visto que os resultados podem determinar as fases do processo de degradação em que se encontra o maciço de resíduos, juntamente com o grau de estabilização do processo de degradação anaeróbia dos resíduos. O monitoramento do biogás do Aterro da Muribeca foi realizado semestralmente. Com isto, os dados de velocidade da vazão do biogás foram trabalhados em vazão médias semestrais. A tabela 14 apresenta os valores médios diários da vazão semestral do biogás nos drenos do Aterro da Muribeca. Os valores referentes ao primeiro semestre do ano de 2017 foram estimados a partir da média do semestre anterior (2016.2) e do seguinte (2017.2), corrigindo a incerteza dos valores da medição executada, uma vez que o equipamento utilizado apresentou diferença de leituras mais acentuadas, ocasionados por interferência de fortes ventos no horário de medição ou devido a problemas de calibração do equipamento.

Tabela 14 - Valores médios da vazão diária (m<sup>3</sup>/dia) do biogás nas células do aterro de 2011 a 2018.

Ano Células	2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017		2018	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1	S2	S1*	S2	S1	S2
C1	1,172	0,766	0,697	0,615	39,961	83,566	73,765	74,975	68,686	77,426	92,851	44,105	56,873*	69,640	67,318	92,851
C2	1,302	1,625	1,579	1,404	85,469	164,811	149,078	149,768	68,686	151,839	134,634	99,815	143,920*	188,025	78,923	150,883
C3	2,069	1,869	1,810	1,521	96,031	183,381	170,356	169,562	162,084	167,729	113,743	83,566	117,223*	150,880	109,100	192,666
C4	-	1,365	1,360	1,202	71,723	136,491	136,078	130,563	119,864	126,958	116,992	96,565	82,173*	67,781	57,568	82,637
C5	-	1,556	1,199	1,099	65,522	131,539	123,715	118,371	112,567	117,964	100,589	182,607	152,818*	123,028	106,779	97,494
C6	1,584	2,019	1,601	1,486	81,988	134,634	136,182	125,883	123,987	129,632	139,277	116,064	99,815*	83,566	69,638	134,634
C7	-	1,288	1,188	1,061	63,396	120,010	117,560	114,125	109,713	112,630	122,770	99,041	112,969*	126,897	108,842	72,217
C8	-	0,952	0,951	0,886	52,946	102,523	98,461	94,985	90,998	92,832	89,994	83,923	80,531*	77,138	70,353	71,066
C9	-	0,898	1,083	1,014	65,429	124,575	104,200	108,110	99,041	103,270	86,661	140,824	174,870*	208,915	198,082	109,873
V.M.Ds** (m <sup>3</sup> /dia)	1,532	1,370	1,274	1,143	69,163	131,281	123,266	120,705	106,181	120,031	110,835	105,168	113,466*	121,763	96,289	111,591

Fonte: O Autor (2019).

S1= 1º. Semestre. S2 = 2º. Semestre. (\*) Valores estimados. (V.M.Ds\*\*) Vazão Média Diária por Semestre (m<sup>3</sup>/dia).

Observa-se que nos primeiros anos (2011-2012) de monitoramento após o encerramento a vazão captada pelo sistema de coleta de gases era praticamente insignificante. Assim no ano de 2012, foi realizada a manutenção da camada de cobertura com solo silto-argiloso compactado e com espessura variando de 0,6 a 1 metro, e plantio de gramíneas. Estas obras de melhorias na camada de cobertura foram promovidas com o intuito de sanar o problema de emissões fugitivas. Após esta ação, foi possível observar que houve um aumento considerável na vazão do gás pelos drenos.

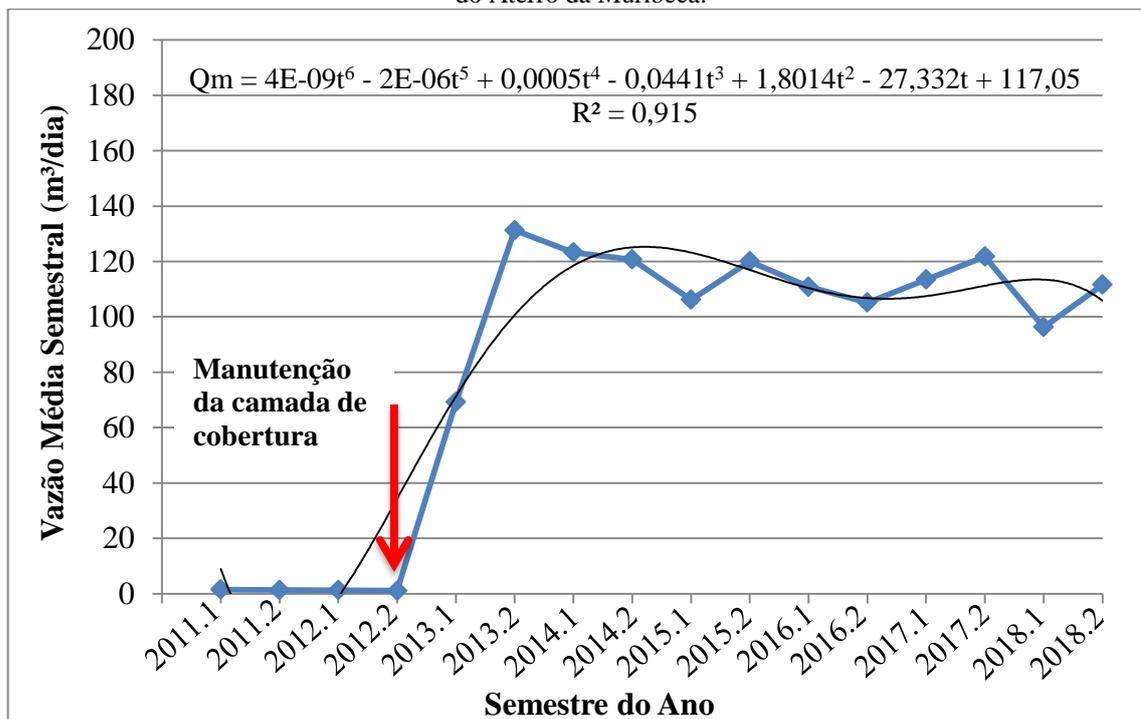
Pode-se ainda pressupor que a influência do plantio de gramíneas e do reflorestamento na camada de cobertura convencional possa reduzir as emissões de gases fugitivas pelo solo, uma vez que, o crescimento da vegetação contribua com a vedação dos espaços vazios do solo, os mantendo mais estáveis.

Observa-se que os maiores valores registrados no aterro foi no ano de 2014 cuja vazão média diária do biogás do Aterro estava em torno de 121,985 (m<sup>3</sup>/dia).

Para os anos observados as maiores vazões de gás registradas pelos drenos, estão localizadas nas antigas células C6, C4 e C3, estas duas últimas encerradas em 2009.

A Figura 26 ilustram os resultados obtidos da evolução temporal da vazão do biogás pelos drenos do Aterro da Muribeca.

Figura 26 - Representação gráfica da evolução da vazão média do monitoramento do biogás pós-encerramento do Aterro da Muribeca.



Fonte: O Autor (2019).

Baseado no gráfico acima se pode observar que após os 36 meses, referente ao segundo semestre de 2013 a vazão média diária da velocidade do gás medida nos drenos vem caindo gradativamente apresentando pequenas variações, seguindo uma tendência quase constante semestre após semestre de monitoramento observado. No 2º semestre de 2013 a vazão medida era de 131,281 m<sup>3</sup>/dia, no monitoramento realizado aos 96 meses referente ao segundo semestre de 2018 a velocidade registrada estava em torno de 111,591 m<sup>3</sup>/dia, uma redução de 15,0% entre o período analisado.

Nota-se também que o gráfico gerou uma equação monovariável do 6º grau foi o modelo matemático que mais se aproximou dos pontos que representa o fenômeno em estudo no diagrama. O coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), modelo estatístico ajustado linearmente generalizado, com a regressão linear, fornecendo uma informação auxiliar em referência aos valores observados, o (R<sup>2</sup> = 0,915) indica que o modelo proposto é mais adequado para descrever o fenômeno da vazão do biogás pelos drenos.

Diversos são os fatores que influenciam diretamente a geração de biogás nos aterros. A precipitação pluviométrica é considerada um dos principais fatores, uma vez que o aumento da umidade no interior do maciço de resíduos determina a velocidade de biodegradação, como também, possibilita o preenchimento dos poros da camada de cobertura, impedindo as emissões fugitivas. O monitoramento pluviométrico é realizado com o objetivo de quantificar as precipitações da região, onde se encontra localizado o aterro.

Os dados de monitoramento da vazão do biogás foram correlacionados com os índices pluviométricos, utilizando os índices registrados pela estação de monitoramento pluviométrica (Posto Cód. 268) da APAC, localizada em Duas Unas em Jaboatão dos Guararapes/PE. Como já mencionado, os dados de vazão de biogás foram obtidos semestralmente. Assim, os dados de precipitação foram organizados semestralmente para que fosse possível realizar análises que os correlacionem, as informações estão na tabela 15.

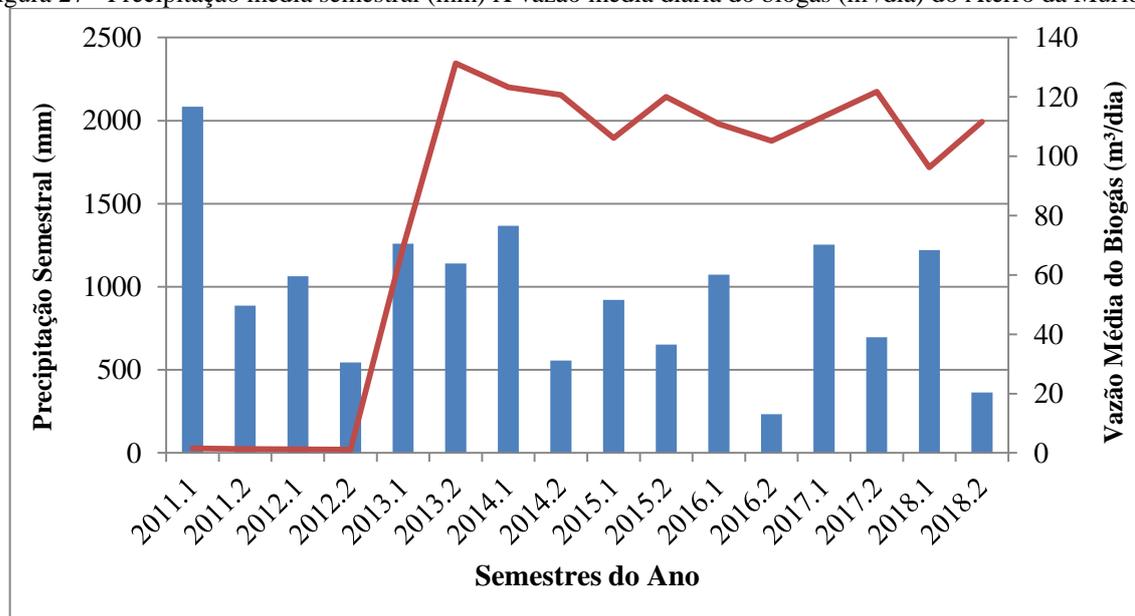
Tabela 15 - Precipitação média semestral acumulada da estação pluviométrica (mm) (Posto Cód. 268) Jaboatão dos Guararapes, localizada em Duas Unas.

Ano Semestres	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1º semestre	2083	1064,1	1259,0	1367,2	922,2	1074,0	1254,2	1221,0
2º semestre	887,0	545,5	1141,1	556,8	652,7	233,0	697,2	363,4

Fonte: O autor (2019), a partir da APAC.

O gráfico da Figura 27 apresenta a correlação da precipitação média semestral (mm), com a vazão média semestral do biogás emitido pelos drenos do Aterro da Muribeca.

Figura 27 - Precipitação média semestral (mm) X vazão média diária do biogás (m<sup>3</sup>/dia) do Aterro da Muribeca.



Fonte: O Autor (2019).

É possível observar que o primeiro semestre de cada ano coincide com os períodos de maiores índices de chuva na região. O ano de 2013 e o primeiro semestre de 2014 apresenta uma maior regularidade de chuva na região. Neste período ocorre um aumento na vazão do biogás liberado pelos drenos.

Nos demais períodos analisados, os picos de vazão do biogás observados corresponde sempre ao primeiro semestre de cada ano, onde são registrados os maiores índices acumulativos de precipitação. Com isto, pode-se sugerir que a vazão do biogás nos drenos ocorre com os maiores índices pluviométricos, onde a camada de cobertura fica saturada e não consegue ocorrer fluxo de gás, sendo este direcionando para os drenos.

Esses dados são importantes uma vez que nos períodos chuvosos ocorrem acentuados picos de vazão de biogás pelos drenos. Almeida (2016) elucida que esse efeito de picos após chuvas acumuladas ocorre de forma retardada, e que se alterna entre os períodos secos, após certo tempo da última grande precipitação.

Oliveira (2013) ressalta que os picos de vazão nos drenos podem acontecer por dois motivos: o primeiro relacionado ao excedente de água que entra na massa de resíduos culminando em uma maior atividade microbiana; e o segundo relacionado com a camada de cobertura, uma vez que nos períodos chuvosos, encontram-se bastante úmidas, e até mesmo

saturadas, impossibilitando a movimentação do biogás pela camada, facilitando o fluxo de biogás pelo sistema de drenagem.

#### 4.2 ANÁLISES ESTATÍSTICAS DO MONITORAMENTO AMBIENTAL DA QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO LIXIVIADO BRUTO E TRATADO DO ATERRO DA MURIBECA

Os dados concedidos do monitoramento ambiental realizado no lixiviado bruto e ratado do Aterro da Muribeca servirão para discussões que contribuirão para determinação da caracterização físico-química e microbiológica do lixiviado e bruto e tratado, bem como pelo monitoramento quantitativo realizado na vazão do lixiviado, e o comportamento nos anos estudados.

O monitoramento quantitativo do lixiviado consiste em medições das vazões que são realizadas com o intuito de controle na chegada da ETL do Aterro. O controle da vazão se faz necessário, tendo em vista de caracterizar a quantidade e a qualidade do lixiviado a serem tratados. O monitoramento do lixiviado no Aterro da Muribeca é realizado trimestralmente. As medições foram realizadas com certa frequência em diferentes períodos, sujeitos a diversas condições climáticas. A tabela 16 a seguir apresenta os valores médios da vazão trimestral do lixiviado do Aterro da Muribeca.

Tabela 16 - Vazão média diária do lixiviado (m<sup>3</sup>/dia) do Aterro da Muribeca de 2010 a 2018

Ano Trimestres	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1° tri	333,84	580,32	275,52	80,16	337,75	154,19	73,1	-	813,05
2° tri	568,56	758,4	398,64	62,48	494,3	207,78	274,46	623,3	-
3° tri	654,0	359,52	398,16	-	334,39	535,51	198,13	859,24	-
4° tri	235,92	292,56	112,32	262,28	702,94	85,75	34,56	278,92	-

Fonte: O Autor (2019).

Pode-se observar que as maiores vazões registradas no pós-encerramento do aterro foram no segundo trimestre de 2010.2 (568,56 m<sup>3</sup>/dia) e 2011.2 (758,4 m<sup>3</sup>/dia), no segundo e quarto trimestre 2014.2 (494,3 m<sup>3</sup>/dia) e 2014.4 (702,94 m<sup>3</sup>/dia), terceiro trimestre de 2015.3 (535,51 m<sup>3</sup>/dia), no segundo e terceiro trimestre 2017.2 (623,3 m<sup>3</sup>/dia) e 2017.3 (859,24 m<sup>3</sup>/dia), como também no último registro medido da vazão do lixiviado no primeiro trimestre de 2018.1 (813,05 m<sup>3</sup>/dia).

Observa-se ainda na tabela 16 que as maiores vazões registradas no monitoramento quantitativo do lixiviado do aterro estão concentradas entre o segundo e o terceiro trimestre de cada ano, coincidindo com o período em que se inicia a estação chuvosa da região. As vazões aferidas devem ser correlacionadas com os dados pluviométricos da região, no intuito de se averiguar a estimativa de geração dos líquidos lixiviáveis, considerando a variação sazonal durante o ano.

Os dados pluviométricos utilizados para a correlação com a vazão do lixiviado, são da estação de monitoramento pluviométrica (Posto Cód. 268) da APAC, localizada em Duas Unas em Jaboatão dos Guararapes/PE. Os dados de precipitação foram organizados trimestralmente para que fosse possível realizar a correlação, com os dados de vazão trimestral do lixiviado, as informações estão na tabela 17.

Tabela 17 – Precipitação média trimestral\* acumulada da estação pluviométrica (mm) (Posto Cód. 268) Jaboatão dos Guararapes, localizada em Duas Unas.

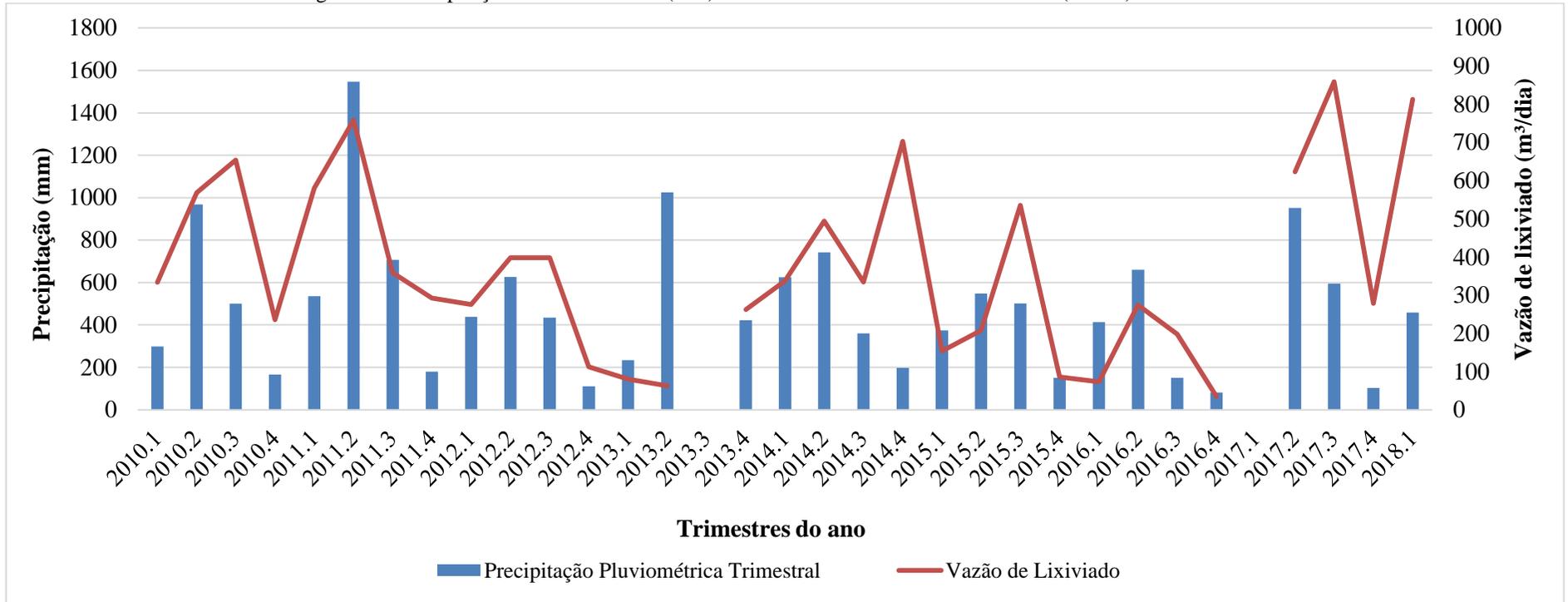
Ano Trimestres	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1º tri	297,9	536,0	438,0	233,8	625,3	374,3	413,6	302,7	458,2
2º tri	968,2	1547,0	626,1	1025,2	741,9	547,9	660,4	951,5	762,8
3º tri	500,0	707,0	434,9	718,7	359,7	501,9	151,1	594,3	198,8
4º tri	166,0	180,0	110,6	422,4	197,1	150,8	81,9	102,9	164,6

Fonte: O autor (2019).

\*Dados obtidos da APAC.

A correlação da precipitação média trimestral (mm), com a vazão média trimestral do lixiviado do Aterro da Muribeca, encontra-se no gráfico da figura 28. O estudo observa a variação entre a vazão do lixiviado bruto que sai do maciço de resíduos e chega a ETL, e a influência das variações da precipitação pluviométrica na vazão do lixiviado gerado no aterro, uma vez que a quantidade de água que infiltra e percola no maciço de resíduos devido às altas precipitações são extremamente relevantes na decomposição dos resíduos e no potencial aumento do volume dos líquidos lixiviáveis.

Figura 28 - Precipitação média trimestral (mm) X vazão média trimestral do lixiviado (m³/dia) do Aterro da Muribeca



Fonte: O Autor (2019).

No gráfico da figura 28, observa-se que o segundo e terceiro trimestre de cada ano coincide com o período chuvoso da região. É evidente que o aumento da vazão do lixiviado é influenciado pela precipitação pluviométrica, uma vez que nos períodos chuvosos ou após, são registrados os maiores picos de vazão do lixiviado, e nos períodos de estiagem há uma diminuição do volume produzido.

Observa-se que as maiores médias trimestrais dos anos estudados para a vazão do lixiviado são para o segundo trimestre do ano de 2014.2 e terceiro trimestre 2017.3. Já para as médias trimestrais de precipitação registradas são para o segundo trimestre dos anos de 2011.2 e 2013.2. Com relação ao pico de vazão registrado no segundo trimestre do ano de 2014.2 é justificado, uma vez que a média da vazão diária registrada para aquele trimestre do ano citado foi bastante elevada, coincidindo com o período chuvoso daquele ano. Desta forma, pode-se sugerir a influência dos maiores índices registrados da precipitação pluviométrica com a maior contribuição na produção da vazão do lixiviado que chega a ETL do Aterro da Muribeca.

#### **4.2.1 Análise da estatística da qualidade do lixiviado bruto e tratado (2009 – 2013 1º trimestre)**

Dando sequência neste estudo, será possível observar os principais parâmetros analisados no controle tanto da qualidade do lixiviado bruto, quanto do tratado. Os dados obtidos serão abordados em dois momentos na discussão dos resultados, inicialmente será trabalhado o período em que o lixiviado bruto era tratado pelo sistema de lagoas na ETL da Muribeca, referente ao período de 2009 ao 1º trimestre de 2013, e o segundo momento quando o lixiviado bruto passou a tratar-se pelo sistema da CTR-Candeias.

Para os resultados obtidos do monitoramento realizado da caracterização física, química e microbiológica do lixiviado bruto do Aterro da Muribeca, estes resultados servirão para a compreensão dos processos da evolução da composição do lixiviado bruto do referido aterro.

Foi realizada uma análise da estatística descritiva para o tratamento dos dados, técnica utilizada para descrever sintetizar um conjunto de dados, para melhor compreensão dos dados obtidos, os mesmos serão apresentados graficamente pelo tipo *Bloxplot* onde é possível observar os valores mínimos e máximos, como também a evolução anual dos parâmetros estudados.

Por último foi realizada a técnica classificatória multivariada, consistindo em agrupamentos homogêneos por meio de coeficientes de similaridades, agrupando em um número conveniente as observações que apresentem a mesma relação de comportamento. A análise de agrupamentos hierárquicos (*Cluster Analysis*) permite classificar o objeto de estudo em grupos homogêneos com base nas características similares ou não, do mesmo modo que é possível analisar por meio do método estatístico, se os anos observados na qualidade do lixiviado representam semelhanças entre si no comportamento ou são diferentes dos demais.

A tabela 18 apresenta a análise da estatística descritiva dos parâmetros qualitativos do lixiviado bruto do Aterro da Muribeca, entre o ano de 2009 ao 1º trimestre de 2013, os resultados podem ser observados abaixo.

Tabela 18 - Análise da estatística descritiva das médias da qualidade do lixiviado bruto referente ao período de (2009 – 2013 1º trimestre) do Aterro da Muribeca

Parâmetros	Média	Mediana	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo	Coefficiente de variação (%)	Conama nº 430/2011
DBO (mg/L)	98,17	30,08	152,10	400,22	10	154,93	Remoção 60%
DQO (mg/L)	2864,36	2656,56	1021,30	4512,77	1733,33	35,66	-
DBO/DQO	0,49	0,51	0,16	0,72	0,28	33,05	-
Sólidos Totais (ST)	7791,68	7630,67	1640,91	9709,33	5466,17	21,06	-
Sólidos Totais Voláteis (STV)	1878,47	2038,44	356,08	2169,33	1289,67	18,96	-
STV/ST	0,22	0,22	0,03	0,28	0,18	15,60	-
Sólidos Dissolvidos Totais (STD)	7244,91	7039,25	1358,41	8584,00	5224,87	18,75	-
Sólidos Dissolvidos Voláteis (SDV)	1479,11	1514,00	297,35	1859,56	1070,00	20,10	-
SDV/SDT	0,20	0,18	0,05	0,27	0,13	26,06	-
Sólidos Suspensos Totais (SST)	778,64	659,88	213,10	1125,33	609,08	27,37	Remoção 20%
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	439,27	469,92	102,70	576,00	309,78	23,38	-
SSV/SST	0,69	0,70	0,06	0,78	0,62	8,64	-

Parâmetros	Média	Mediana	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo	Coefficiente de variação (%)	Conama nº 430/2011
pH	8,30	8,38	0,21	8,53	8,04	2,52	5 a 9
Alcalinidade	6298,68	6228,63	1374,92	8472,33	4741,11	21,83	-
Turbidez (NTU)	36,08	27,12	22,06	71,74	17,18	61,16	-
Cor (Hazen)	10236,74	6414,00	8726,27	24251,25	3265,22	85,24	-
Condutividade	16,86	16,95	3,82	21,22	11,03	22,66	-
Coliformes Totais (NMP/100ml)	1,76E+07	1,69E+07	1,28E+07	3,61E+07	7,47E+04	72,43	-
Coliformes Fecais (NMP/100ml)	4,25E+06	2,01E+06	6,95E+06	1,65E+07	6,47E+04	163,33	-

Fonte: O Autor (2019).

(-) Não dispõe de informação.

Os valores exibidos na tabela anterior representa a média dos parâmetros observados em quatro anos de monitoramento (2009 – 2013 1º trimestre). Observa-se na tabela uma média elevada da maioria dos parâmetros observados, resultado da alta complexidade da composição recalcitrante do lixiviado bruto. O parâmetro de cor apresenta uma média acima de 10.000, à coloração escura do efluente se dá muito em função das características do lixiviado em função de sua sazonalidade, assim como elevadas concentrações dos parâmetros que avalia a matéria orgânica. As altas concentrações observadas nos valores médios podem estar relacionadas com o processo de biodegradação do resíduo, visto que o aterro foi encerrado no ano de 2009, e a composição do lixiviado nos anos seguintes apresentaram valores médios de aterros jovens, podendo estar associado com a decomposição dos resíduos dispostos nas últimas células encerradas.

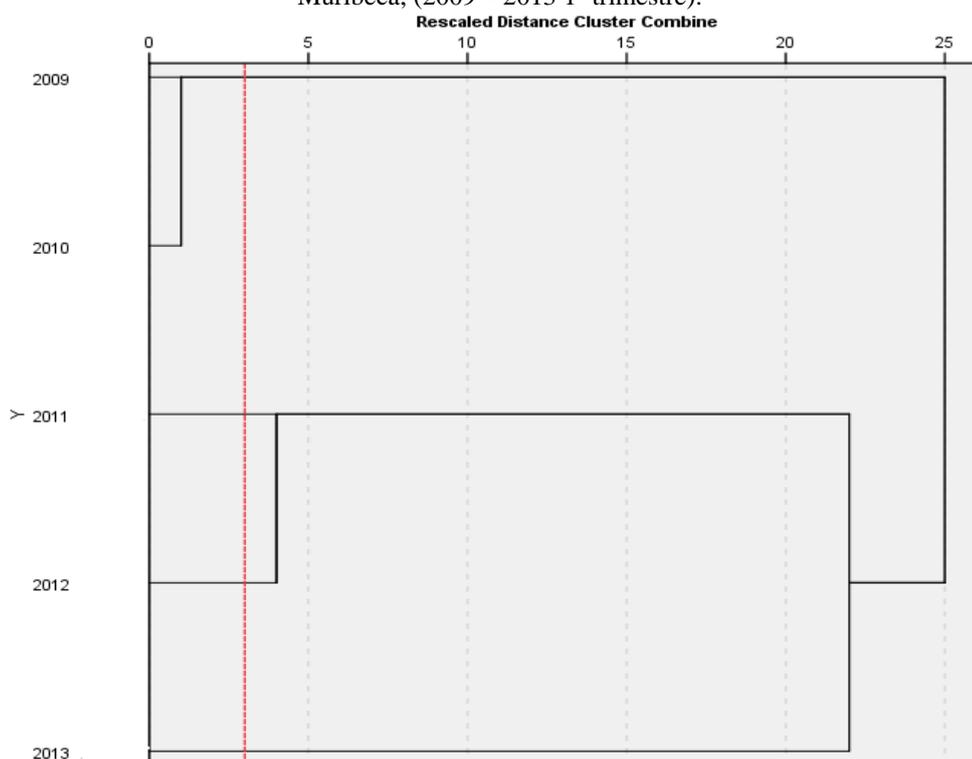
O coeficiente de variação (CV) é a capacidade de relacionar os resultados obtidos, em principais variáveis-resposta, para estabelecer faixa de classificação que orientem a precisão dos dados da pesquisa. Uma forma de expressar a variabilidade dos dados através do Coeficiente de Variação em relação à média, estabelecendo faixas de concentrações. Para este estudo foi considerado o coeficiente de variação proposto por Pimentel-Gomes (2009), onde as faixas de concentrações são classificadas da seguinte forma: baixa (CV% < 10%), média (CV% entre 10% e 20%), alta (CV% entre 20% e 30%) e muito alta (CV% > 30%). Analisando a tabela 18, apenas os parâmetros de pH e Alcalinidade encontram-se na faixa

abaixo dos 10%, considerando com o conjunto de dados mais homogêneo. Os parâmetros de DBO, relação DBO/DQO, Turbidez, Cor, Coliforme Total e Termotolerante, apresentaram variação muito alta, o que representa um conjunto de dados mais heterogêneos. A maior parte dos parâmetros apresentou variação média e alta indicando um conjunto de dados dispersos razoavelmente homogêneo.

Com o intuito de evidenciar a formação de grupos com características similares, foi realizada também a análise de agrupamentos. Para esta análise foram utilizados os parâmetros de DQO, DQO, Alcalinidade, pH, Cor, Turbidez, ST, STD, SST, Coliformes totais e termotolerantes, na caracterização do lixiviado bruto do Aterro da Muribeca em referência ao período (2009 – 2013 1º trimestre).

A figura 29 apresenta o dendrograma, um gráfico que apresenta uma estrutura resumida obtida a partir dos dados analisados por ano de monitoramento realizado para a qualidade do lixiviado bruto do Aterro da Muribeca, durante o período de (2009 – 2013 1º trimestre). Estes resultados representam a sazonalidade dos parâmetros analisados por ano de monitoramento. O dendrograma agrupa os anos de monitoramento observados em grupos, nos quais estão associados os anos/médias que mais se assemelha, o mesmo foi arbitrado em três, o que determina o nível de similaridade maior.

Figura 29 - Dendrograma do Lixiviado bruto do monitoramento ambiental do pós-encerramento do Aterro da Muribeca, (2009 – 2013 1º trimestre).



Fonte: O Autor (2019).

A análise de agrupamentos do comportamento dos parâmetros observados para o monitoramento do lixiviado bruto do Aterro da Muribeca resultou em uma classificação de similaridade em grupos, nos quais estão associados os anos/médias que mais se assemelham. No dendrograma da figura 29 é possível observar a formação de quatro grupos de similaridade, onde o primeiro grupo formado pelos primeiros anos (2009-2010) de monitoramento apresentou pouca alternância entre os parâmetros observados, evidenciando a pouca variação entre os anos. A semelhança entre os anos pode ser compreendida, devido serem os mais recentes após o encerramento das atividades operacionais do aterro. Os demais anos não apresentam semelhanças entre si, portanto, sendo distintos, resultados da evolução dos parâmetros observados.

#### 4.2.1.1 Lixiviado Tratado (2009 – 2013 1º trimestre).

Os dados fornecidos do monitoramento ambiental realizado no controle do tratamento do lixiviado do Aterro da Muribeca servirão para análise do controle com relação ao tratamento adotado, os dados seguirão a mesma linha descrita para o lixiviado bruto, inicialmente serão trabalhados os dados de tratamento realizado pelo sistema de lagoas facultativas da ETL da Muribeca, compostas por três lagoas facultativas, uma anaeróbia, uma lagoa de decantação e um sistema bioquímico, para o período (2009 – 2013 1º trimestre).

Para os estudos realizados nos resultados fornecidos do monitoramento realizado na caracterização física, química e microbiológica do lixiviado do Aterro da Muribeca, servirão para entender os melhores tratamentos aplicados aos lixiviados de aterros encerrados.

Foram aplicados tratamentos estatísticos descritivos para resumir e melhor compreender o conjunto de dados obtidos, alguns parâmetros serão representados graficamente pelo estilo *Bloxplot*, além disso, foi realizada a técnica multivariada de agrupamentos homogêneos, observando a semelhança entre as médias dos parâmetros entre os anos de monitoramento estudado.

A tabela 19 seguinte apresenta a análise de estatística descritiva dos parâmetros qualitativos do lixiviado tratado do Aterro da Muribeca, entre o ano de 2009 ao 1º trimestre de 2013.

Tabela 19 - Análise da estatística descritiva das médias da qualidade do lixiviado tratado referente ao período de (2009 – 2013 1º trimestre) do Aterro da Muribeca.

Parâmetros	Média	Mediana	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo	Coefficiente de variação (%)	Conama nº 430/2011
DBO (mg/L)	1052,06	1032,27	248,79	1427,78	728,57	23,65	Remoção 60%
DQO (mg/L)	2041,30	2039,44	622,33	2817,57	1129,23	30,49	-
DBO/DQO	0,57	0,53	0,14	0,73	0,39	23,93	-
Sólidos Totais (ST)	7082,91	7776,42	2144,07	8725,00	3472,13	30,27	-
Sólidos Totais Voláteis (STV)	1874,70	1773,50	717,09	3010,67	1117,67	38,25	-
STV/ST	0,58	0,26	0,77	1,96	0,16	132,65	-
Sólidos Dissolvidos Totais (STD)	6742,54	7670,33	1872,17	8296,44	3636,81	27,77	-
Sólidos Dissolvidos Voláteis (SDV)	1580,13	1383,94	1052,54	3375,33	637,39	66,61	-
SDV/SDT	0,20	0,19	0,05	0,28	0,14	27,38	-
Sólidos Suspensos Totais (SST)	735,24	629,22	204,47	1054,67	558,83	27,81	Remoção 20%
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	397,66	396,67	152,10	641,33	250,67	38,25	-
SSV/SST	0,67	0,63	0,08	0,78	0,59	12,29	-
pH	8,39	8,52	0,26	8,59	7,98	3,05	5 a 9
Alcalinidade	3314,33	3241,67	450,83	3998,29	2909,08	13,60	
Turbidez (NTU)	106,34	81,72	83,62	249,51	36,89	78,64	-
Cor (Hazen)	5104,75	4905,20	2631,18	8786,67	2409,42	51,54	-
Condutividade	132,87	11,78	270,69	617,09	9,29	203,72	-
Coliformes Totais (NMP/100ml)	4,17E+06	2,09E+06	6,57E+06	1,58E+07	1,67E+04	157,56	-
Coliformes Fecais (NMP/100ml)	4,78E+05	8,53E+04	9,31E+05	2,14E+06	5,00E+03	194,55	-

Fonte: O Autor (2019).

(-) Não dispõe de informação.

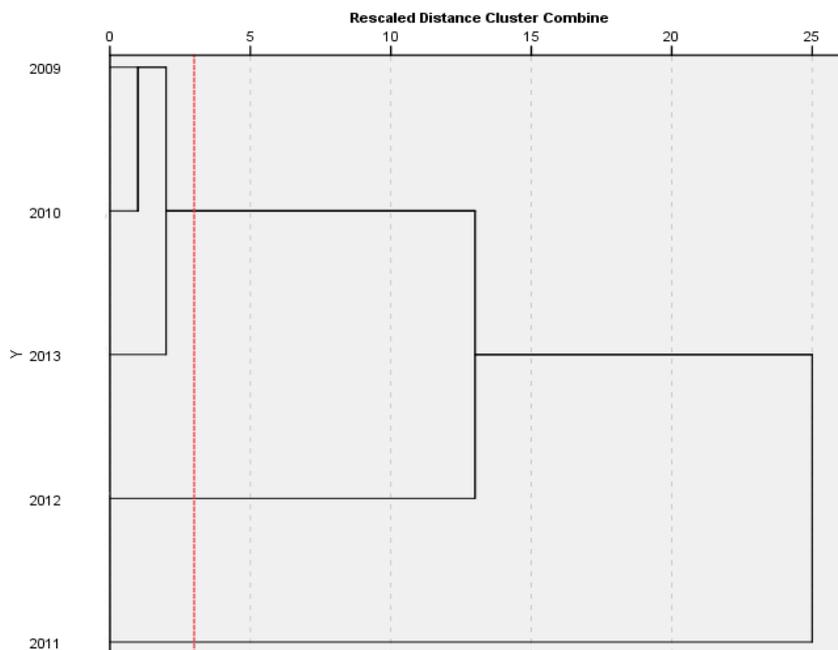
O tratamento descritivo da tabela acima avalia a eficiência do sistema de lagoas processo de tratamento adotado para o lixiviado do Aterro da Muribeca. Observa-se que as médias apresentam-se bastante elevadas em grande parte dos parâmetros. Os resultados obtidos relatam que o sistema convencional de lagoas não é o mais indicado para a remoção da matéria orgânica presente no lixiviado de aterros mais antigos. Amaral (2009) ressalta que o tratamento biológico para aterros estabilizados, não é recomendado, uma vez que os mesmos apresentam muitos compostos orgânicos recalcitrantes de difícil degradação, sendo recomendado utilizar o tratamento físico-químico para que se possam alcançar os rigorosos padrões de lançamento.

Para expressar a variabilidade do Coeficiente de Variação, com valores de CV% abaixo dos 10% apenas o pH apresentou poucas variações entre os anos observados, sendo o parâmetro com o conjunto de dados analisados mais homogêneo. A relação SSV/SST e o parâmetro de Alcalinidade encontram-se na faixa média, apresentando pouca dispersão na variação dos dados. Os parâmetros de DBO, relação DBO/DQO, STD, relação SDV/SDT e SST, apresentaram variação alta, o que representa um conjunto de dados mais dispersos. A maior parte dos parâmetros apresentou acima da faixa de concentrações estabelecidas muito alta > 30%, indicando um conjunto de dados de alta dispersão mais heterógenos.

Essa alta variação pode ser compreendida em função das alterações ocorrida nos parâmetros em decorrência do envelhecimento do efluente lixiviante com o passar dos anos. O tratamento do lixiviado mais velho pelo sistema adotado resultou em uma menor remoção de alguns parâmetros ocasionando uma maior variação entre eles, indicado pelo CV.

Foi realizada a análise estatística multivariada de agrupamentos, onde identifica grupos homogêneos nos dados observados, referente aos anos/médias que mais se assemelha. Na análise multivariada o dendrograma aponta de forma resumida, a formação de grupos. Assim como, no lixiviado bruto os parâmetros de DBO, DQO, Alcalinidade, Cor, pH, Turbidez, Condutividade, ST, STD, SST, Coliformes totais e termotolerantes, foram utilizado para análise estatística, das características do monitoramento do qualitativo do tratamento realizado no lixiviado tratado do Aterro da Muribeca, referente ao período de (2009 – 2013 1º trimestre), presentes no dendrograma da figura 30

Figura 30 - Dendrograma do lixiviado tratado do monitoramento ambiental do pós-encerramento do Aterro da Muribeca, (2009 – 2013 1º trimestre).



Fonte: O Autor (2019).

Na análise de agrupamento do lixiviado tratado do aterro da Muribeca referente ao período (2009 – 2013 1º trimestre), tem-se a formação de três grupos de similaridade. O primeiro grupo formado pelos primeiros dois anos de monitoramento (2009-2010), significando que os primeiros anos de tratamento, a remoção do poluente apresentava o mesmo comportamento de remoção, assim como os resultados do 1º trimestre de 2013, apresentando semelhanças de tratamento entre alguns dos parâmetros observados. Os demais anos observados não apresentaram semelhanças, portanto sendo, distintos dos demais.

Fazendo uma análise comparativa entre os dendrogramas do lixiviado bruto figura 29 e tratado figura 30 referentes ao período (2009 – 2013 1º trimestre), do aterro da Muribeca, pode-se observar que o comportamento do lixiviado bruto apresentou semelhanças apenas nos anos 2009-2010, muito em função do recente encerramento da operação do aterro. Entretanto, quando partimos para uma análise comparativa entre o tratamento do lixiviado os dois anos, ainda apresentam semelhanças na remoção dos poluentes, o dado do primeiro trimestre apresenta característica de tratamento semelhante aos anos iniciais do estudo.

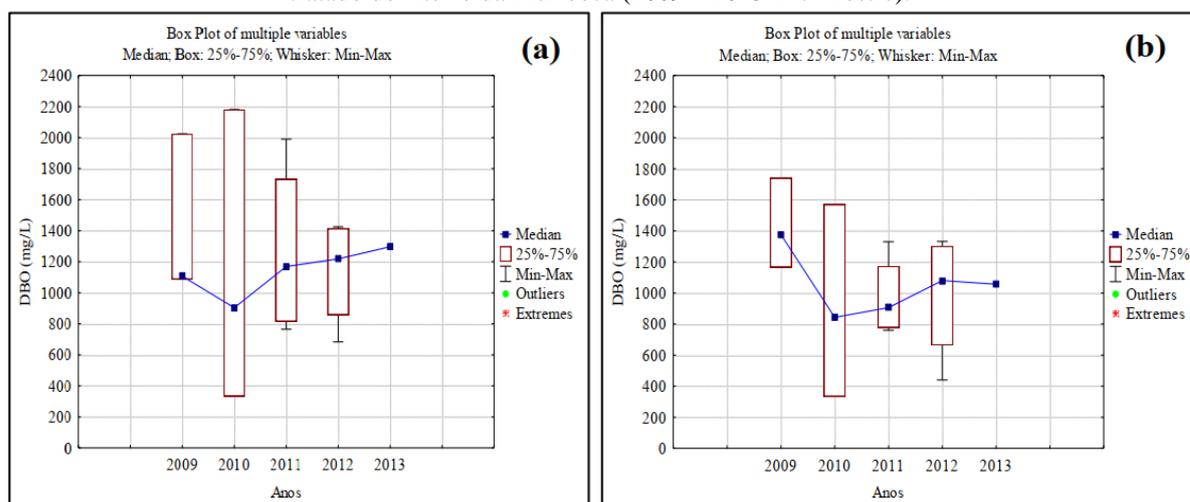
Em sequência as análises estatísticas, o gráfico *Bloxplot* foi utilizado para representar graficamente alguns dos principais parâmetros analisados na caracterização do monitoramento ambiental realizado no lixiviado bruto e tratado do Aterro da Muribeca, referente ao período de (2009 – 2013 1º trimestre). Vale ressaltar que o monitoramento do lixiviado tratado é

referente ao sistema de lagoas da ETL da Muribeca. Na estatística descritiva o *Bloxplot* identifica onde estão localizados 50% dos valores mais prováveis, dos parâmetros estudados.

Na estatística descritiva o *Bloxplot* ou diagrama de extremos é uma ferramenta gráfica utilizada para representar a variação dos dados analisados. O *Bloxplot* identifica onde estão localizados 50% dos valores mais prováveis, a mediana dos parâmetros e os valores extremos máximos e mínimos.

As figuras 31(a) bruto e 31(b) tratado representam graficamente com o *Bloxplot* o parâmetro DBO (mg/L) na caracterização do lixiviado bruto e tratado.

Figura 31 – Gráfico Bloxplot para o parâmetro de DBO (mg/L), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2009 – 2013 1º trimestre).

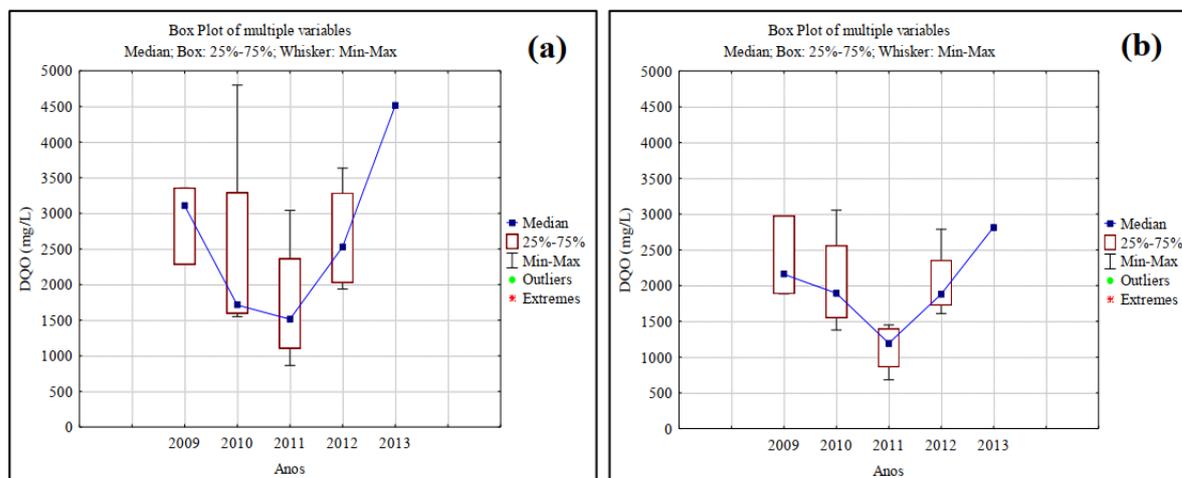


Fonte: O Autor (2019).

A análise de DBO geralmente é utilizada para avaliar a eficiência do processo de tratamento biológico do efluente. A eficácia do processo de tratamento é determinada pela concentração medida no efluente bruto e tratado, onde se avalia a quantidade de matéria orgânica que está sendo removida ao longo do tratamento. Para os dados apresentados figura 31, na evolução do parâmetro DBO tanto bruto quanto o tratado, observa-se que o processo de remoção da matéria orgânica do lixiviado bruto no tratamento do efluente, não está sendo eficiente. Visto que, a remoção do efluente tratado em comparação com o bruto é insignificante, a DBO residual ainda presente no efluente comprometerá os níveis de oxigênio dissolvido no corpo receptor, ocasionando impacto ainda maior.

As figuras 32(a) bruto e 32(b) tratado representam graficamente com o *Bloxplot* o parâmetro DQO (mg/L) na caracterização do lixiviado bruto e tratado.

Figura 32 – Gráfico Bloxplot para o parâmetro de DQO (mg/L), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2009 – 2013 1º trimestre).

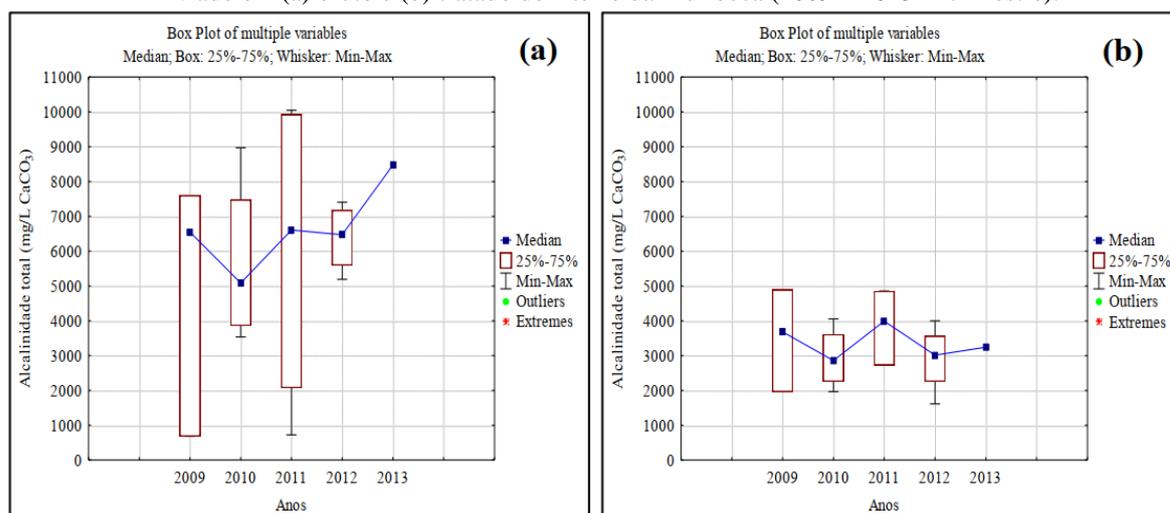


Fonte: O Autor (2019).

A análise da DQO diferente da DBO avalia o consumo de oxigênio dissolvido, por agentes químicos oxidantes em meio ácido que resulta na degradação da matéria orgânica, sendo ela biodegradável ou não. Observa-se no gráfico da figura 32 que a remoção da DQO no efluente tratado em comparação com o bruto é insuficiente, a parcela orgânica presente no efluente ainda é muito elevada após o tratamento das lagoas biológicas. Se o processo de tratamento utilizado não reduzir em grande quantidade a matéria orgânica do efluente antes de chegar ao corpo receptor, como consequência ocorrerá a eutrofização do ambiente aquático.

As figuras 33(a) bruto e 33(b) tratado representam graficamente com o *Bloxplot* o parâmetro Alcalinidade total (mg/L CaCO<sub>3</sub>) na caracterização do lixiviado bruto e tratado.

Figura 33 – Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Alcalinidade total (mg/L CaCO<sub>3</sub>), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2009 – 2013 1º trimestre).

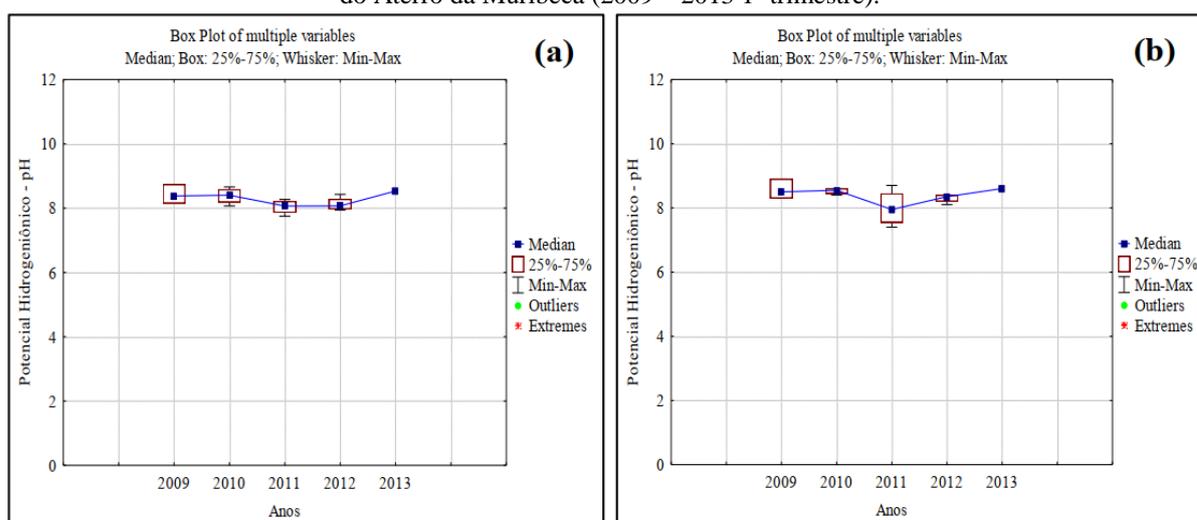


Fonte: O Autor (2019).

A análise de Alcalinidade é utilizada para mediar à capacidade dos íons presentes no efluente neutralizar ácidos. Observam-se no gráfico acima os níveis de remoção do efluente tratado em comparação com o bruto, o primeiro trimestre de 2013 apresentou a maior remoção observada no estudo cerca de 61,7% da Alcalinidade total presente no efluente bruto, o parâmetro representa ainda a capacidade que o lixiviado têm em resistir a possíveis variações do pH. A alcalinidade possui uma relação direta com o pH e o teor de ácidos voláteis, determinando o sistema ácido/base, devendo manter uma relação de equilíbrio químico satisfatório entre os microrganismos presentes na degradação.

O pH Conforme já mencionado anteriormente é um indicador extremamente importante, utilizado para expressar o grau de acidez ou basicidade do efluente bruto e tratado. As figuras 34(a) bruto e 34(b) tratado representam graficamente com o *Bloxplot* o parâmetro pH na caracterização do lixiviado bruto e tratado.

Figura 34 – Gráfico Bloxplot para o parâmetro de pH, na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2009 – 2013 1º trimestre).

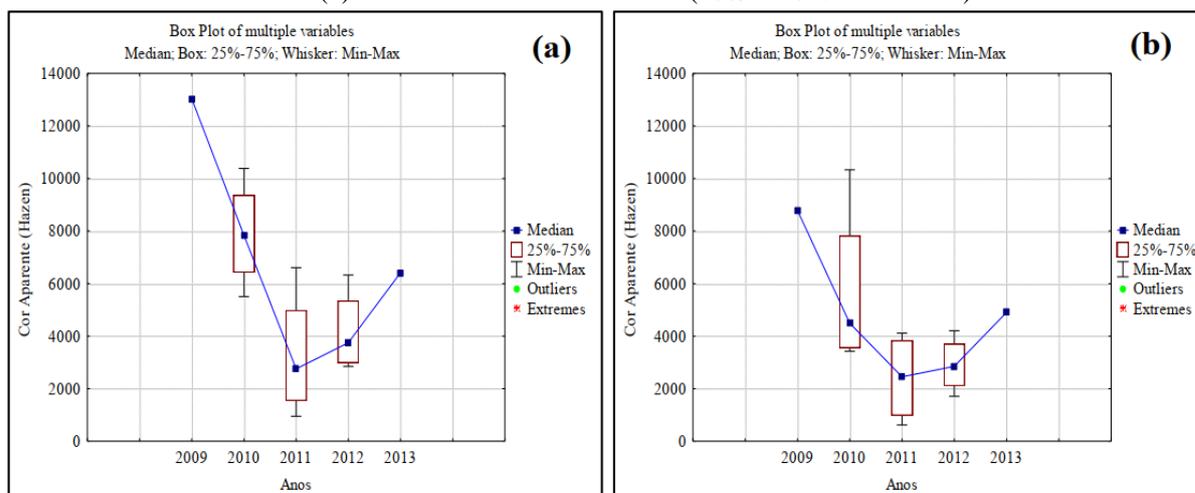


Fonte: O Autor (2019).

O pH elevado observado nos gráficos acima, são característicos dos lixiviados velhos dos aterros encerrados. Observa-se ainda que o pH encontra-se na faixa neutra a alcalino, entre 7,4 – 8,9 tanto para o bruto quanto para o tratado. Coincidindo com a faixa elaborada por Souto e Povinelli (2007), na tabela 7, entre 7,2 – 8,6 características mais prováveis do lixiviado de aterros brasileiros.

As figuras 35(a) bruto e 35(b) tratado representam graficamente com o *Bloxplot* o parâmetro Cor Aparente (Hazen) na caracterização do lixiviado bruto e tratado.

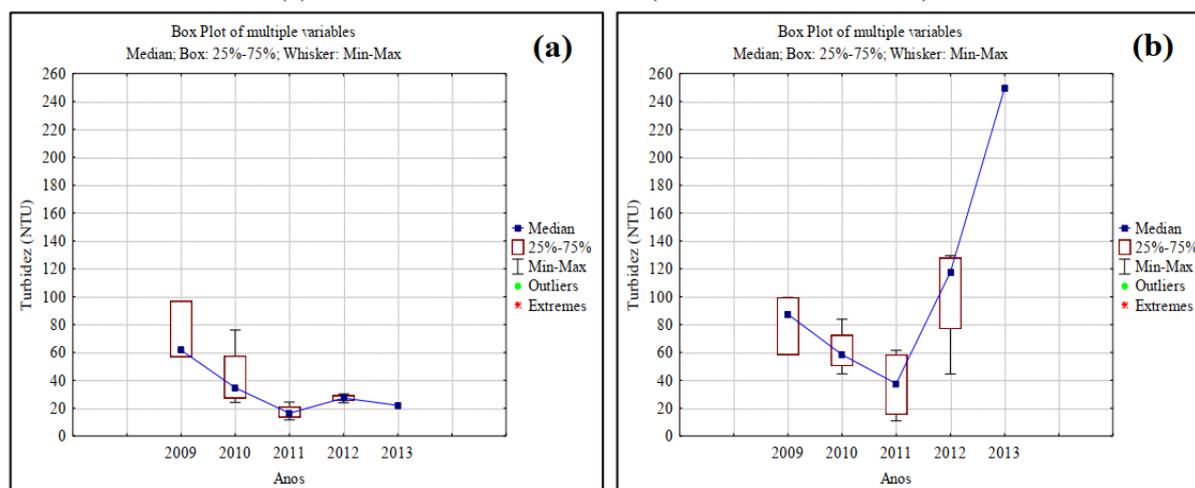
Figura 35 – Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Cor Aparente (Hazen), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2009 – 2013 1º trimestre).



Fonte: O Autor (2019).

O lixiviado é o efluente bastante recalcitrante, dificultando a degradação de algumas substâncias químicas na natureza. A alta carga orgânica dos compostos e o excesso de sólidos dissolvidos contribuem significativamente para a coloração escura do lixiviado, alta recalcitrância e baixa biodegradabilidade. Observa-se no gráfico da figura 35, que a remoção da cor do efluente tratado é de cerca de 23,52% em comparação com o bruto, sendo insuficiente. A hipótese para a baixa remoção da cor no sistema biológico seria a influência do pH. A cor é sensível ao pH e a sua remoção ocorre mais facilmente em pH baixo (ácido). As figuras 36(a) bruto e 36(b) tratado representam graficamente com o *Bloxplot* o parâmetro Turbidez (NTU) na caracterização do lixiviado bruto e tratado.

Figura 36 – Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Turbidez (NTU), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2009 – 2013 1º trimestre).

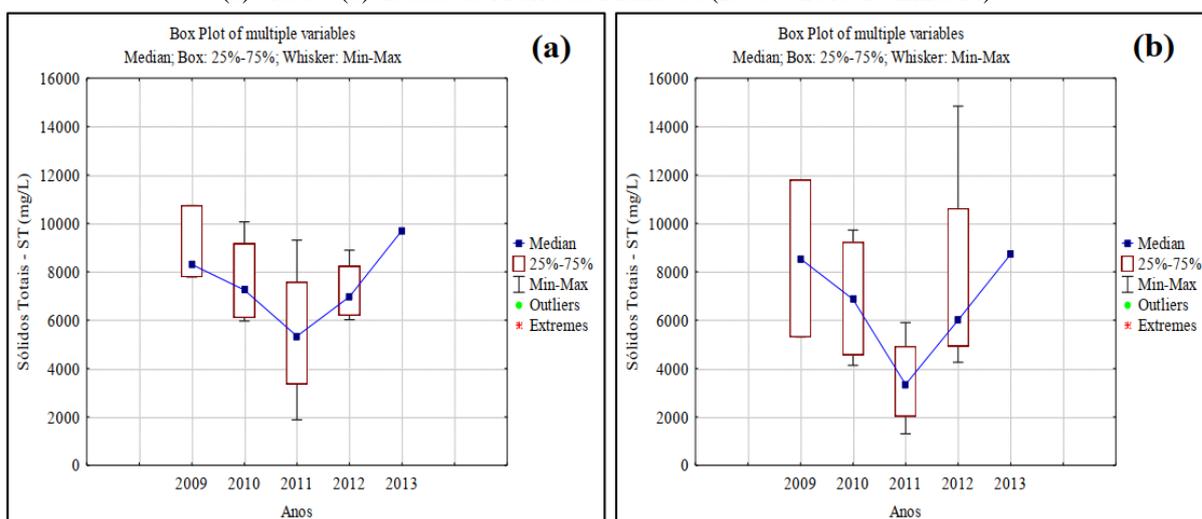


Fonte: O Autor (2019).

Nos gráficos da figura 36 observa-se que o parâmetro de turbidez apresentou valores acima do superior permitido pelos padrões de referência, no efluente tratado em relação ao efluente bruto. Isto ocorre devido à variedade de materiais sólidos em suspensão presente no lixiviado, excesso de matéria orgânica que contribuem para a coloração mais escura do lixiviado. A presença dessas partículas ocasiona a dispersão e adsorção diminuindo a entrada da luz, influenciando diretamente o valor de saturação do oxigênio dissolvido, aumentando a turvação do efluente.

As figuras 37(a) bruto e 37(b) tratado representam graficamente com o *Bloxplot* o parâmetro Sólidos Totais - ST (mg/L) na caracterização do lixiviado bruto e tratado.

Figura 37 – Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Sólidos Totais – ST (mg/L), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2009 – 2013 1º trimestre).

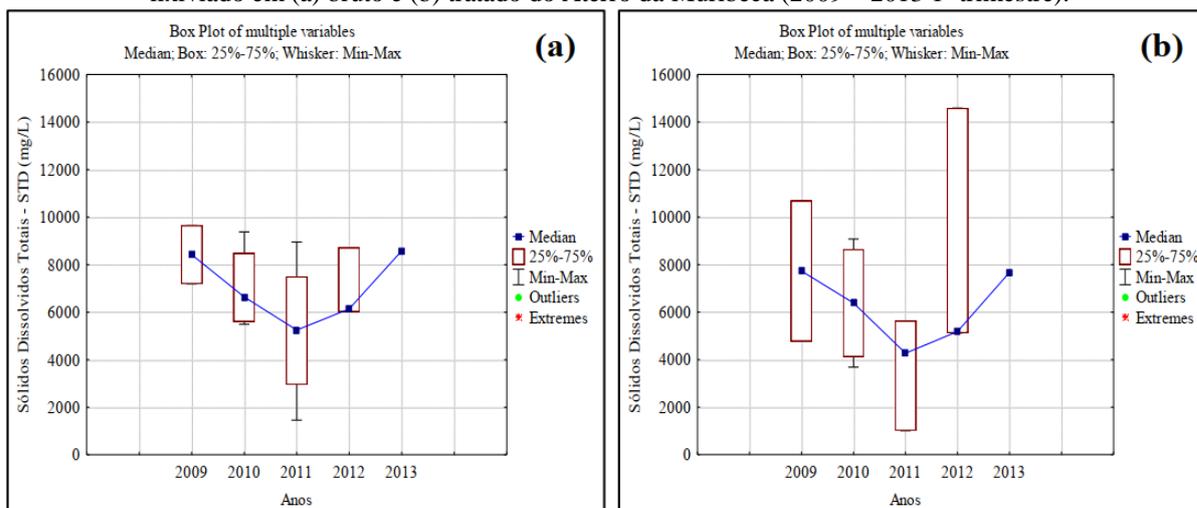


Fonte: O Autor (2019).

Os sólidos totais são determinado para interpretar quantitativamente a presença total de partículas que não seja água, presentes em águas residuárias de despejo, na forma dissolvida, coloidal ou em suspensão. A determinação do ST no lixiviado tratado dará a quantidade de sólidos removidos pelo sistema de tratamento. No primeiro trimestre do ano de 2013 a análise indicava a remoção de 10,13% de ST pelo sistema de tratamento de lagoas biológicas utilizado.

As figuras 38(a) bruto e 38(b) tratado representam graficamente com o *Bloxplot* o parâmetro Sólidos Dissolvidos Totais - SDT (mg/L) na caracterização do lixiviado bruto e tratado.

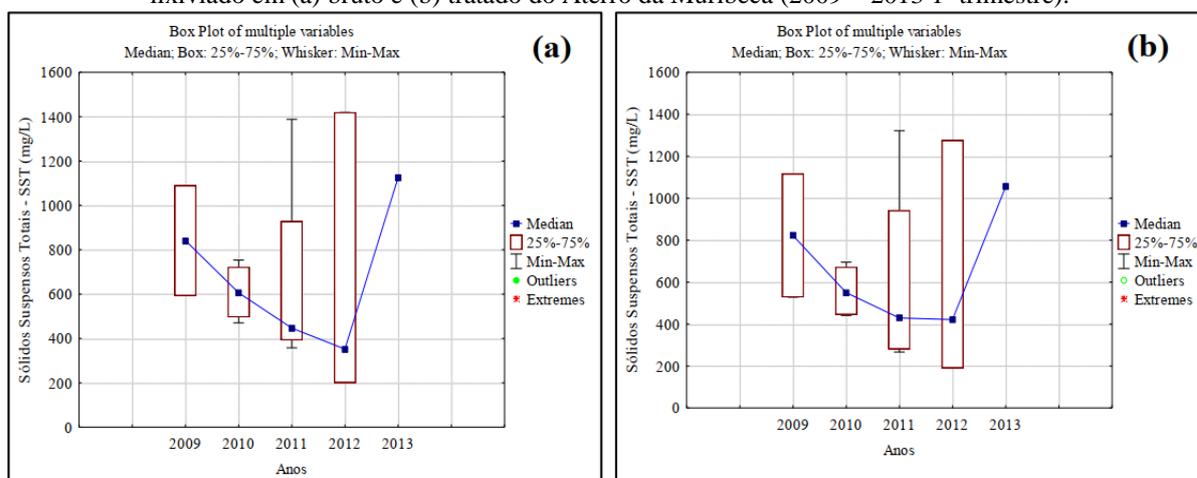
Figura 38 – Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Sólidos Dissolvidos Totais - STD (mg/L), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2009 – 2013 1º trimestre).



Fonte: O Autor (2019).

Os sólidos dissolvidos totais são determinados para avaliar um conjunto de todas as substâncias presentes no efluente (cloreto, carbonato, sulfato, fosfato, cálcio, nitrato, entre outros). Esses sólidos dissolvidos em altas concentrações podem ser prejudiciais. Nota-se a semelhança entre o comportamento das concentrações bem uniformes do STD quanto no bruto quanto no tratado, com exceção do ano de 2012 para o efluente tratado que apresentou valores superiores ao lixiviado bruto. As figuras 39(a) bruto e 39(b) tratado representam graficamente com o *Bloxplot* o parâmetro Sólidos Suspensos Totais - SST (mg/L) na caracterização do lixiviado bruto e tratado.

Figura 39 – Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Sólidos Suspensos Totais - SST (mg/L), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2009 – 2013 1º trimestre).

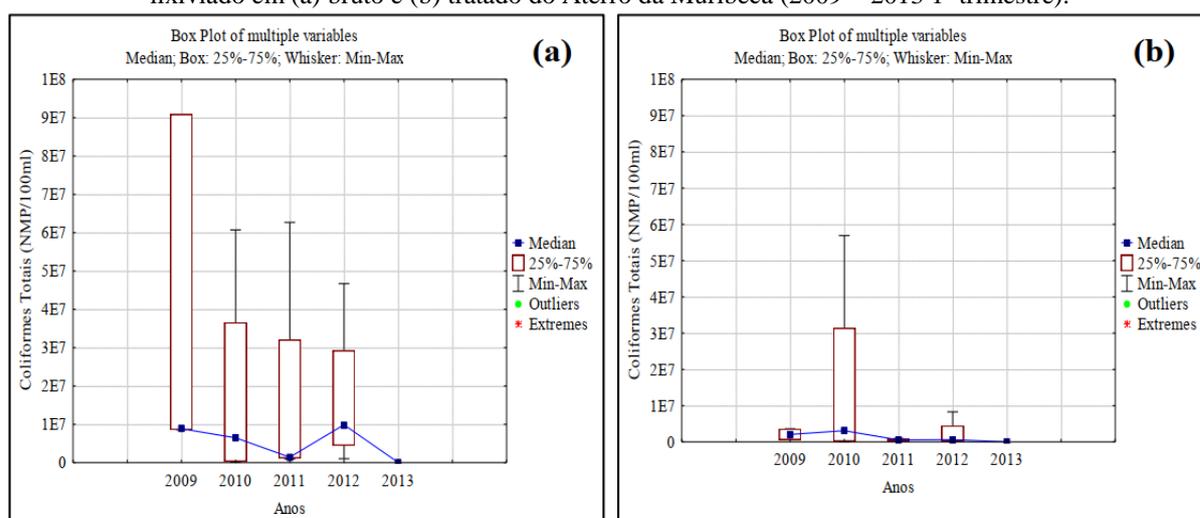


Fonte: O Autor (2019).

Sólidos suspenso totais são analisados para representar a concentração dos sólidos em suspensão ou decantados, presente em uma amostra. Estão diretamente associados à toxicidade do água/efluente em função das concentrações de elementos nocivos. O SST apresenta uma variação entre 600 – 1420, dentro da faixa máxima do lixiviado de aterros brasileiros, elaborada por Souto e Povinelli (2007), na tabela 7, entre 5 – 700. A remoção do SST no primeiro trimestre do ano de 2013 foi de aproximadamente 6,28%, indicando a baixa eficiência do sistema de lagoas biológicas para a remoção dos sólidos suspenso e, conseqüentemente, para o tratamento do lixiviado bruto do aterro da Muribeca. O excesso de grande quantidade de sólidos pode ocasionar interferência na autopurificação do corpo hídrico receptor.

As figuras 40(a) bruto e 40(b) tratado representam graficamente com o *Bloxplot* o parâmetro Coliformes Totais (NMP/100ml) na caracterização do lixiviado bruto e tratado.

Figura 40 – Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Coliformes Totais (NMP/100ml), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2009 – 2013 1º trimestre).



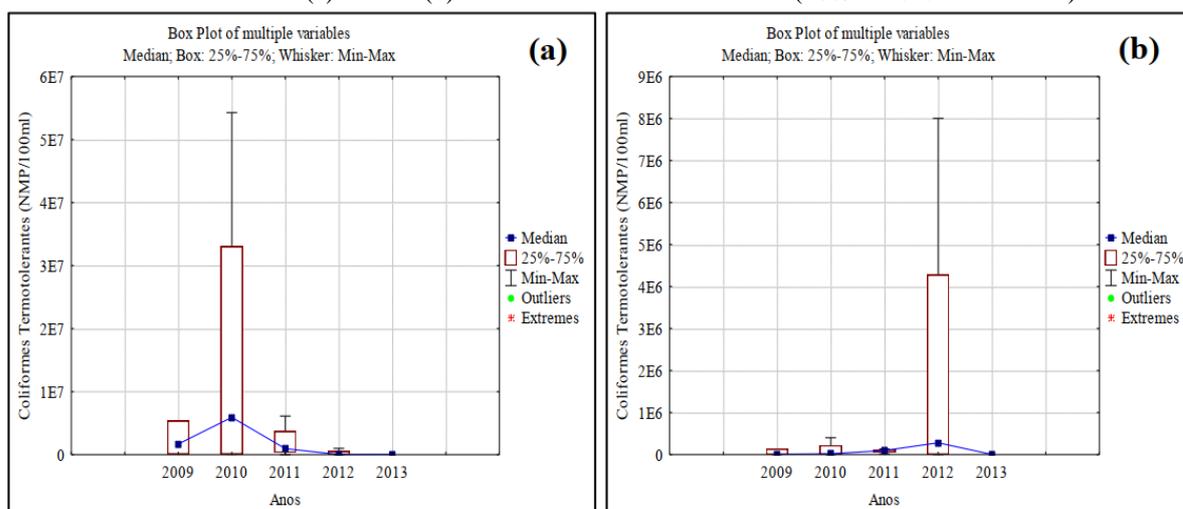
Fonte: O Autor (2019).

Observam-se nos gráficos acima as concentrações de coliformes totais do lixiviado bruto e tratado. Os valores médios para o período estudado conforme explícitos nas tabelas 14 e 15, o nível de concentração encontrado dos coliformes totais foi de  $1,76 \times 10^6$  NMP/100 mL, para o efluente bruto, e de  $4,17 \times 10^6$  para o tratado, sendo relativamente altos. A presença de coliformes totais em lixiviados bruto de aterros sanitários, resultante dos resíduos contaminados com fezes (fraudas descartáveis, papéis higiênicos, entre outros). Realizando um comparativo entre o CT  $7,47 \times 10^4$  NMP/100 mL do efluente bruto, e o CT  $1,67 \times 10^4$  NMP/100 mL do efluente tratado. A remoção do Coliforme total pelo sistema de lagoas

utilizado no tratamento da Muribeca para o primeiro trimestre de 2013 foi de 77,7%, apresentando um desempenho muito baixo de remoção. Apesar de uma boa remoção no sistema, o ideal de para coliformes devem ser valores superiores a 99%.

As figuras 41(a) bruto e 41(b) tratado representam graficamente com o *Bloxplot* o parâmetro Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml) na caracterização do lixiviado bruto e tratado.

Figura 41 – Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2009 – 2013 1º trimestre).



Fonte: O Autor (2019).

Para o acompanhamento do monitoramento realizado no coliforme termotolerante do lixiviado bruto e tratado. Observa-se que existe uma grande variabilidade ao longo dos anos de monitoramento, os valores médios para o período de monitoramento estudado de acordo com as tabelas 14 e 15, os níveis de concentração encontrados foram de  $4,25 \times 10^6$  NMP/100 mL, para o efluente bruto, e de  $6,47 \times 10^4$  para o tratado. Analisando o comparativo entre o CF  $6,47 \times 10^4$  NMP/100 mL do efluente bruto, e o CF  $5,00 \times 10^3$  NMP/100 mL do efluente tratado, para o primeiro trimestre de 2013. Observa-se a remoção de 79,9% do CF, apresentando um baixo desempenho conforme mencionado anteriormente.

#### 4.2.2 Análise da estatística da qualidade do lixiviado bruto e tratado (2º trimestre de 2013 - 2018).

Dando sequência à segunda parte dos resultados obtidos dos parâmetros de monitoramento da qualidade do lixiviado bruto de Aterro da Muribeca, em função da descontinuação de monitoramento de alguns parâmetros.

A tabela 20 expõe a análise da estatística descritiva dos parâmetros qualitativos do lixiviado bruto do Aterro da Muribeca, referente ao período do 2º trimestre de 2013 – 2018, os resultados encontram-se abaixo.

Tabela 20 - Análise da estatística descritiva das médias da qualidade do lixiviado bruto referente ao período do (2º trimestre de 2013-2018) do Aterro da Muribeca.

Parâmetros	Média	Mediana	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo	Coefficiente de variação (%)	Conama nº 430/2011
DBO (mg/L)	490,17	464,61	212,42	825,56	228,85	43,34	Remoção 60%
DQO (mg/L)	1542,29	1443,74	274,91	1957,75	1242,42	17,82	-
DBO/DQO	0,34	0,28	0,15	0,55	0,15	44,88	-
pH	7,95	7,93	0,22	8,32	7,65	2,78	5 a 9
Sulfetos (mg/L)	7,12	4,77	6,61	20,21	2,00	92,73	1,0 mg/L
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	898,87	887,28	440,70	1555,00	276,3	49,03	20,0 mg/L
Coliformes Totais (NMP/100ml)	2,45E+07	6,27E+06	2,89E+07	5,71E+07	2,80E+05	117,74	-
Coliformes Fecais (NMP/100ml)	1,06E+07	1,53E+06	1,97E+07	4,58E+07	1,42E+05	185,19	-

Fonte: O Autor (2019).

(-) Não dispõe de informação.

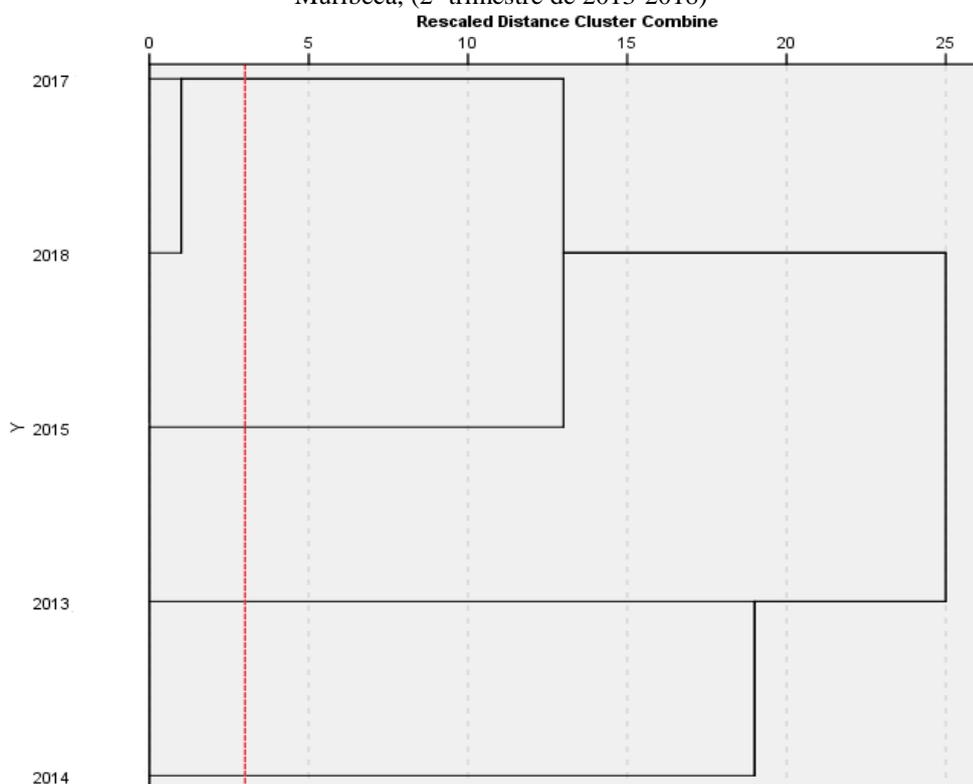
Observa-se na tabela acima os valores médios dos parâmetros do monitoramento do lixiviado bruto referente ao período (2º trimestre de 2013-2018). As médias da DBO e DQO parâmetro presente nos dois momentos deste estudo apresenta uma baixa concentração do material orgânico biodegradável, entretanto, elevadas concentrações de compostos orgânicos refratários e de nitrogênio amoniacal, conforme notado no valor médio do período estudado.

Realizando um comparativo com os dois períodos estudados percebe-se a rápida transição do lixiviado novo para o lixiviado velho. Isto ocorre provavelmente pela dificuldade de diferenciação dessas fases em aterros localizados em regiões tropicais, onde esta transição entre lixiviado novo-velho acontece rapidamente.

De acordo com as faixas de concentração estabelecidas para o coeficiente de variação, os parâmetros de DBO, Relação DBO/DQO, Sulfetos, Nitrogênio Amoniacal, Coliformes Totais e Termotolerantes apresentaram um coeficiente de variação muito alta  $\geq 30$ , o que resulta em um conjunto de dados mais heterógenos. O parâmetro pH encontra-se na faixa abaixo dos 10%, significando um conjunto de dados mais homogêneo. O parâmetro DBO encontra-se na faixa média entre 10% - 20% indicando um conjunto de dados aceitavelmente homogêneo.

A análise de agrupamentos hierárquicos foi realizada, permitindo a classificação dos anos estudados em grupos de semelhança, o dendrograma da figura 42 representa de forma resumida o período de análise referente ao período (2º trimestre de 2013-2018), do monitoramento realizado na qualidade do lixiviado bruto do Aterro da Muribeca.

Figura 42 - Dendrograma do Lixiviado bruto do monitoramento ambiental do pós-encerramento do Aterro da Muribeca, (2º trimestre de 2013-2018)



Fonte: O Autor (2019).

No dendrograma da figura acima realizado para o (2º trimestre de 2013-2018) do monitoramento do lixiviado bruto da Muribeca, abordado neste estudo. É possível observar a formação de quatro grupos de similaridade, o primeiro grupo formado pelos últimos anos de monitoramento estudado (2017-2018) apresentaram semelhanças entre as variáveis observadas, podendo estar associado às condições climáticas semelhantes para os dois períodos, como também, pequenas variações entre os parâmetros observados, os demais anos observados não apresentaram formação de grupos, sendo, portanto, distintos. O teste não incluiu o ano de 2016 no tratamento estatístico, em virtude da ausência de análise de alguns parâmetros durante o ano.

#### 4.2.2.1 Lixiviado Tratado (2º trimestre de 2013-2018)

Neste segundo momento os dados referentes ao (2º trimestre de 2013-2018) fornecidos do monitoramento ambiental realizado no Aterro da Muribeca, correspondem ao tratamento realizado pelo CTR-Candeias, devido à ineficiência do tratamento do sistema de lagoas da ETL da Muribeca para o lixiviado “velho” com uma alta carga orgânica, optou-se por bombear o lixiviado bruto da Muribeca e mistura-lo com o lixiviado jovem da CTR-Candeias no sistema de tratamento físico-químico adotado pelo aterro em operação, a partir do 2º trimestre de 2013.

Foram analisados os dados dos parâmetros física, química e microbiológica do lixiviado da Muribeca, tratado pelo CTR-Candeias. Os dados passaram por tratamentos estatísticos descritivos, representados graficamente pelo *Bloxplot*, por último, foi aplicada a análise multivariada de agrupamentos hierárquicos.

A tabela 21 a seguir apresenta a análise da estatística descritiva dos parâmetros qualitativos do lixiviado tratado do Aterro da Muribeca, referente ao período do (2º trimestre de 2013-2018), quando o efluente passou a serem tratados pelo sistema físico-químico do CTR-Candeias. Os resultados podem ser observados abaixo.

Tabela 21 - Análise da estatística descritiva das médias da qualidade do lixiviado tratado pela CTR-Candeias, referente ao período do (2º trimestre de 2013-2018)

Parâmetros	Média	Mediana	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo	Coefficiente de variação (%)	Conama nº 430/2011
DBO (mg/L)	98,17	30,08	152,10	400,22	10	154,93	Remoção 60%
DQO (mg/L)	312,22	233,66	301,33	877,33	71	96,51	-
pH	7,17	7,17	0,25	7,45	6,7875	3,50	5 a 9
Sulfetos (mg/L)	3,54	3,59	1,54	5,67	1,87	43,68	1,0 mg/L
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	26,19	22,90	24,19	63,25	1,7675	92,37	20,0 mg/L
Coliformes Totais (NMP/100m)	1,31E+07	4,33E+06	1,90E+07	4,64E+07	1,23E+04	145,55	-
Coliformes Fecais (NMP/100ml)	2,71E+06	1,15E+06	3,23E+06	8,03E+06	2,72E+03	119,16	-

Fonte: O Autor (2019).

(-) Não dispõe de informação.

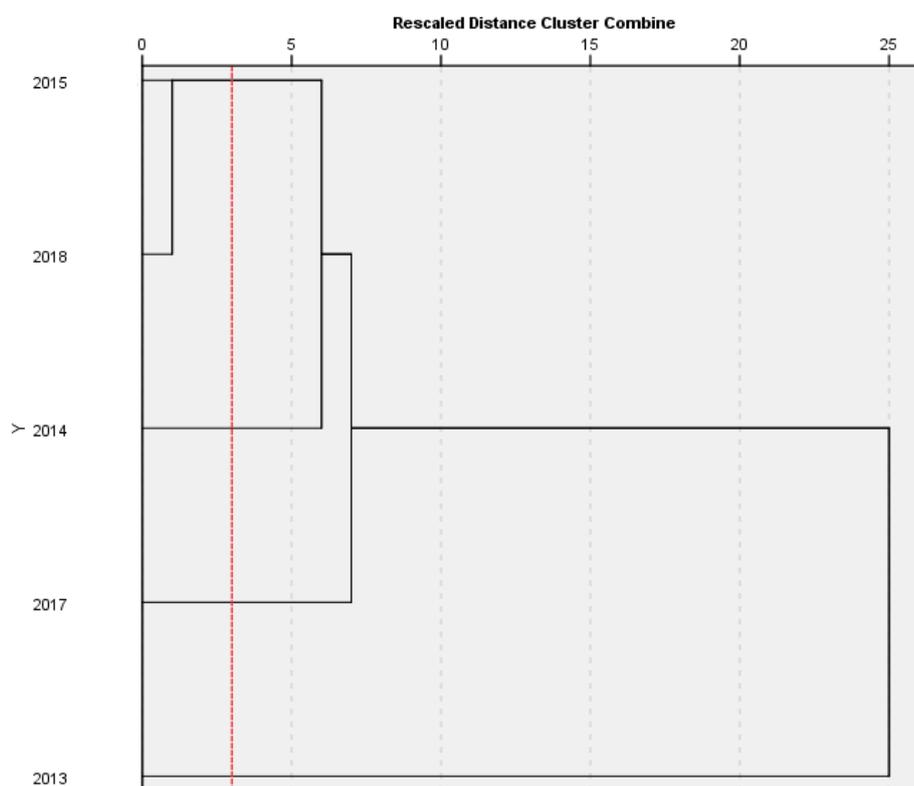
O tratamento descritivo da tabela acima avalia a eficiência do sistema de tratamento de efluentes físico-químico seguido do biológico adotado tratado pelo CTR-Candeias. Verifica-se que as médias dos parâmetros de monitoramento observados apresentam diminuição acentuada, estes resultados servem para destacar que o sistema de tratamento sofisticado adotado, é o mais indicado para a remoção dos poluentes e, da matéria orgânica presente no lixiviado recalcitrante de aterros antigos, os efluentes lixiviantes de aterros velhos são característicos por apresentarem valores médios de pH neutro a alcalino.

Ferreira (2010) enfatiza que o lixiviado da fase metanogênica da decomposição anaeróbia dos resíduos, são menos susceptíveis à degradação microbiológica e tendem a permanecer presentes nos lixiviados velhos, uma vez que as bactérias produtoras de metano degradam os ácidos voláteis reduzindo a carga orgânica do lixiviado. Diante da matéria orgânica biodegradável já consumida por ações das bactérias metanogênicas, o tratamento físico-químico deve ser empregado, alcançando desta forma os padrões estabelecidos de lançamento, antes da destinação final do efluente.

Para a análise utilizada para expressar o Coeficiente de Variação a maioria dos parâmetros se apresentou acima da faixa de concentrações estabelecida muito alta  $\geq 30\%$ , representando um conjunto de dados heterogêneos. Apenas o parâmetro de pH apresenta-se com o CV abaixo dos 10%. Observa-se que a variação dos parâmetros dos dados analisados difere em relação à média, apresentando um CV muito alto.

Foi realizada a análise estatística multivariada de agrupamentos, o dendrograma da figura 43 apresenta de forma abreviada a formação de grupos com variáveis semelhantes, a cerca de todos os anos de monitoramento qualitativo realizado no lixiviado da Muribeca, referente ao período de (2º trimestre de 2013-2018) tratamento realizado pelo sistema da CTR-Candeias.

Figura 43 - Dendrograma do lixiviado tratado pela CTR-Candeias do monitoramento ambiental do pós-encerramento do Aterro da Muribeca, referente ao período do (2º trimestre de 2013-2018).



Fonte: O Autor (2019).

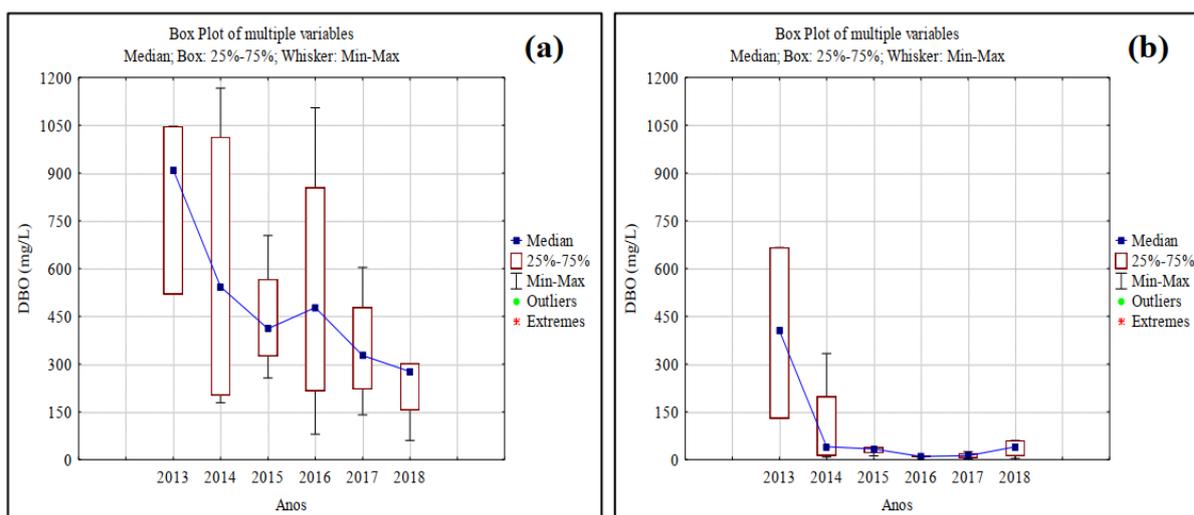
O dendrograma do lixiviado tratado do Aterro da Muribeca, referente ao período de (2º trimestre de 2013-2018) tratamento realizado pelo sistema da CTR-Candeias, temos a criação de quatro grupos de similaridade, o primeiro grupo formado pelos anos (2015 e 2018) mostraram semelhança entre os parâmetros observados, os demais anos observados não

apresentaram semelhanças, sendo distintos dos demais. Observa-se também que o teste não incluiu o ano de 2016 no tratamento estatístico, uma vez que alguns parâmetros de monitoramento não foram realizados durante o ano, devido a isto o teste não considerou uma leitura homogênea do ano estudado.

Na estatística descritiva o *Bloxplot* ou diagrama de extremos é uma ferramenta gráfica utilizada para representar a variação dos dados analisados na caracterização do lixiviado bruto e tratado do monitoramento ambiental do pós-encerramento do Aterro da Muribeca (2º trimestre de 2013-2018). É importante salientar que o monitoramento do lixiviado tratado e referente ao sistema físico-químico acompanhado do biológico adotado pela CTR-Candeias. O gráfico *Bloxplot* foi utilizado para representar graficamente os parâmetros analisados, o *Bloxplot* identifica onde estão localizados 50% dos valores mais prováveis (faixa 25%-75%), a mediana dos parâmetros e os valores extremos máximos e mínimos.

As figuras 44(a) bruto do Aterro da Muribeca e 44(b) tratado pela CTR-Candeias, representam graficamente com o *Bloxplot* o parâmetro DBO (mg/L), na caracterização do lixiviado do monitoramento ambiental do pós-encerramento do Aterro da Muribeca (2º trimestre de 2013-2018).

Figura 44 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro de DBO (mg/L), na caracterização do lixiviado em (a) bruto do Aterro da Muribeca e (b) tratado pela CTR-Candeias (2º trimestre de 2013-2018).



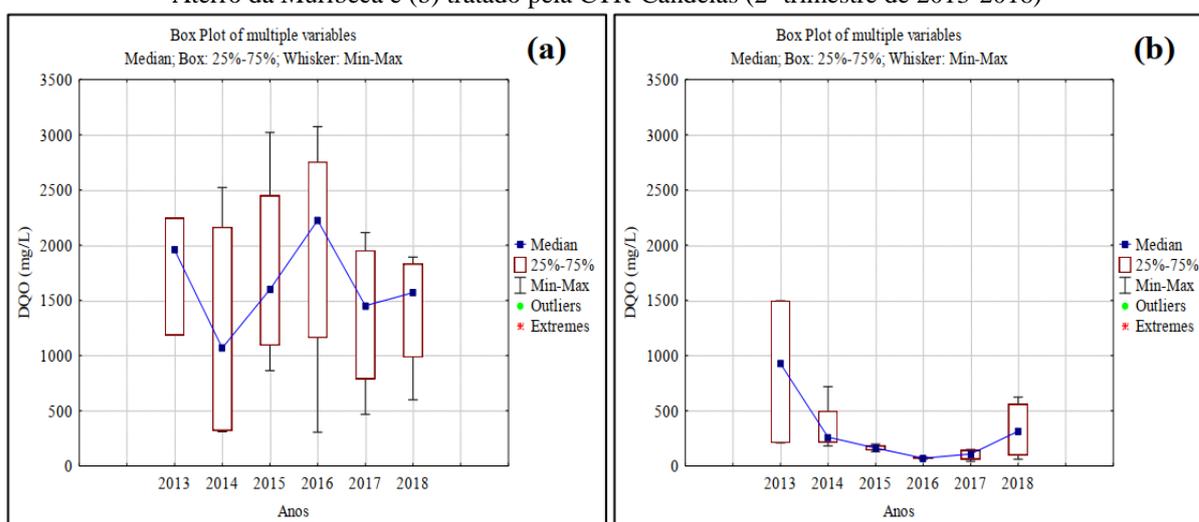
Fonte: O Autor (2019).

Diferentemente do primeiro período onde o monitoramento analisado, abordava o tratamento biológico por lagoas. Neste segundo momento observa-se a eficiência do sistema físico-químico atualmente adotado no tratamento do lixiviado bruto do aterro da Muribeca.

Observa-se no gráfico acima a alta carga orgânica do efluente bruto analisado, como também a influência do sistema de tratamento atualmente adotado no CTR/Candeias, para remoção da DBO do lixiviado bruto. Garantindo a condição ideal de remoção acima dos 60% estabelecida pela Resolução CONAMA nº 430/2011. Vale ressaltar que é importante à remoção da matéria orgânica do efluente bruto pelo sistema adotado, já que elevados índices de DBO provocaram alterações significativas no corpo receptor.

As figuras 45(a) bruto do Aterro da Muribeca e 45(b) tratado pela CTR-Candeias, representam graficamente com o *Bloxplot* o parâmetro DQO (mg/L), na caracterização do lixiviado do monitoramento ambiental do pós-encerramento do Aterro da Muribeca (2º trimestre de 2013-2018).

Figura 45 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro de DQO (mg/L), na caracterização do lixiviado em (a) bruto do Aterro da Muribeca e (b) tratado pela CTR-Candeias (2º trimestre de 2013-2018)

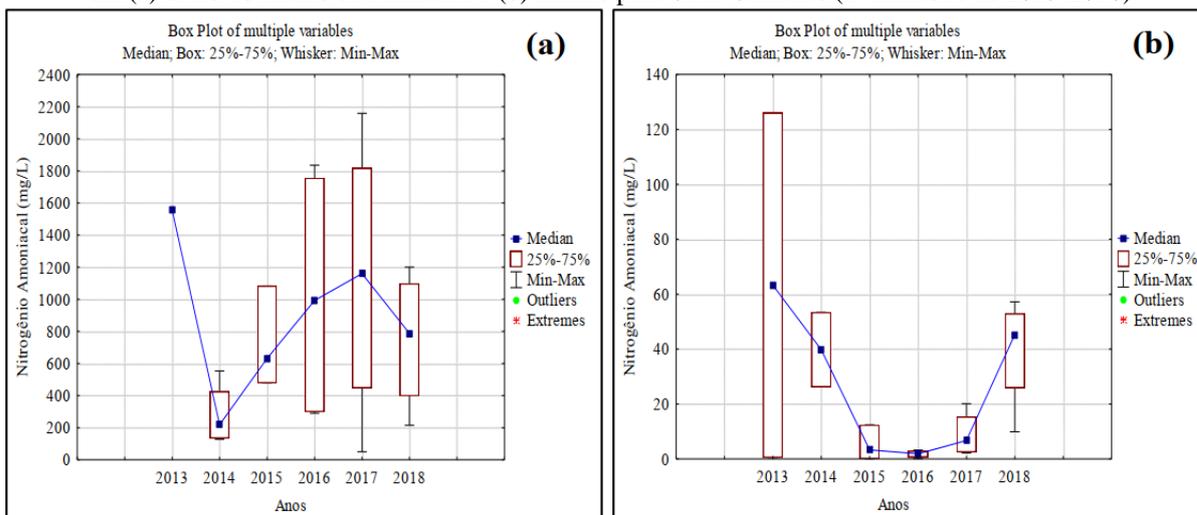


Fonte: O Autor (2019).

Para o monitoramento realizado do lixiviado bruto observa-se que o efluente mais antigo do aterro, apresenta uma alta concentração de matéria orgânica refratária. Diferente da primeira etapa do tratamento adotado para o efluente da Muribeca por lagoas, em comparação ao sistema físico-químico atualmente utilizado, observa-se melhores níveis de degradação da matéria orgânica pelo sistema. Isto acontece devido o sistema físico-químico remover poluentes inorgânicos, materiais insolúveis entre outros, que não são removidos pelos processos biológicos convencionais, sendo o melhor processo de tratamento para lixiviados mais antigos. É importante ressaltar que a CTR-Candeias solubiliza seu lixiviado mais novo, com o lixiviado mais velho da Muribeca, não sendo possível observar a eficiência do sistema utilizando apenas o lixiviado mais velho da Muribeca.

As figuras 46(a) bruto do Aterro da Muribeca e 46(b) tratado pela CTR-Candeias, representam graficamente com o *Bloxplot* o parâmetro Nitrogênio Amoniacal, na caracterização do lixiviado do monitoramento ambiental do pós-encerramento do Aterro da Muribeca (2º trimestre de 2013-2018).

Figura 46 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Nitrogênio Amoniacal (mg/L), na caracterização do lixiviado em (a) bruto do Aterro da Muribeca e (b) tratado pela CTR-Candeias (2º trimestre de 2013-2018)



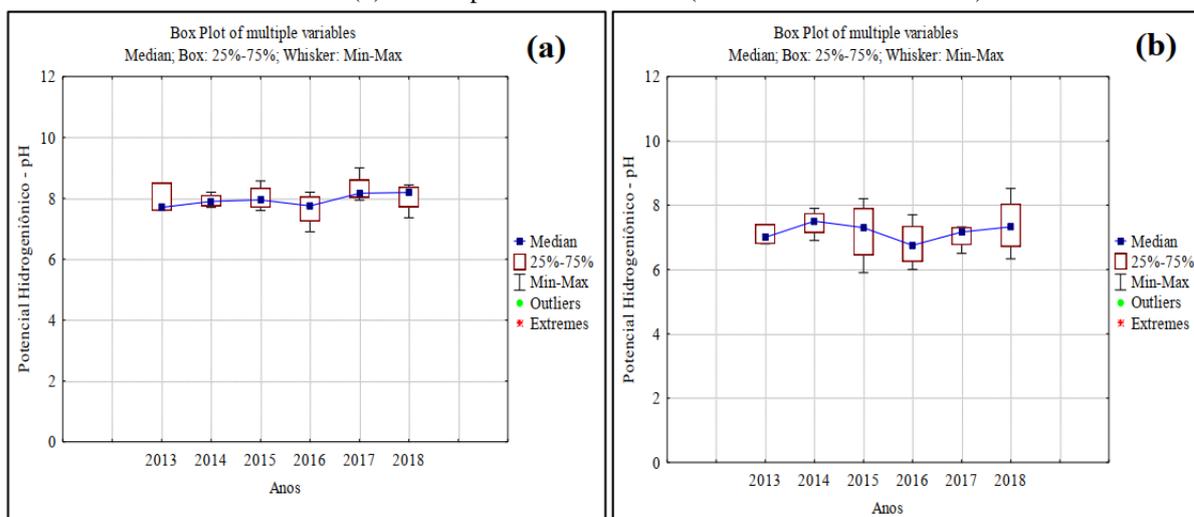
Fonte: O Autor (2019).

Elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal podem ser encontradas facilmente em efluentes brutos, principalmente no lixiviado velho. O tratamento físico-químico é combinado com o tratamento biológico, utilizados para reduzir as concentrações dos compostos tóxicos, material flutuante, partículas coloidais e sólidos em suspensão. Nos gráficos acima se observa os níveis de remoção do lixiviado tratado quando comparado com o bruto, no tratamento utilizado as eficiências de remoção foram de 95,9% (2013), 85,8% (2014), 99,3% (2015), 99,8% (2016), 99,2% (2017) e 94,7% (2018) do N-Amoniacal pelo sistema combinado.

O lixiviado com elevada concentração de nitrogênio amoniacal, descartado nos corpos hídricos sem o tratamento adequado pode ocasionar vários problemas, estimulando o crescimento de algas, decréscimo da concentração de oxigênio dissolvido no corpo hídrico, além de ser bastante tóxico ao ecossistema aquático.

As figuras 47(a) bruto do Aterro da Muribeca e 47(b) tratado pela CTR-Candeias, representam graficamente com o *Bloxplot* o parâmetro pH, na caracterização do lixiviado do monitoramento ambiental do pós-encerramento do Aterro da Muribeca (2º trimestre de 2013-2018).

Figura 47 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro de pH, na caracterização do lixiviado em (a) bruto do Aterro da Muribeca e (b) tratado pela CTR-Candeias (2º trimestre de 2013-2018).

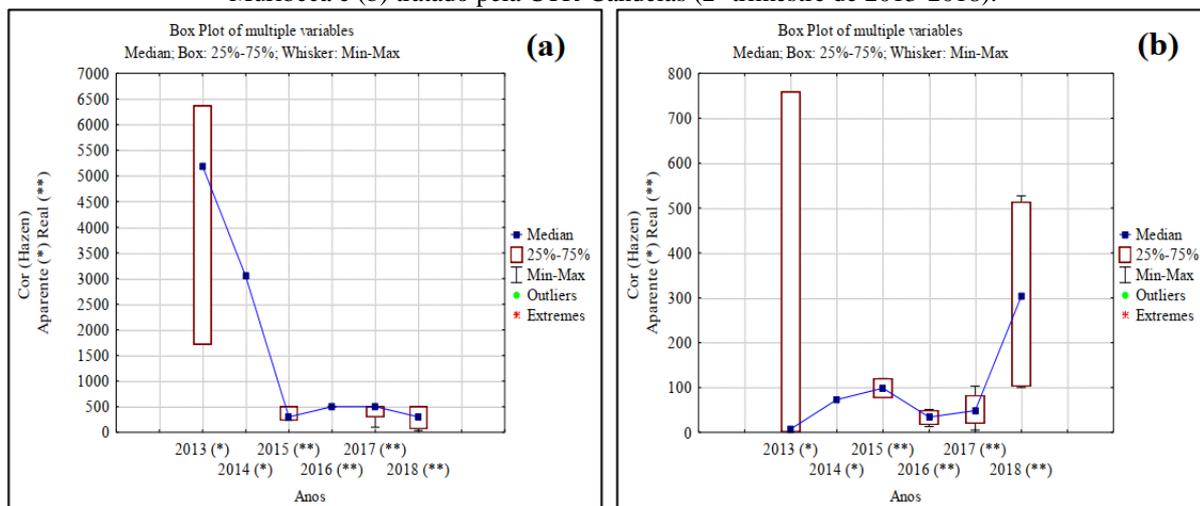


Fonte: O Autor (2019).

Observa-se que o pH continua variando na faixa neutra a alcalino, entre 7,0 – 8,5, tanto para o bruto quanto para o tratado. Coincidindo especificamente com a literatura consultada, indicando as características mais prováveis do lixiviado de aterros brasileiros, presentes na tabela 7.

As figuras 48(a) bruto do Aterro da Muribeca e 48(b) tratado pela CTR-Candeias, representam graficamente com o *Bloxplot* o parâmetro Cor, na caracterização do lixiviado do monitoramento ambiental do pós-encerramento do Aterro da Muribeca (2º trimestre de 2013-2018).

Figura 48 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Cor, na caracterização do lixiviado em (a) bruto do Aterro da Muribeca e (b) tratado pela CTR-Candeias (2º trimestre de 2013-2018).



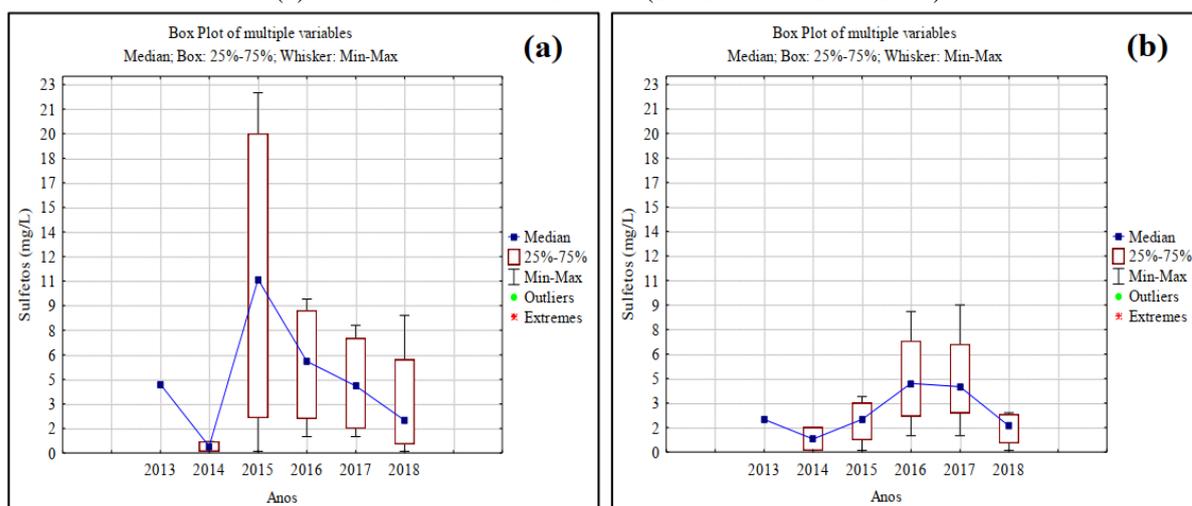
Fonte: O Autor (2019).

Os anos de 2013 e 2014 a análise de cor aparente era realizada, a coloração é influenciada pelo excesso de partículas em suspensão. Observa-se que a coloração média do ano de 2013 e 2014 para o lixiviado bruto apresentava concentrações bastante elevadas, entretanto, quando comparadas à remoção da cor pelo sistema físico-químico combinado com o biológico à remoção média da cor aparente para os dois anos foram 94,2% e 97,6%, respectivamente.

A partir do ano de 2015 passou a ser analisada a Cor real, compreende que a cor real é quantificada sem a presença de matéria orgânica suspensa, considerando, desta forma, apenas a matéria dissolvida. Observa-se que os valores médios do lixiviado bruto entre 2014-2018 encontra-se na faixa entre 400-500 Hazen, enquanto para o lixiviado tratado entre 100-200 Hazen. A remoção da Cor real pelo sistema de tratamento para os anos observados foram de 63% (2015), 93,4% (2016), 89,8% (2017), para o ano de 2018 observa-se que não houve uma boa remoção do parâmetro, a cor teve uma pequena elevação na concentração média do lixiviado tratado comparado com o lixiviado bruto. Supõe então que a elevação da cor real tenha sido causada pela interferência do excesso de sólidos dissolvidos no efluente.

As figuras 49(a) bruto e 49(b) tratado pela CTR-Candeias, representam graficamente com o *Bloplot* o parâmetro Sulfetos (mg/L), na caracterização do lixiviado do monitoramento ambiental do pós-encerramento do Aterro da Muribeca (2º trimestre de 2013-2018).

Figura 49 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Sulfetos (mg/L), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2º trimestre de 2013-2018)

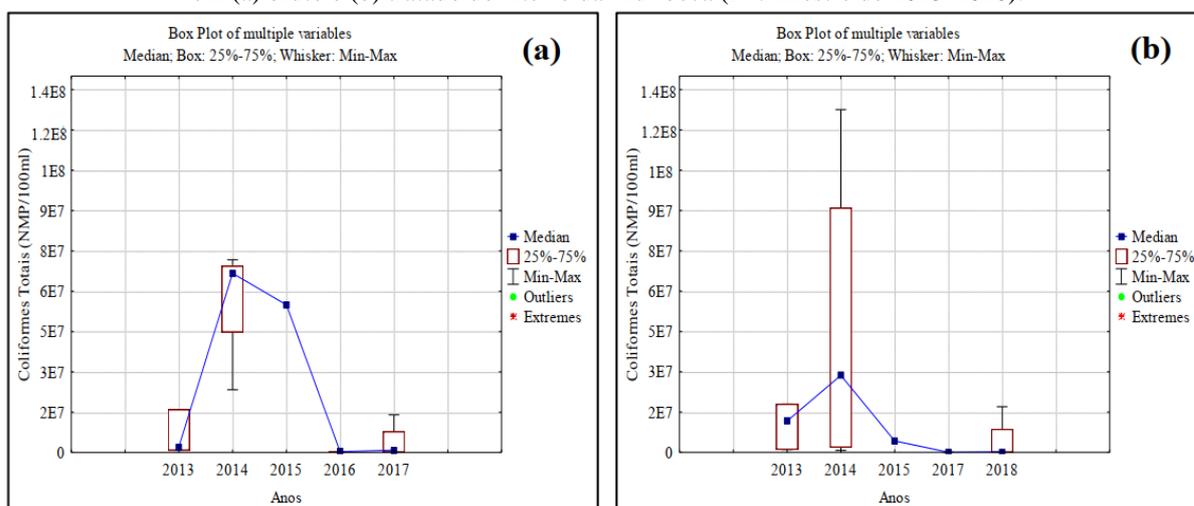


Fonte: O Autor (2019).

Os sulfetos resultam da redução de sulfatos pela atividade bacteriana de decomposição da matéria orgânica perante condições anaeróbicas e de vários outros processos químicos. O Sulfeto bruto encontra-se na faixa máxima, e o tratado na faixa mais provável do lixiviado de aterros brasileiros, elaborada por Souto e Povinelli (2007), na tabela 7.

As figuras 50(a) bruto e 50(b) tratado pela CTR-Candeias, representam graficamente com o *Bloxplot* o parâmetro Coliforme Totais (NMP/100ml), na caracterização do lixiviado do monitoramento ambiental do pós-encerramento do Aterro da Muribeca (2º trimestre de 2013-2018).

Figura 50 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Coliforme Totais (NMP/100ml), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2º trimestre de 2013-2018).



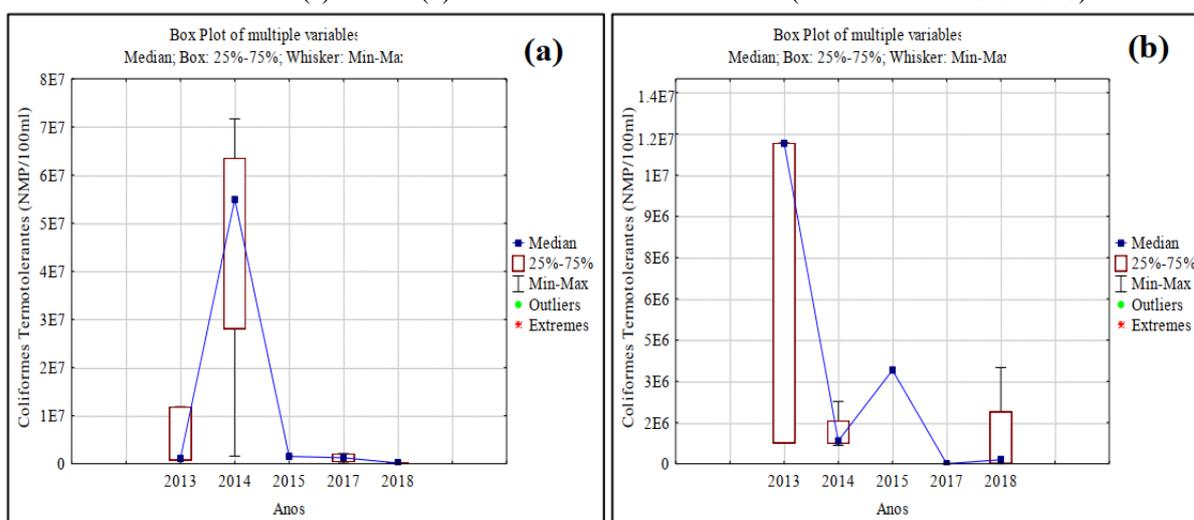
Fonte: O Autor (2019).

Verificam-se nos gráficos da figura 50 os valores médios do coliforme total para o lixiviado bruto no ponto de coleta localizado na entrada na estação da Muribeca, estatisticamente concentrações maiores do que no ponto localizado na saída da ETL do CTR-Candeias. De acordo com a estatística descritiva realizada na tabela 16 do lixiviado bruto apresentou um valor médio de  $2,45 \times 10^7$  NMP/100 mL, para o período estudado. Para o lixiviado tratado tabela 17 o valor médio do período de monitoramento observado foi da ordem de  $1,31 \times 10^7$  NMP/100 mL. O ano de 2014 apresentou o lixiviado tratado com valores médios superiores em comparação ao lixiviado bruto. Nas resoluções Conama consultadas não aborda os números máximos permitidos para os padrões de lançamento de efluentes para CT. Contudo utilizou-se a norma técnica estadual da CPRH nº 2007 como referência onde de acordo com as classes estabelecidas dos rios, são permitidos para descarga de efluentes tratados nos corpos de água. Utilizando os rios classe II como referência o número máximo

permitido é de  $5,0 \times 10^3$  (NMP CT/100 mL), com isso, observa-se que o tratamento não consegue a remoção adequada para o CT.

As figuras 51(a) bruto e 51(b) tratado pela CTR-Candeias, representam graficamente com o *Bloxplot* o parâmetro Coliforme Termotolerantes (NMP/100ml), na caracterização do lixiviado do monitoramento ambiental do pós-encerramento do Aterro da Muribeca (2º trimestre de 2013-2018).

Figura 51 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro de Coliforme Termotolerantes (NMP/100ml), na caracterização do lixiviado em (a) bruto e (b) tratado do Aterro da Muribeca (2º trimestre de 2013-2018)



Fonte: O Autor (2019).

O coliforme termotolerante é o principal indicador de contaminação bacteriológica de origem fecal presente no efluente. Os valores médios que representam o conjunto de dados analisados para o lixiviado bruto foi da ordem de  $1,06 \times 10^7$  NMP/100 mL, para o lixiviado do tratado foi de  $2,71 \times 10^6$  NMP/100 mL. Todos os anos observados apresentam remoção do CF pelo sistema, com exceção do ano de 2013 onde o valor médio teve pouca variação de remoção comparada com o lixiviado bruto.

De acordo com a resolução Conama nº 20/1986 para lançamentos em corpos d'água receptores classe II o número máximo permitido não deverá exceder  $1,0 \times 10^3$  (NMP CF/100 mL), o que também determina a norma técnica estadual CPRH nº2007. Observa-se que o ano de 2017 foi o único do período estudado que os valores médios analisados se enquadram na legislação de referência utilizada. Os demais anos observados, as médias não se enquadram com os valores máximos permitidos, evidenciando que o tratamento não conseguiu a remoção adequada para os padrões de enquadramento do CF.

Através da avaliação realizada no lixiviado bruto e tratada do monitoramento ambiental do pós-encerramento do Aterro da Muribeca, destacam-se as seguintes colocações, a cerca do tratamento de lixiviados considerados velhos, observa-se entre os dois períodos estudados as diferenças entre as médias estabelecidas para o sistema biológico de lagoas de estabilização adotado inicialmente para o tratamento do lixiviado e, posteriormente tratamento físico-químico combinado com o biológico utilizado pelo CTR-Candeias, para a remoção dos poluentes. Ressalta-se que o tratamento mais sofisticado consegue níveis de remoção mais acentuados quando comparado com o sistema convencional, principalmente nos principais parâmetros de referência para o monitoramento como a DBO e o Nitrogênio Amoniacal.

Fato este, que comprova a ineficiência do sistema de tratamento de lagoas biológicas utilizado isoladamente para o lixiviado velho no Aterro da muribeca, uma vez que o efluente apresenta-se com uma parcela baixa de matéria orgânica a cerca da biodegradabilidade do lixiviado.

Concluindo o estudo realizado do monitoramento ambiental do lixiviado bruto do Aterro da Muribeca, foi avaliada a relação  $DBO_5/DQO$  dos anos estudados, a mesma é um indicador do nível de degradação biológica do lixiviado. Esta relação estabelece a recalitrância do material orgânico, indicando o nível de biodegradabilidade do lixiviado. A tabela 5 indica os valores sobre os estágios de biodegradabilidade da relação  $DBO_5/DQO$  do lixiviado. Além disso, pode insinuar o estágio de degradação dos resíduos sólidos e, por conseguinte, indicar a maturidade do aterro e do lixiviado que diminui com o tempo. A tabela 22 a seguir, apresenta a evolução média anual da relação  $DBO_5/DQO$  do monitoramento ambiental pós-encerramento do Aterro da Muribeca.

Tabela 22 - Relação  $DBO_5/DQO$  do pós-encerramento do Aterro da Muribeca

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Relação $DBO_5/DQO$	0,55	0,51	0,72	0,40	0,44	0,55	0,29	0,27	0,27	0,15

Fonte: O Autor (2019).

A relação  $DBO_5/DQO$  primeiros anos (2009-2012) de monitoramento do lixiviado bruto, apresentou uma média de 0,55 valores acima  $> 0,5$  que consideram lixiviado novo instável. Para os anos intermediários de monitoramento (2012-2016) de monitoramento do lixiviado bruto, a relação apresentou-se com média de 0,39 estando na fase intermediária do aterro entre 0,1 – 0,5 de acordo com a tabela 5. No último ano de monitoramento, observa-se

que a relação encontra-se 0,15 ficando mais próximo do valor que determina as características de um lixiviado velho  $< 0,1$ .

Através dos parâmetros físico-químicos neste estudo podem-se observar as características de um lixiviado próprio de regiões tropicais, onde a transição entre o lixiviado jovem, encontrado normalmente com valores superiores a 0,5. Já para lixiviado velho valores inferiores a 0,1, isto ocorrem devido à incidência de chuvas e temperaturas mais elevadas na região, acelerando o processo de decomposição dos resíduos.

De acordo com Silva (2008) a quantidade de substâncias químicas presentes na decomposição dos resíduos, afeta diretamente a qualidade do lixiviado bruto, e que o mesmo pode sofrer variações dependendo da idade do aterro, principalmente após o encerramento das atividades do mesmo alcançando um limite de diversidade dos seus componentes geralmente depois de 2 ou 3 anos, seguido pelo declínio gradual nos anos seguintes.

Observa-se na tabela 22, que no primeiro ano de monitoramento (2009) após o encerramento das atividades do Aterro da Muribeca, o lixiviado apresentava-se características de aterros jovens, caracterizado pelas altas concentrações de matéria orgânica, compostos tóxicos e microrganismos patógenos, muito em função do recente encerramento, nos anos decorrentes a relação foi diminuindo chegando ao último ano de monitoramento estudado, apresentando uma relação média 0,15 a taxa cai devido o lixiviado de aterros velhos conterem grandes quantidades de ácidos fúlvicos e húmicos, o que indica que o efluente encontra-se na transição entre aterro moderadamente estável para aterro velho estável, com lixiviado bastante recalcitrante, sendo pouco biodegradável.

Não foi possível avaliar a relação  $DBO_5/DQO$  para o lixiviado tratado, visto que a partir do ano de 2013 o tratamento foi direcionado para a ETE da CTR-Candeias, onde ocorre a mistura o lixiviado do seu Aterro e o da Muribeca para realização do tratamento, portanto não sendo possível a obtenção da relação, outro aspecto observado com relação ao dado recebido e, que não é possível avaliar a remoção de 60% da carga poluente do  $DBO_5$ , recomendado pela Resolução Conama nº 430/2011, tendo em vista que não se sabe a proporção de mistura dos dois efluentes utilizados no tratamento. Apesar disso, o sistema adotado se mostra eficiente a cerca do tratamento de lixiviado tanto para aterros velhos, quanto para novos.

#### 4.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS DO MONITORAMENTO AMBIENTAL DA QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS DO ATERRO DA MURIBECA

O monitoramento ambiental realizado nas áreas de influência do Aterro da Muribeca consiste na caracterização da qualidade das águas superficiais dos Rios Muribequinha e Jabotão situados nas imediações da área de influência do Aterro. O controle é realizado com intervalos de três meses entre uma coleta e outra, as amostragens são definidas de acordo com a localização dos corpos hídricos na área de interesse, sendo recomendada a definição de dois pontos de coletas, sendo o primeiro localizado a 100 metros a montante do ponto de lançamento e o outro, entre 50 e 100 a jusante do ponto de lançamento do efluente lixiviante.

O monitoramento ambiental das águas superficiais é realizado quando existe na área de influência direta do aterro sanitário, mananciais hídricos superficiais tais como riachos, rios, córregos, represas ou lagos, como também afloramentos de águas do subsolo. O monitoramento é executado com o intuito de avaliar a qualidade d'água do corpo hídrico localizado na área de influência, a fim de evitar-se a poluição dos corpos hídricos pelo lançamento dos efluentes lixiviantes.

O monitoramento qualitativo realizado nas águas subterrâneas dos poços de monitoramento instalados em aterros sanitários tem por finalidade verificar por meio das análises físico-químicas e biológicas a qualidade hidrogeológica e os seus indicadores de contaminação. Os poços de monitoramento desempenham um papel essencial para a identificação e vazamentos da pluma de contaminação dos aterros sanitários, visto que possíveis falhas ou rompimentos da impermeabilização das células de disposição, podendo a pluma de contaminação atingir o lençol freático ocasionando alterações nos padrões de qualidade tanto para as águas subterrâneas quanto para as superficiais das coleções hídricas localizadas de influência do aterro.

Os dados obtidos foram divididos em dois tópicos, com a finalidade de melhor discutir as informações a respeito do monitoramento ambiental das águas superficiais e subterrâneas da área de influência do Aterro da Muribeca.

##### **4.3.1 Análise da estatística das águas superficiais**

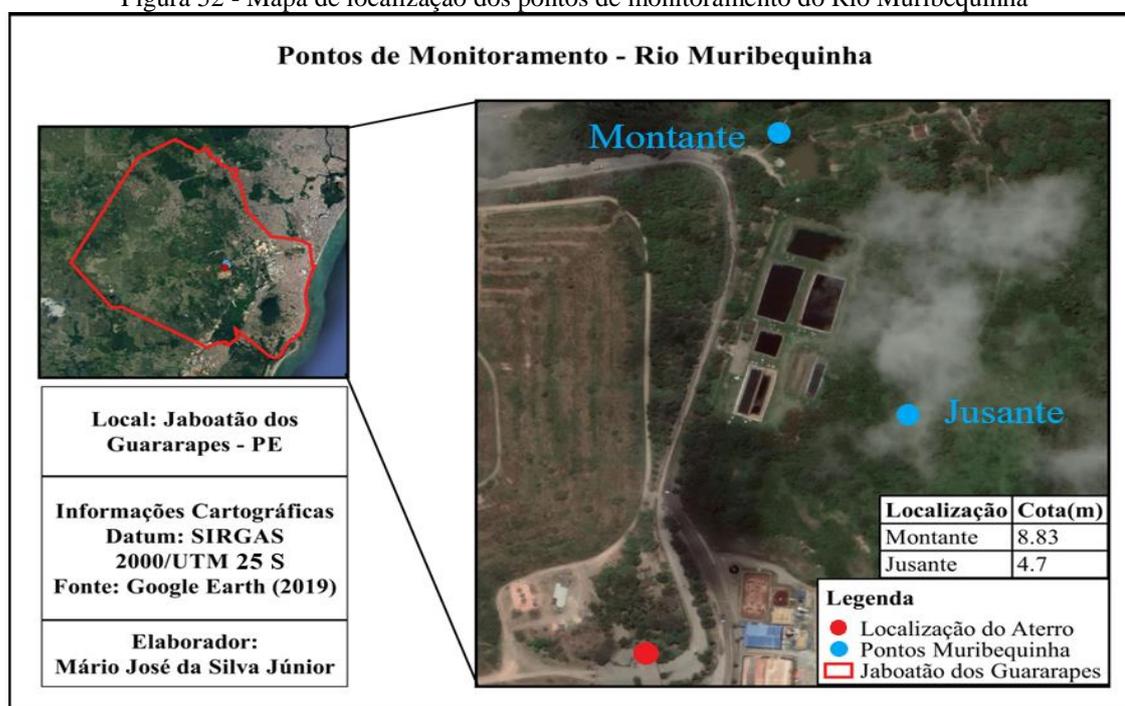
Os dados foram obtidos dos relatórios de monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais, referente ao período estudado (2009 – 2018). Foram executados através da

definição de quatro pontos de amostragem, sendo dois situados a montante e a jusante do ponto de lançamento do efluente lixiviante tratado pela CTR Candeias no Rio Jaboatão, enquadrado como classe III de acordo com a resolução CONAMA 357/05. Os outros dois pontos situados no Rio Muribequinha, que circunda a ETL do Aterro da Muribeca, este enquadrado como classe II, pela resolução mencionada anteriormente.

#### 4.3.1.1 Monitoramento do Rio Muribequinha (Montante)

O monitoramento realizado nas águas superficiais coletadas no Rio Muribequinha situado na área de influência direta do lixiviado proveniente do Aterro as Muribeca. Os pontos de monitoramento a montante encontra-se entre as seguintes coordenadas geográficas:  $8^{\circ}09'35,2''\text{S}$  e  $34^{\circ}58'44,2''\text{W}$  para a montante e,  $8^{\circ}09'43,4\text{S}$  e  $34^{\circ}58'40,8''\text{W}$  para a jusante. Abaixo encontra-se a figura 52 com o mapa de localização dos pontos de monitoramento do Rio Muribequinha, realizado no software QGIS.

Figura 52 - Mapa de localização dos pontos de monitoramento do Rio Muribequinha



Fonte: O Autor (2019).

Os dados adquiridos foram submetidos às análises estatísticas descritivas, média, mediana, Desvio Padrão, Valor Máximo e Mínimo, Coeficiente de variação (%) com o intuito de resumir os dados em tabelas e gráficos do estilo *Bloplot* sendo possível identificar 50%

dos números mais prováveis, evidenciando os valores mínimos e máximos dos parâmetros estudados. Foram realizados também, o método estatístico de análise multivariada de agrupamentos, conhecida por análise de Clusters, observando a semelhança entre as médias dos parâmetros entre os anos de monitoramento analisados. Em seguida encontra-se a tabela 23 com a estatística descritiva dos resultados obtidos das análises a montante do Rio Muribequinha.

Tabela 23 - Análise da estatística descritiva dos parâmetros qualitativos da montante do Rio Muribequinha

Parâmetros	Média	Mediana	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo	Coefficiente de variação (%)	Conama N° 357/2005 Classe II
Temperatura	27,6	27,58	0,83	28,50	26,83	3,01	-
DBO (mg/L)	12,38	7,88	10,47	28,00	5,75	84,60	5 mg/L O <sub>2</sub>
DQO (mg/L)	25,93	26,43	1,17	26,78	24,60	4,50	-
DBO/DQO	0,33	0,33	0,07	0,39	0,26	19,92	-
Oxigênio dissolvido	26,68	6,94	40,33	87,16	5,71	151,13	5 mg/L O <sub>2</sub>
pH	7,19	7,23	0,38	7,60	6,72	5,31	6,0 a 9,0
Cor (Hazen)	167,38	176,63	92,73	263,75	52,50	55,40	75 mg Pt/L*
Turbidez	42,98	40,00	7,23	51,23	37,73	16,81	100 NTU
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0,55	0,47	0,36	1,06	0,20	65,63	10,0 mg/L N
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,21	0,05	0,36	0,75	0,01	168,59	1,0 mg/L N
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	1,01	0,61	1,10	2,60	0,21	109,17	3,7 mg/L N, para pH ≤ 7,5 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5 mg/L N, para pH ≤ 8,5
Fósforo (mg/L)	0,11	0,11	0,01	0,11	0,10	7,29	0,050 mg/L P
Sulfatos (mg/L)	17,79	17,79	20,66	32,40	3,18	116,14	250 mg/L SO <sub>4</sub>
Sólidos Dissolvidos Totais (STD)	116,76	80,71	82,38	239,63	66,00	70,55	-
Sólidos Sedimentáveis 60'	0,10	0,10	0,00	0,10	0,10	0,00	-

Parâmetros	Média	Mediana	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo	Coefficiente de variação (%)	Conama N° 357/2005 Classe II
Cloretos (mg/L)	8,83	8,83	7,11	13,85	3,80	80,53	250 mg/L Cl
Coliformes CT (NMP/100ml)	4,08E+05	4,08E+05	4,65E+05	7,37E+05	7,90E+04	114,05	1.000 (NMP/100ml)
Coliformes CF (NMP/100ml)	2,81E+05	2,81E+05	2,86E+05	4,84E+05	7,90E+04	101,72	1.000 (NMP/100ml)

Fonte: O Autor (2019).

(\*) Limite estabelecido para cor verdadeira. (-) Não dispõe de informação.

O tratamento descritivo da tabela 23 avalia o monitoramento da montante do Rio Muribequinha com o intuito de analisar os padrões de qualidade da água do corpo hídrico, averiguando as condições das mesmas antes do ponto de lançamento do efluente tratado. O Rio Muribequinha é classificado pela Resolução CONAMA n° 357/2005 e pela legislação estadual CPRH como classe II para águas doces pouco comprometidas, que podem ser destinadas ao abastecimento doméstico, depois de tratamento convencional.

A interpretação dos resultados qualitativos do monitoramento das águas superficiais pode levar em consideração se o uso desta água pode ser utilizado para o consumo ou indicar a má qualidade da mesma. Com relação aos parâmetros físicos observados no monitoramento realizado da água superficial podemos destacar a cor real geralmente é recomendável que seja determinada no momento da coleta, sua alteração pode ter origem natural, valores elevados do parâmetro cor podem estar associados com a presença de matéria orgânica, íons de ferro e manganês no ambiente aquático, que por sua vez interfere no parâmetro de Turbidez.

O parâmetro de Turbidez por sua vez representa a propriedade óptica de absorção e reflexão da luz, matéria em suspensão presente na água pode interferir os padrões de qualidade. A resolução CONAMA n° 357/2005 recomenda limites para Turbidez até 100 unidades nefelométrica de turbidez (NTU) para águas de rios classe II, o a média observada para o parâmetro de Turbidez da montante do Rio Muribequinha foi da ordem de 42,98 NTU, estando de acordo com o parâmetro de referência estabelecido.

Para a série de sólidos analisadas observa-se os sólidos sedimentáveis determinados pelo tempo que sedimentam a fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos da amostra, neste

caso 60' minutos, para análise dos sólidos dissolvidos totais representa o conjunto de todas as substâncias orgânicas e inorgânicas presentes na amostra, avaliando o peso total dos constituintes presentes na água.

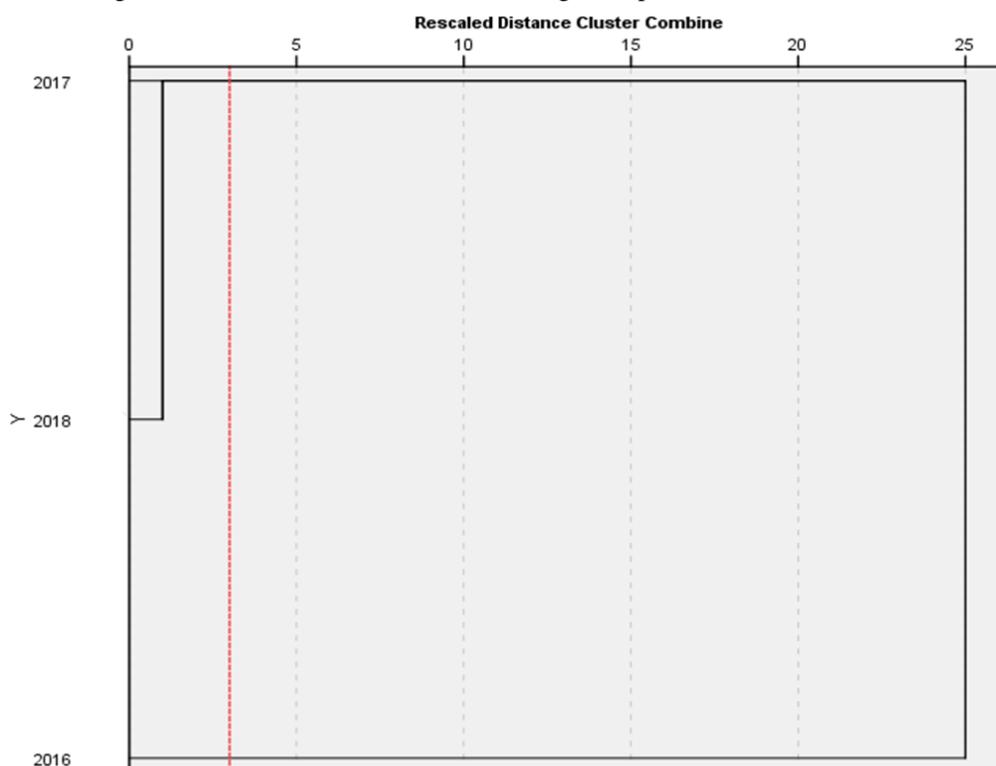
Os parâmetros físicos acarretam problemas estéticos por carrear substâncias em suspensão o que torna a água mais dura, modificam a sua coloração e o seu sabor abrigando e proporcionando o desenvolvimento de microrganismos indesejáveis.

O parâmetro pH indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade em que se encontra o meio aquoso, para os ecossistemas aquáticos naturais, o pH influencia diretamente sobre a fisiologia de diversas espécies. Vale ressaltar também o efeito indireto a cerca de determinadas condições o pH contribuem para a precipitação de elementos tóxicos e metais pesados, podendo exercer efeitos perante a solubilidade de alguns nutrientes. A resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece moderados limites do valor de pH, para rio classe II esta faixa varia entre 6,0 e 9,0. A média do pH para o ponto de monitoramento a montante do Rio Muribequinha encontra-se em torno de 7,15 considerado dentro dos padrões qualitativos estabelecidos pela legislação vigente de águas superficiais.

De acordo com as faixas estabelecidas para o CV, uma grande parcela dos parâmetros apresentou-se muito alta  $\geq 30$  acima da faixa de concentração estabelecida para o CV. Observa-se também, que a uma pequena parcela dos parâmetros de Temperatura, DQO, pH, Fósforo e Sólidos sedimentáveis, analisados se encontra na faixa de concentração abaixo  $< 10\%$  estabelecida para o CV, o que indica a variabilidade do conjunto de dados homogêneo. A Turbidez e a relação  $DBO_5/DQO$  encontram-se na faixa média entre  $10\% - 20\%$  sinalizando um conjunto de dados razoavelmente homogêneo.

A análise multivariada de agrupamentos hierárquicos (AAH) foi realizada para representar de maneira resumida todos os anos de monitoramento das águas superficiais da montante do Rio Muribequinha, conforme demonstrado no dendrograma da figura 53.

Figura 53 - Dendrograma do monitoramento ambiental das águas superficiais da montante do Rio Muribequinha



Fonte: O Autor (2019).

Em relação ao dendrograma do monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais da montante do Rio Muribequinha têm-se a formação de dois grupos de similaridade, o grupo formado pelos dois últimos anos de monitoramento estudado (2017-2018) apresentaram semelhanças entre os parâmetros observados, devido a pouca variação dos parâmetros nas análises realizadas. Acerca da primeira análise realizada no ponto de monitoramento iniciado a partir do 4º trimestre de 2015, observa-se que o mesmo não foi representado na análise de agrupamentos, isto ocorre devido o programa utilizado não considerar uma leitura homogênea do conjunto de dados referente aquele ano.

#### 4.3.1.2 Monitoramento do Rio Muribequinha (Jusante)

O ponto a jusante da ETL da Muribeca funciona desde que o monitoramento das águas superficiais foi iniciado, o período estudado contempla o pós-encerramento das atividades do aterro 2009 até o ano de 2018, o ponto de lançamento do efluente da Muribeca foi encerrado no ano de 2013, quando o efluente passou a ser tratado pelo sistema do CTR-Candeias e as lagoas da ETL-Muribeca serviram para retenção/armazenamento do efluente bruto. O monitoramento do Rio Muribequinha é realizado devido estar inserido na área de influência

direta do Aterro da Muribeca, seu curso passa ao lado das instalações da antiga estação de tratamento, onde o efluente tratado era despejado no curso hídrico.

Os dados referentes ao monitoramento da jusante do Rio Muribequinha foram submetidos aos mesmos métodos estatísticos que o ponto a montante. A tabela 24 apresenta a análise estatística descritiva dos parâmetros qualitativos do monitoramento à jusante do Rio Muribequinha, referente ao período (2009-2018).

Tabela 24 - Análise da estatística descritiva dos parâmetros qualitativos da jusante do Rio Muribequinha.

Parâmetros	Média	Mediana	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo	Coefficiente de variação (%)	Conama N° 357/2005 Classe II
Temperatura	27,29	27,22	1,10	26,23	28,5	4,03	-
DBO (mg/L)	45,69	62,50	35,52	7,00	83,50	77,74	5 mg/L O <sub>2</sub>
DQO (mg/L)	107,78	105,90	89,75	22,35	275,00	83,26	-
DBO/DQO	0,53	0,49	0,28	0,16	1,08	51,87	-
Oxigênio dissolvido	25,63	6,70	39,24	4,63	84,47	153,14	5 mg/L O <sub>2</sub>
pH	7,00	7,09	0,69	5,96	8,01	9,89	6,0 a 9,0
Cor (Hazen)	161,90	142,50	65,58	57,50	272,50	40,50	75 mg Pt/L*
Turbidez	45,46	37,53	20,34	25,08	77,82	44,73	100 NTU
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0,69	0,79	0,44	0,14	1,05	63,60	10,0 mg/L N
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,15	0,06	0,23	0,01	0,49	145,78	1,0 mg/L N
Condutividade elétrica	142,10	119,59	47,70	96,00	207,27	33,57	-
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	1,93	1,20	2,21	0,11	6,00	114,61	3,7 mg/L N, para pH ≤ 7,5 2,0 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 1,0 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 0,5 mg/L N, para pH ≤ 8,5
Fósforo (mg/L)	1,24	0,24	1,81	0,08	4,00	146,72	0,050 mg/L P
Sulfatos (mg/L)	175,26	27,30	277,16	3,47	495,00	158,15	250 mg/L SO <sub>4</sub>
Ferro total (mg/L)	4,07	3,80	3,81	0,62	8,05	93,69	-
Manganês (mg/L)	0,72	0,48	0,60	0,28	1,40	83,75	0,1 mg/L Mn

Parâmetros	Média	Mediana	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo	Coefficiente de variação (%)	Conama Nº 357/2005 Classe II
Sólidos Totais (ST)	242,17	224,00	72,24	176,00	344,67	29,83	-
Sólidos Totais Voláteis (STV)	142,79	124,33	58,54	94,50	228,00	40,99	-
STV/ST	0,56	0,58	0,16	0,36	0,72	29,42	-
Sólidos Suspensos Totais (SST)	123,32	145,30	54,41	43,67	159,00	44,12	-
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	62,88	61,92	34,00	27,67	100,00	54,07	-
SSV/SST	0,57	0,57	0,13	0,42	0,70	22,63	-
Sólidos Dissolvidos Totais (STD)	121,93	87,44	86,20	34,00	249,38	70,69	-
Sólidos Dissolvidos Voláteis (SDV)	74,79	36,42	83,89	26,00	200,33	112,17	-
SDV/SDT	0,54	0,50	0,35	0,23	0,92	65,72	-
Sólidos Sedimentáveis 60'	0,30	0,10	0,41	0,07	1,20	136,31	-
Alcalinidade total	38,03	30,00	24,69	19,00	80,00	64,93	-
Cloretos (mg/L)	39,73	38,15	35,10	5,60	77,00	88,36	250 mg/L Cl
Sulfetos (mg/L)	0,18	0,18	0,02	0,17	0,20	13,56	0,002 mg/L S
Cromo total (mg/L)	0,12	0,10	0,04	0,10	0,18	36,34	0,05 mg/L Cr
Coliformes CT (NMP/100ml)	1,75E+07	2,57E+06	2,21E+07	1,70E+05	5,34E+07	126,67	1.000 (NMP/100ml)

Parâmetros	Média	Mediana	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo	Coefficiente de variação (%)	Conama Nº 357/2005 Classe II
Coliformes CF (NMP/100ml)	4,88E+05	1,68E+05	6,58E+05	3,28E+04	1,53E+06	134,85	1.000 (NMP/100ml)

Fonte: O Autor (2019).

(\*) Limite estabelecido para cor verdadeira. (-) Não dispõe de informação.

A respeito do tratamento descritivo da tabela 24 referente ao monitoramento realizado a jusante Rio Muribequinha, o mesmo tem por objetivo analisar a qualidade da água do corpo hídrico receptor do efluente tratado do lixiviado do aterro, avaliando se o efluente causou alterações significativas na qualidade da água depois do ponto de lançamento, e se as mesmas continuam atendendo os padrões ambientais.

O Rio Muribequinha conforme mencionado anteriormente é classificado com rios de água doce classe II. A estatística descritiva representa uma média pertencente ao conjunto de dados referente a nove anos de monitoramento. Em referência aos parâmetros físicos discutidos anteriormente no monitoramento realizado a montante, pode-se ressaltar que pouco foram às variações dos parâmetros discutidos, a Cor, por exemplo, apresentou uma média inferior que a média observada na montante, o mesmo aconteceu para o parâmetro pH. A média para o pH no monitoramento a jusante do Rio Muribequinha encontra-se dentro dos limites que estabelece a resolução CONAMA nº 357/2005 para rios classe II, o mesmo acontece para a média da Turbidez observada na ordem de 45,46 NTU, estando de acordo com o parâmetro de referência estabelecido pela legislação vigente para o monitoramento dos anos observados para a jusante.

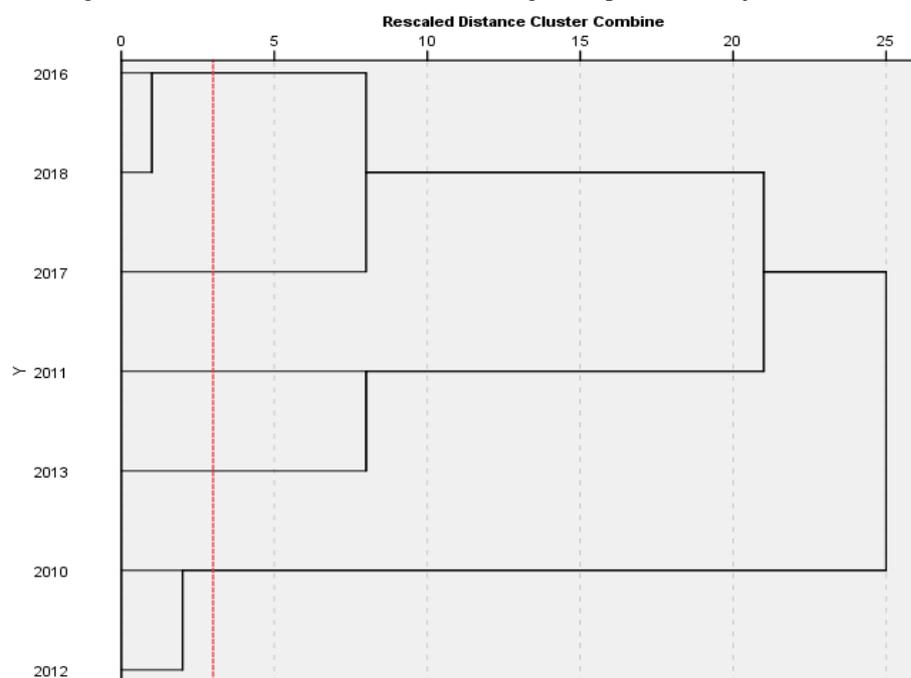
A maioria os parâmetros se apresentaram acima da faixa de concentração estabelecida para o CV muito alta  $\geq 30$ , observa-se também que outros parâmetros se encontram nas demais faixas de concentração estabelecida para o coeficiente de variação média (CV% entre 10% e 20%), e alta (CV% entre 20% e 30%). Apenas os parâmetros de Temperatura e pH encontraram-se na faixa abaixo dos 10%.

A única explicação provável para variação muito alta do coeficiente de variação para grande parte dos parâmetros analisado deve-se as interferências das constantes transformações climáticas e antrópicas que os corpos hídricos estão sujeitos.

O dendrograma gerado a partir da AAH realizada identifica a formação de grupos homogêneos semelhantes nos dados observados. A figura 54 expõe de maneira resumida a

formação de grupos com variáveis semelhantes, para todos os anos de monitoramento das águas superficiais da jusante do Rio Muribequinha.

Figura 54 - Dendrograma do monitoramento ambiental das águas superficiais da jusante do Rio Muribequinha.



Fonte: O Autor (2019).

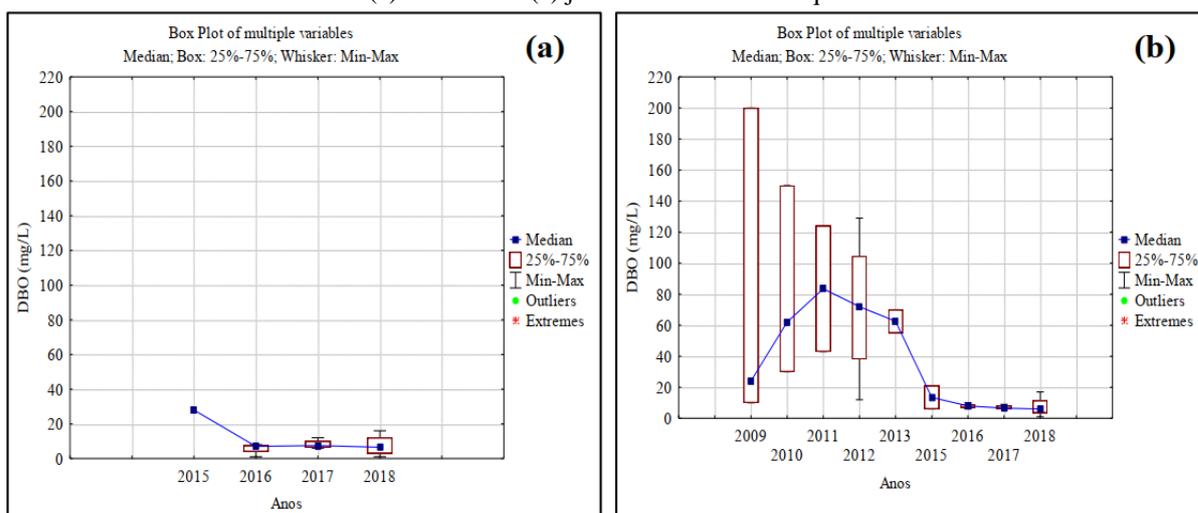
O dendrograma da figura 54 referente ao monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais da jusante do Rio Muribequinha, analisa as similaridades entre as médias referentes aos anos de 2010-2018, com exceção dos anos de 2014 e 2015. Observa-se a formação de cinco grupos de semelhança, o primeiro grupo formado pelos anos (2016 e 2018), o segundo grupo de semelhança formado pelos anos (2010 e 2012) em relação dos parâmetros observados, devido apresentarem poucas variações entre as análises realizadas. Os demais grupos formados pelos anos de 2011, 2013 e 2017 não apresentaram semelhanças entre si, sendo distintos dos demais.

O *Bloxplot* foi utilizado para demonstrar graficamente a evolução de alguns dos parâmetros da montante e jusante do Rio Muribequinha. Sendo o monitoramento a montante referente ao período (4º trimestre de 2015-2018). É importante relembrar que o ponto de monitoramento em questão começou a fazer parte do monitoramento ambiental realizado da área de influência direta do Aterro da Muribeca, a partir do 4º trimestre de 2015. Para o monitoramento a jusante do Rio Muribequinha, referente ao período do pós-encerramento (2009-2018) do Aterro da Muribeca. Na estatística descritiva o *Bloxplot* é utilizado para

identificar onde estão localizados 50% dos valores mais prováveis, mínimos e máximos e a mediana dos parâmetros estudados.

As figuras 55(a) montante e 55(b) jusante do Rio Muribequinha, representam graficamente através do *Bloxplot*, a evolução do parâmetro DBO (mg/L), na caracterização do monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais da área de influência direta do Aterro da Muribeca.

Figura 55 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro DBO (mg/L), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (a) jusante do Rio Muribequinha.



Fonte: O Autor (2019).

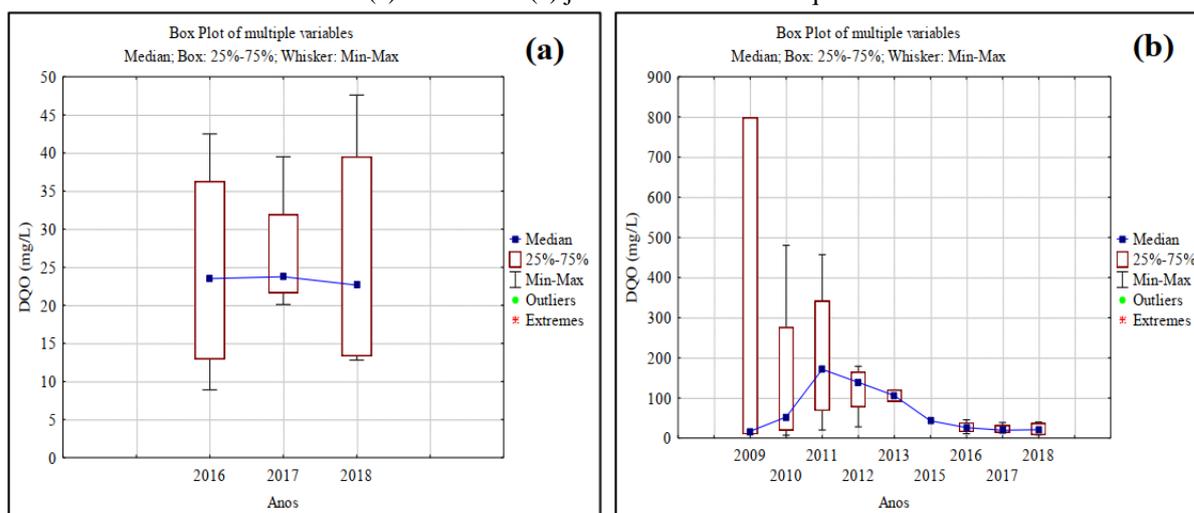
A análise de DBO em corpos hídricos é um dos principais parâmetros que manifesta a variação dos processos bioquímicos de estabilização da matéria orgânica presente no corpo d'água. A DBO de uma água mede a quantidade de oxigênio necessário para consumir a matéria orgânica, através da decomposição microbiana aeróbia. Observar-se nos gráficos da figura 55, que a média dos valores do monitoramento a jusante do Rio Muribequinha nos anos iniciais, não se enquadravam na resolução Conama nº 357/2005 para rios de água doce classe II, DBO até 5mg/L O<sub>2</sub>. Isto pode ser entendido pelo fato que até o primeiro trimestre do ano de 2013 o Rio Muribequinha recebia o lixiviado tratado da ETL da Muribeca, contribuindo para elevar as concentrações dos parâmetros observados.

Conforme observado após o redirecionamento do tratamento para ETE do CTR-Candeias, o monitoramento do Rio Muribequinha continua sendo realizado por circundar a área da antiga ETL da Muribeca. O monitoramento a montante passou a fazer parte do programa de monitoramento ambiental das águas superficiais a partir do 4º trimestre de 2015. Observa-se que as médias nos anos subsequentes tanto para a montante e a jusante se

enquadraram nos parâmetros de referência da resolução Conama nº 357/2005 para rios de água doce classe II.

As figuras 56(a) montante e 56(b) jusante do Rio Muribequinha, representam graficamente através do *Bloxplot*, a evolução do parâmetro DQO (mg/L), na caracterização do monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais da área de influência direta do Aterro da Muribeca.

Figura 56 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro DQO (mg/L), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (a) jusante do Rio Muribequinha.

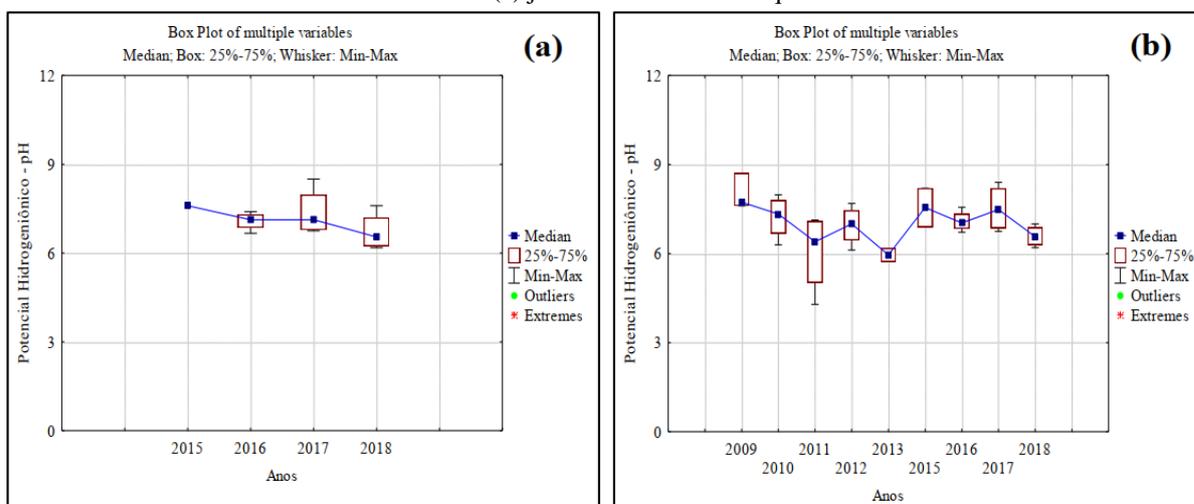


Fonte: O Autor (2019).

A análise dos valores de DQO em corpos hídricos superficiais é uma das mais significantes para determinar o grau de poluição da água, a partir da concentração da matéria orgânica total presente na amostra, sendo biodegradável ou não. Não existe parâmetros de referência nas legislações consultadas para a DQO. Na literatura têm-se o entendimento que altas concentrações podem ser tóxicas ao ecossistema aquático. De acordo com os gráficos da figura 56, após o redirecionamento do tratamento do lixiviado pra outra unidade, o ponto de lançamento foi encerrado, com isso observa-se que após o ano de 2013 as concentrações médias da DQO foram diminuindo ficando abaixo das 100 mg/L de DQO. Observa-se também que nos últimos anos de monitoramento (2016, 2017 e 2018) tanto as concentrações medidas a montante quanto a jusante encontraram-se abaixo dos 50 mg/L de DQO.

As figuras 57(a) montante e 57(b) jusante do Rio Muribequinha, representam graficamente através do *Bloxplot*, a evolução do parâmetro pH, na caracterização do monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais da área de influência direta do Aterro da Muribeca.

Figura 57 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro pH, do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (a) jusante do Rio Muribequinha.



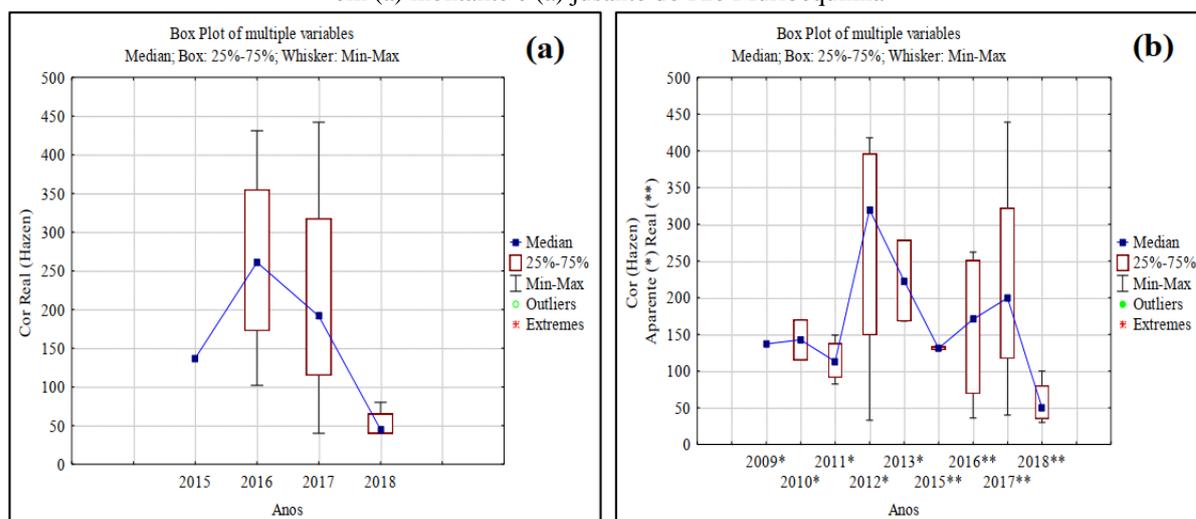
Fonte: O Autor (2019).

Águas naturais normalmente apresentam pHs que variam entre 7 e 8 o que são considerados adequados para o ecossistema de peixes e plantas de águas doces. A resolução Conama nº 357/2005 para rios de água doce classe II, determina a faixa de pH para essa classe entre 6,0 e 9,0.

Observa-se nos gráficos da figura 57, que nos anos iniciais de controle a jusante, mas precisamente no ano de 2011 o pH variou negativamente chegando abaixo de 5,0 pH ácido para a classe II em que se enquadra o corpo hídrico superficial. Observa-se assim como nos parâmetros anteriormente analisados, após o redirecionamento do tratamento para ETE do CTR-Cadeias, nota-se que tanto o controle realizado a montante e a jusante variam na faixa entre 6,0 e 9,0 recomendada pela resolução Conama 357/2005 para rios classe II.

As figuras 58(a) montante e 58(b) jusante do Rio Muribequinha, representam graficamente através do Bloxplot, a evolução do parâmetro Cor (Hazen), na caracterização do monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais da área de influência direta do Aterro da Muribeca.

Figura 58 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro Cor (Hazen), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (a) jusante do Rio Muribequinha

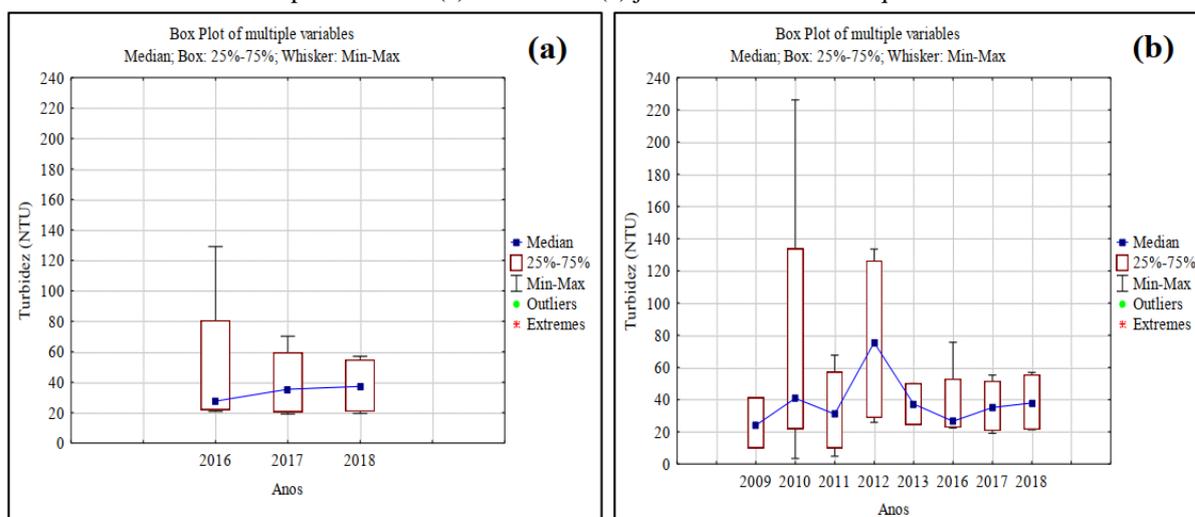


Fonte: O Autor (2019).

A cor é um parâmetro físico que analisa a aparência da água, a presença de substâncias que podem ocasionar alterações de origem natural, devido à presença de matéria orgânica, ou por atividade antropogênica a partir do lançamento de efluentes doméstico e industriais. No monitoramento realizado a Jusante para a qualidade da água do Rio Muribequinha era realizado para Cor Aparente que se observa a amostra ao natural conforme ela foi coletada. A partir do ano de 2015 a Cor Real ou Verdadeira, começou a ser analisada, após a amostra ser microfiltrada eliminando possíveis interferências, apenas medindo o calor da cor na amostra. A resolução Conama 357/2005 para rios classe II, determina a Cor verdadeira até 75 mg Pt/L (miligramas de platina por litro), observa-se que as médias apresentadas no anos de monitoramento realizados não se enquadra nos padrões de referências estabelecidos pela legislação vigente. Apenas o ano de 2018 apresenta-se a média em conformidade com a resolução Conama consultada.

As figuras 59(a) montante e 59(b) jusante do Rio Muribequinha, representam graficamente através do Bloxplot, a evolução do parâmetro Turbidez (NTU), na caracterização do monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais da área de influência direta do Aterro da Muribeca.

Figura 59 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro Turbidez (NTU), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (a) jusante do Rio Muribequinha

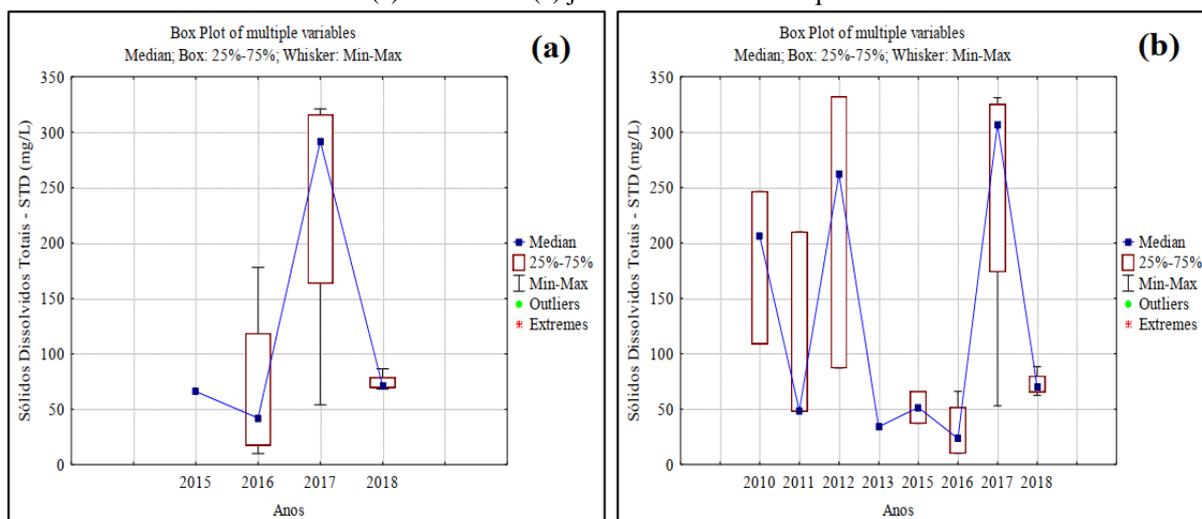


Fonte: O Autor (2019).

A análise de turbidez de um efluente superficial está diretamente relacionada com sua coloração, além de aferir o grau de interferência à penetração da luz solar causada por sólidos em suspensão, prejudicando diretamente a fotossíntese das algas e plantas aquáticas, ocasionando impacto no ecossistema aquático. A resolução Conama 357/2005 para rios classe II, determina a turbidez até 100 NTU. Observa-se que os valores médios na montante e jusante encontram-se dentro da faixa determinada pela resolução consultada, nota-se também que alguns valores variaram acima do limite máximo estabelecido de referência, entretanto, não são valores preocupantes uma vez que os rios estão em constante transformação, e sua dinâmica é influenciada pelo clima, temperatura entre outros diferentes tipos de comportamentos.

As figuras 60(a) montante e 60(b) jusante do Rio Muribequinha, representam graficamente através do Bloxplot, a evolução do parâmetro STD (mg/L), na caracterização do monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais da área de influência direta do Aterro da Muribeca.

Figura 60 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro STD (mg/L), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (a) jusante do Rio Muribequinha.



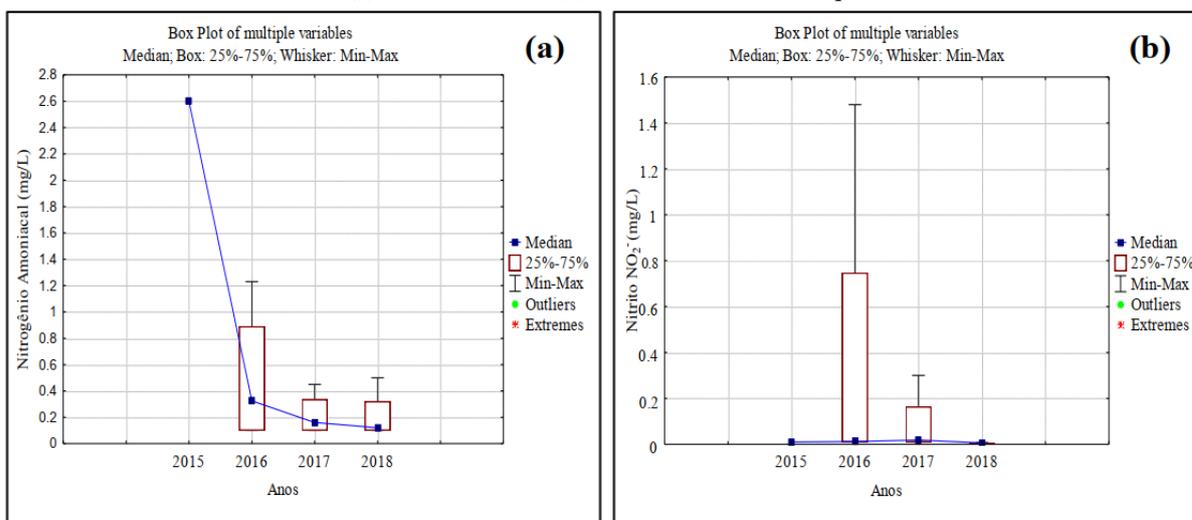
Fonte: O Autor (2019).

Os sólidos dissolvidos totais SDT em águas superficiais apresentam variações naturais em sua própria composição, entretanto atividades antropogênicas e poluição difusa podem interferir na qualidade da água do corpo hídrico, causando grande impacto ambiental. A resolução Conama 357/2005 para rios classe II, que preconiza valor máximo permitido de 500mg/L de sólidos dissolvidos totais para a mencionada classe. O monitoramento ambiental da qualidade das águas superficiais do Rio Muribequinha, a montante e a jusante em todos os anos de monitoramento observado, se enquadra nos valores máximos permitidos pela legislação ambiental consultada.

Alguns dos parâmetros que serão discutidos posteriormente não serão comparados a montante e a jusante do Rio Muribequinha. É o caso do monitoramento dos parâmetros Nitrogênio Amoniacal e Nitrito correspondendo às análises de qualidade a montante. Os parâmetros de Coliformes Totais e Termotolerantes correspondem o monitoramento a jusante.

As figuras 61(a) Nitrogênio Amoniacal 61(b) Nitrito, do Rio Muribequinha, representam graficamente através do Bloxplot, a evolução dos parâmetros a jusante, na caracterização do monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais da área de influência direta do Aterro da Muribeca.

Figura 61 - Gráfico Bloxplot para os parâmetros do monitoramento ambiental a montante das águas superficiais em (a) N-Amoniacal e (b) Nitrito do Rio Muribequinha.



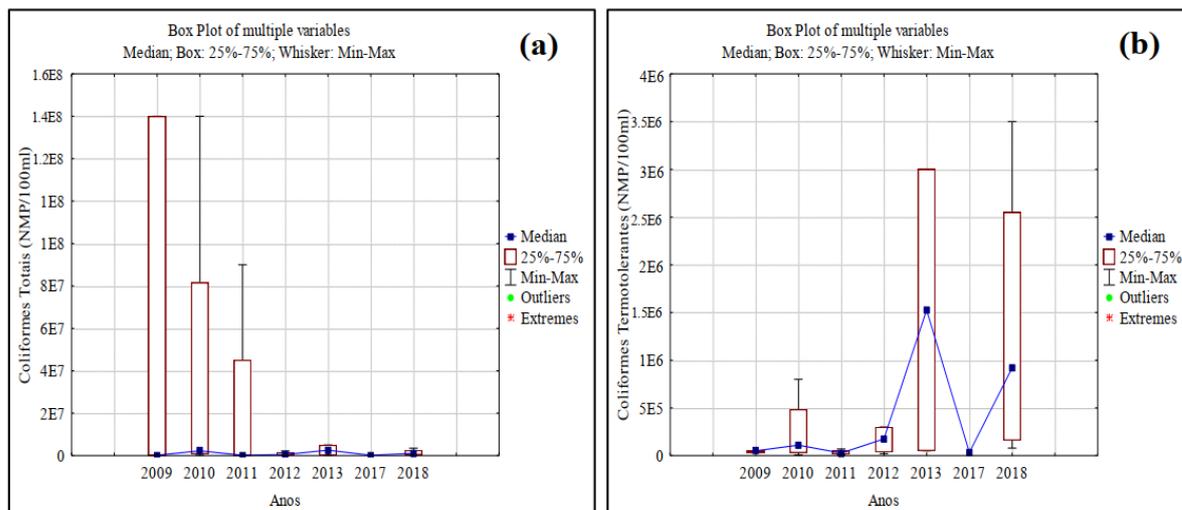
Fonte: O Autor (2019).

O excesso de N-Amoniacal em corpos hídricos receptores poderá ocasionar déficit de oxigênio dissolvido, contribuindo para a eutrofização e ocasionando toxicidade aos ecossistemas aquáticos. De acordo com a resolução Conama 357/2005 para rios classe II, as concentrações de nitrogênio amoniacal permitidos variam de acordo com a faixa de pH observada na figura 57 entre 6,0 e 8,5, têm-se duas faixas de concentrações 3,7 mg/L N, para  $\text{pH} \leq 7,5$  e 2,0 mg/L N, para  $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$ , estando em conformidade com os padrões ambientais.

O nitrogênio apresenta-se no ambiente aquático em diversas formas, podendo ser de origem natural ou proveniente das atividades humanas, o nitrito é uma delas. O nitrito é encontrado nas águas superficiais como resultado da decomposição biológica da matéria orgânica, oriundos da ação dos microrganismos sobre o N-Amoniacal, ou provenientes dos lançamentos dos efluentes industriais. Nas águas superficiais indica os processos biológicos ativos que são influenciados pela poluição orgânica. De acordo com a Conama 357/2005 para rios classe II, o nitrito não deve exceder o valor máximo permitido de 1,0 mg/L N, nota-se que praticamente todos os anos de monitoramento se enquadraram com o estabelecido pela Conama, com exceção apenas do ano de 2016 que registrou uma pequena variação acima do limite máximo estabelecido de referência.

As figuras 62(a) Coliforme total 62(b) Coliformes Termotolerantes, do Rio Muribequinha, representam graficamente através do Bloxplot, a evolução dos parâmetros a jusante, na caracterização do monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais da área de influência direta do Aterro da Muribeca.

Figura 62 - Gráfico Bloxplot para os parâmetros do monitoramento ambiental a jusante das águas superficiais em (a) Coliformes Totais (b) Coliformes Termotolerantes do Rio Muribequinha.



Fonte: O Autor (2019).

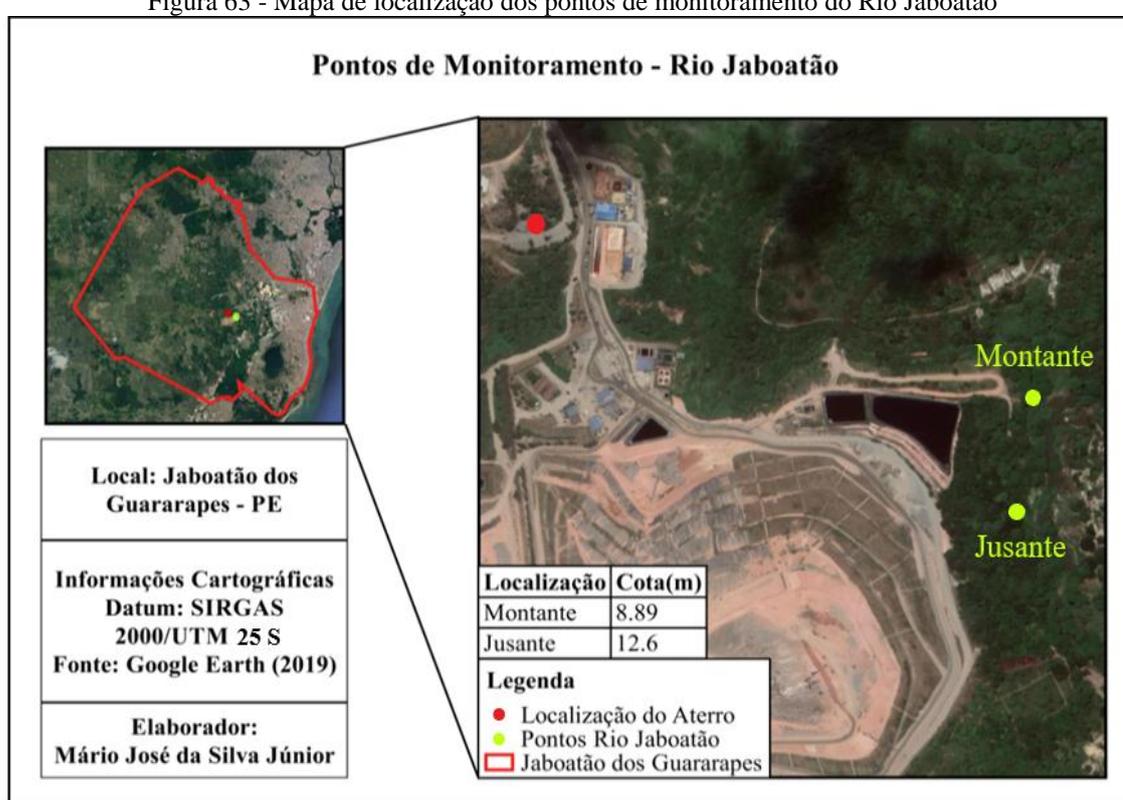
Verificam-se nos gráficos da figura 62 acima os valores médios dos parâmetros do coliforme total e termotolerante, para o monitoramento das águas superficiais a jusante do Rio Muribequinha. A norma técnica estadual CPRH nº 2007 classifica as águas nas classes, segundo o seu uso e os parâmetros bacteriológicos correspondentes. De acordo com a norma técnica estadual o número permitido para classe II é de  $5,0 \times 10^3$  (NMP CT/100 mL) para coliformes totais, observa-se que houve uma redução das concentrações de coliformes total no Rio Muribequinha, entretanto, nota-se que os valores médios ainda se comportam acima dos valores máximos permitidos, a presença de coliformes em amostras de águas superficial indica a contaminação fecal de origem animal ou humano, pode-se sugerir a influência de poluição difusa no rio, com lançamento de esgoto doméstico.

Para os coliformes termotolerantes, assim como, a norma técnica estadual as resoluções Conama nº 20/1986 e nº 357/2005, determinam que análise do parâmetro para classe II não deve exceder o limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitro, em 80% ou mais, de pelo menos 6 amostras coletadas durante o período de um ano. Observa-se que no monitoramento realizado houve variações acima das concentrações de coliformes termotolerantes estabelecidas pelas legislações consultadas durante os anos observados, ressalta que o ponto de lançamento do efluente do ETL da Muribeca foi encerrado no 1º trimestre de 2013. Concentrações maiores observados no de 2018 não tem contribuição do lixiviado tratado da Muribeca, sugere-se a influência de esgotos domésticos por poluição difusa.

#### 4.3.1.3 Monitoramento do Rio Jaboatão (Montante)

O monitoramento realizado nas águas superficiais coletadas no Rio Jaboatão localizado na área de influência direta do lançamento do lixiviado tratado do Aterro da Muribeca. Os pontos de monitoramento a montante encontra-se entre as coordenadas geográficas: 8°09'57,7"S e 34°58'26,2"W para a montante e, 8°10'02,6"S e 34°58'26,8"W para a jusante. Abaixo se encontra a figura 63 com o mapa de localização dos pontos de monitoramento do Rio Jaboatão, realizado no software QGIS.

Figura 63 - Mapa de localização dos pontos de monitoramento do Rio Jaboatão



Fonte: O Autor (2019).

Os dados fornecidos referentes ao monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais do Rio Jaboatão, seguiram os mesmos procedimentos estatísticos descritos anteriormente para o Rio Muribequinha. Consistindo na análise estatística descritiva, gráficos estilo *Bloxplot* e análise multivariada de agrupamentos. A seguir se encontra a tabela 25 com a estatística descritiva dos resultados obtidos das análises a montante do Rio Jaboatão.

Tabela 25 - Análise da estatística descritiva dos parâmetros qualitativos da montante do Rio Jaboatão

Parâmetros	Média	Mediana	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo	Coefficiente de variação (%)	Conama Nº 357/2005 Classe III
Temperatura	27,84	27,74	0,64	29,00	27,25	2,30	-
DBO (mg/L)	54,33	38,63	52,41	174,25	8,75	96,46	10 mg/L O <sub>2</sub>
DQO (mg/L)	125,57	112,17	101,76	341,25	26,78	81,04	-
DBO/DQO	0,41	0,34	0,17	0,79	0,25	42,70	-
Oxigênio dissolvido	18,37	5,37	35,68	91,09	0,40	194,28	4 mg/L O <sub>2</sub>
pH	7,24	7,21	0,23	8,0	6,99	3,11	6,0 a 9,0
Cor real	192,99	185,75	109,18	360,71	40,00	56,57	75 mg Pt/L*
Turbidez	32,09	29,15	10,14	47,48	18,80	31,59	100 NTU
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	2,09	2,32	1,26	3,53	0,40	60,53	10,0 mg/L N
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,17	0,16	0,10	0,26	0,04	58,85	1,0 mg/L N
Condutividade elétrica	368,11	332,22	111,54	577,25	280,93	30,30	-
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	5,19	3,72	3,32	9,67	1,50	63,96	13,3 mg/L N, para pH ≤ 7,5 5,6 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 2,2 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 1,0 mg/L N, para pH ≤ 8,5
Fósforo (mg/L)	0,79	0,31	0,98	2,99	0,15	123,02	0,075 mg/L P
Sulfato total (mg/L)	40,40	11,93	59,38	144,17	0,01	146,98	250 mg/L SO <sub>4</sub>
Ferro total (mg/L)	133,78	1,72	323,73	794,59	0,88	241,98	-
Cromo (mg/L)	0,04	0,04	0,02	0,07	0,01	49,57	0,05 mg/L Cr
Zinco (mg/L)	9,27	9,27	13,08	18,51	0,02	141,12	5 mg/L Zn
Manganês (mg/L)	0,28	0,15	0,26	0,65	0,06	92,50	0,5 mg/L Mn
Sólidos Totais (ST)	264,94	254,00	83,20	360,25	191,50	31,40	-
Sólidos Totais Voláteis (STV)	123,13	104,75	67,68	217,00	66,00	54,97	-

Parâmetros	Média	Mediana	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo	Coefficiente de variação (%)	Conama N° 357/2005 Classe III
STV/ST	0,30	0,30	0,01	0,31	0,29	4,71	-
Sólidos Suspensos Totais (SST)	135,88	125,00	62,98	211,50	82,00	46,35	-
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	75,66	68,81	39,35	129,00	36,00	52,02	-
SSV/SST	0,56	0,54	0,14	0,74	0,42	25,87	-
Sólidos Dissolvidos Totais (STD)	180,39	178,00	77,09	337,50	96,67	42,74	-
Sólidos Dissolvidos Voláteis (SDV)	47,47	40,00	29,49	88,00	21,88	62,13	-
SDV/SDT	0,34	0,28	0,18	0,59	0,19	52,48	-
Sólidos Sedimentáveis 60'	0,26	0,23	0,20	0,53	0,05	78,22	-
Alcalinidade total	122,53	99,33	63,37	220,00	59,18	51,72	-
Cloretos (mg/L)	55,72	53,68	24,32	97,00	31,30	43,64	250 mg/L Cl
Sulfetos (mg/L)	1,36	0,20	1,83	4,20	0,05	134,87	0,3 mg/L S
Coliformes CT (NMP/100ml)	1,38E+07	3,06E+06	2,11E+07	5,64E+07	2,20E+05	153,24	4.000 (NMP/100ml)
Coliformes CF (NMP/100ml)	2,00E+06	1,31E+06	2,77E+06	8,34E+06	3,30E+04	138,67	4.000 (NMP/100ml)

Fonte: O Autor (2019).

(\*) Limite estabelecido para cor verdadeira. (-) Não dispõe de informação.

O tratamento descritivo da tabela 25 avalia o monitoramento da montante do Rio Jabotão com a finalidade de analisar os padrões de qualidade da água do corpo hídrico, analisando as condições do mesmo antes do ponto de lançamento do efluente tratado. De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005 como classe III águas doces que podem ser destinadas ao abastecimento para o consumo humano, após o tratamento convencional ou avançado.

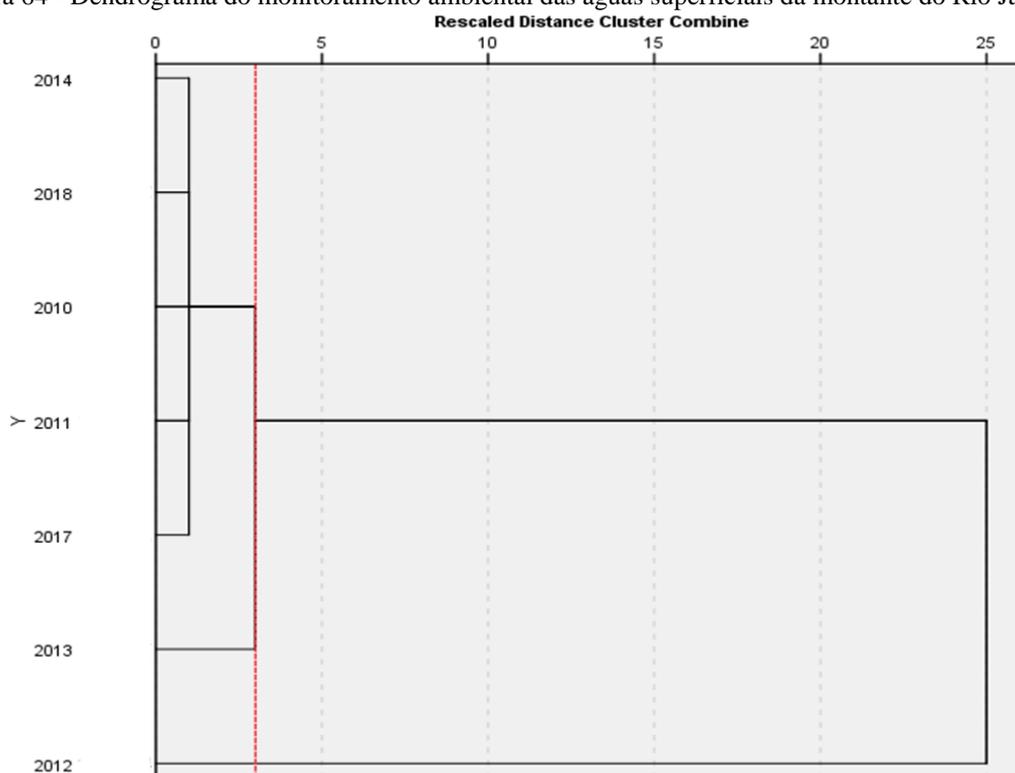
O monitoramento realizado na qualidade da água dos ecossistemas hídricos é de grande relevância para o conhecimento do ambiente, como também para identificar a variação dos parâmetros de qualidade ambiental, alterações causadas por atividades antrópicas, provocam impactos que afeta os organismos dos ambientes aquáticos.

A interpretação destes dados é essencial para o monitoramento das águas superficiais acerca de analisar as características das águas antes de receber o efluente tratado. A estatística descritiva da tabela anterior representa um valor médio pertencente a um conjunto de dados, referente a nove anos de monitoramento. A respeito dos parâmetros químicos analisados no monitoramento realizado, podemos destacar a DBO, pH, Nitrogênio Amoniacal, Condutividade elétrica e Cloreto. Evidencia que a grande parte dos parâmetros observados encontra-se dentro da faixa de valores máximos permitidos estabelecidos pela resolução Conama nº 357/2005 para rios classe III.

De acordo com as faixas de concentração estabelecidas para o CV propostas por Pimentel-Gomes (2009), a maioria dos parâmetros observados apresentou-se acima da faixa de concentração muito alta  $\geq 30$  estabelecida para o CV, indicando um conjunto de dados dispersos e heterogêneos. A alta dispersão dos dados para o coeficiente de variação muito alta pode-se justificar pelas constantes transformações que o as águas superficiais estão sujeitas. Observa-se também que apenas a Temperatura, pH e a relação SVT/ST encontrara-se na faixa abaixo dos 10% , indicando a variabilidade do conjunto de dados mais homogêneo.

A estatística multivariada de agrupamentos hierárquicos identifica por meio das médias anuais dos parâmetros estudados a formação de grupos com comportamento homogêneos. O dendrograma gerado da figura 64 identifica de maneira resumida, à formação de grupos com variáveis semelhantes, para todos os anos de monitoramento das águas superficiais da montante do Rio Jabotão.

Figura 64 - Dendrograma do monitoramento ambiental das águas superficiais da montante do Rio Jaboatão.



Fonte: O Autor (2019).

O dendrograma do monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais da montante do Rio Jaboatão, analisa as similaridades entre as médias referentes aos anos de 2010-2018, com exceção dos anos de 2015 e 2016. Observa-se a formação de três grupos, o primeiro grupo formado pela maior parte dos anos estudados (2010, 2011, 2014, 2017 e 2018) com relação aos parâmetros observados, devido apresentarem variações semelhantes entre si, os outros dois grupos formados pelos anos de 2012 e 2013 se apresentaram distintos dos demais.

A análise de agrupamentos hierárquicos a partir das médias observadas, não incluiu os anos (2009, 2015 e 2016) na análise, isto ocorreu devido o teste não reconhecer a homogeneidade das médias dos dados referentes há esses ano, uma vez que os mesmos apresentaram ausência de análise de alguns parâmetros do monitoramento ambiental, por isso o teste realizado não incluiu na análise estatística.

#### 4.3.1.4 Monitoramento do Rio Jaboatão (Jusante)

Os dados referentes ao monitoramento da jusante do Rio Jaboatão foram submetidos aos mesmos métodos estatísticos que o ponto a montante. A tabela 26 apresenta a análise

estatística descritiva dos parâmetros qualitativos do monitoramento à jusante do Rio Jaboatão, referente ao período (2009-2018).

Tabela 26- Análise da estatística descritiva dos parâmetros qualitativos da jusante do Rio Jaboatão

Parâmetros	Média	Mediana	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo	Coefficiente de variação (%)	Conama N° 357/2005 Classe III
Temperatura	28,36	28,13	1,16	30,00	27,00	4,09	-
DBO (mg/l)	55,83	56,30	43,61	120,00	8,25	78,11	10 mg/L O <sub>2</sub>
DQO (mg/l)	166,85	98,54	206,92	716,47	27,35	124,01	-
DBO/DQO	0,40	0,36	0,21	0,91	0,17	50,92	-
Oxigênio dissolvido	16,91	5,11	30,65	79,21	0,60	181,22	4 mg/L O <sub>2</sub>
pH	7,21	7,15	0,27	7,62	6,90	3,74	6,0 a 9,0
Cor real	189,48	172,75	111,87	390,99	35,00	59,04	75 mg Pt/L*
Turbidez	43,05	38,65	29,62	12,67	112,26	68,82	100 NTU
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	2,01	2,24	1,22	3,27	0,30	60,69	10,0 mg/L N
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,91	0,41	1,08	2,51	0,03	118,02	1,0 mg/L N
Fósforo total (mg/L)	0,75	0,31	0,80	2,31	0,06	106,65	0,075 mg/L P
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	3,63	2,33	5,09	17,13	1,00	140,14	13,3 mg/L N, para pH ≤ 7,5 5,6 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 2,2 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 1,0 mg/L N, para pH ≤ 8,5
Ferro total (mg/L)	782,37	1,57	1913,12	4687,50	0,30	244,53	-
Sulfato total (mg/L)	43,69	11,37	65,96	159,17	0,01	150,98	250 mg/L SO <sub>4</sub>
Condutividade e elétrica	397,62	396,71	98,89	564,52	297,94	24,87	-
Cromo (mg/L)	0,07	0,06	0,06	0,16	0,02	83,85	0,05 mg/L Cr
Zinco (mg/L)	4,76	0,04	8,20	14,23	0,00	172,48	5 mg/L Zn
Manganês (mg/L)	0,31	0,13	0,41	1,22	0,06	133,42	0,5 mg/L Mn
Sólidos Totais (ST)	290,31	267,38	63,01	382,50	244,00	21,70	-

Parâmetros	Média	Mediana	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo	Coefficiente de variação (%)	Conama Nº 357/2005 Classe III
Sólidos Totais							
Voláteis (STV)	137,13	123,25	64,50	221,50	80,50	47,04	-
STV/ST	0,27	0,27	0,11	0,35	0,19	42,76	-
Sólidos Suspensos Totais (SST)	163,24	152,04	60,98	239,00	109,88	37,36	-
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	88,23	88,25	15,00	106,50	69,93	17,00	-
SSV/SST	0,36	0,36	0,01	0,37	0,35	3,98	-
Sólidos Dissolvidos Totais (STD)	167,94	147,00	85,57	333,13	43,13	50,95	-
Sólidos Dissolvidos Voláteis (SDV)	49,03	37,05	50,83	115,00	7,00	103,69	-
SDV/SDT	0,33	0,13	0,41	0,80	0,05	126,79	-
Sólidos Sedimentáveis	21,39	0,33	42,23	84,73	0,18	197,43	-
Cloretos (mg/L)	64,54	50,81	37,95	130,00	31,00	58,80	250 mg/L Cl
Alcalinidade total	142,67	143,33	88,03	280,00	59,18	61,71	-
Sulfetos (mg/L)	1,45	0,30	1,86	4,40	0,06	128,61	0,3 mg/L S
Coliformes CT (NMP/100ml)	2,15E+07	2,00E+07	2,22E+07	5,61E+07	1,10E+05	103,28	4.000 (NMP/100ml)
Coliformes CF (NMP/100ml)	4,74E+06	4,93E+05	9,35E+06	2,80E+07	5,95E+04	197,32	4.000 (NMP/100ml)

Fonte: O Autor (2019).

(\*) Limite estabelecido para cor verdadeira. (-) Não dispõe de informação.

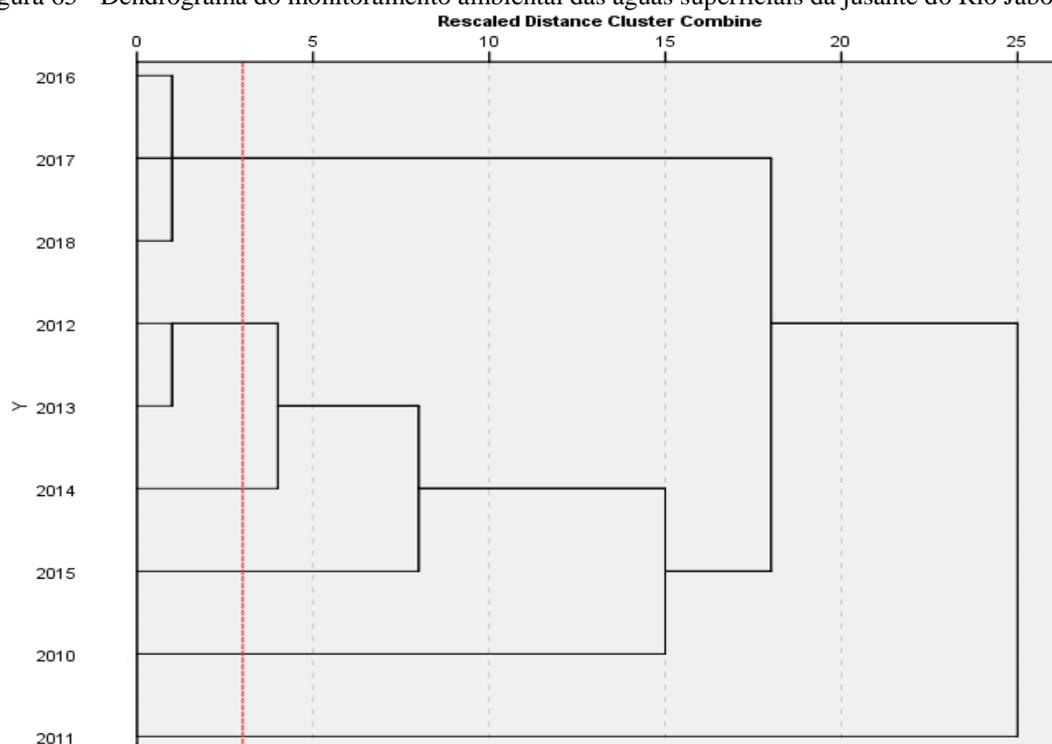
O tratamento descritivo da tabela 26 refere-se ao monitoramento da jusante do Rio Jaboatão, com o intuito de analisar as alterações dos padrões de qualidade dos corpos hídricos após o ponto de lançamento do efluente tratado. O Rio Jaboatão conforme especificado anteriormente é classificado como rios de água doce classe III. Em relação à estatística descritiva do monitoramento analisado, representa uma média pertencente ao conjunto de dados referente aos nove anos de monitoramento.

A média agrega uma grande quantidade de informações acerca do monitoramento realizado, é importante salientar que as análises realizadas pelas coletas trimestrais do monitoramento das águas superficiais, ressalta que poucos foram às variações dos parâmetros observados durante os anos de monitoramento.

A maior parte dos parâmetros apresentou-se acima da faixa de concentrações estabelecidas muito alta  $\geq 30$  utilizada para expressar a variabilidade do Coeficiente de Variação, observa-se também que outras duas faixas de concentrações estabelecidas engloba alguns parâmetros, para a faixa baixa  $< 10\%$  encontram-se os parâmetros de Temperatura, pH e a relação SSV/SST. Os Sólidos Suspensos Voláteis situa-se na faixa média entre  $10\% - 20\%$ , e os parâmetros de Condutividade elétrica e Sólidos Totais na faixa alta entre  $20\% - 30\%$ . A faixa de concentrações significa que quanto menor o CV mais homogêneo é o conjunto de dados analisados.

A análise estatística multivariada de agrupamentos identifica a formação de grupos homogêneos semelhantes nos dados observados. O dendrograma da figura 65 demonstra de maneira resumida a formação de grupos com variáveis semelhantes, para todos os anos de monitoramento das águas superficiais da jusante do Rio Jaboatão.

Figura 65 - Dendrograma do monitoramento ambiental das águas superficiais da jusante do Rio Jaboatão.



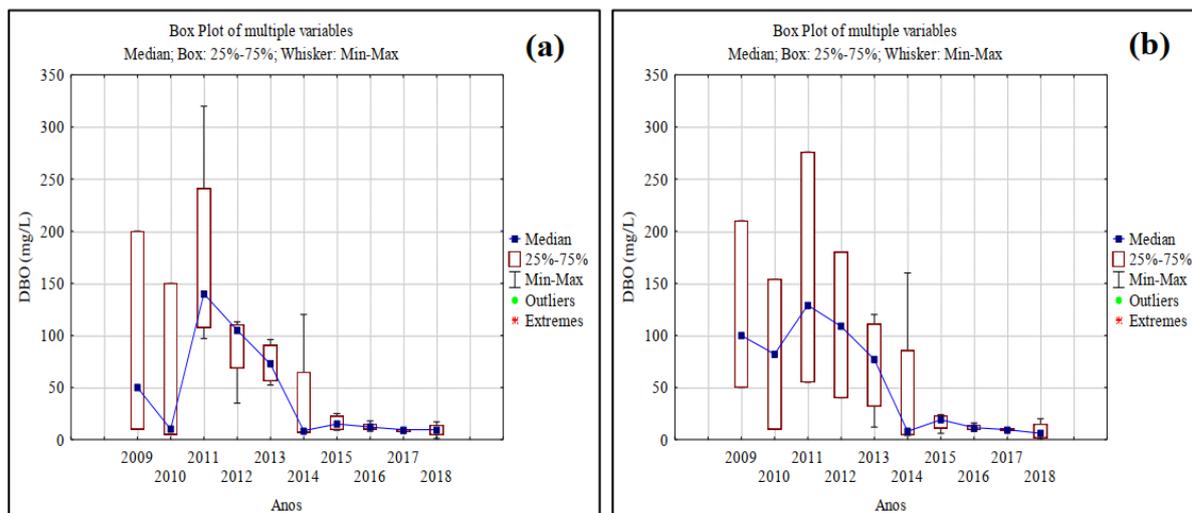
Fonte: O Autor (2019).

O dendrograma do monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais da jusante do Rio Muribequinha tem a formação de seis grupos, o primeiro grupo de semelhança formado pelos últimos três anos de monitoramento estudados (2016, 2017 e 2018), o segundo grupo de semelhanças formado pelos anos de 2012-2013 acerca dos parâmetros observados, devido apresentarem poucas variações entre as análises realizadas. Os demais anos de monitoramento não apresentaram semelhanças entre si, sendo distintos dos demais.

Na estatística descritiva o gráfico *Bloxplot* identifica onde estão localizados 50% dos valores mais prováveis, mínimos e máximos e a mediana dos parâmetros estudados, os mesmos foram utilizados para demonstrar graficamente a evolução de alguns dos parâmetros realizados no monitoramento ambiental da qualidade das águas superficiais nos pontos localizados a montante e a jusante do Rio Jaboatão, referente ao período (2009-2018).

As figuras 66(a) montante e 66(b) jusante do Rio Jaboatão, representam graficamente através do *Bloxplot*, a evolução do parâmetro DBO (mg/L), na caracterização do monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais da área de influência direta do Aterro da Muribeca.

Figura 66 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro DBO (mg/L), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (b) jusante do Rio Jaboatão.



Fonte: O Autor (2019).

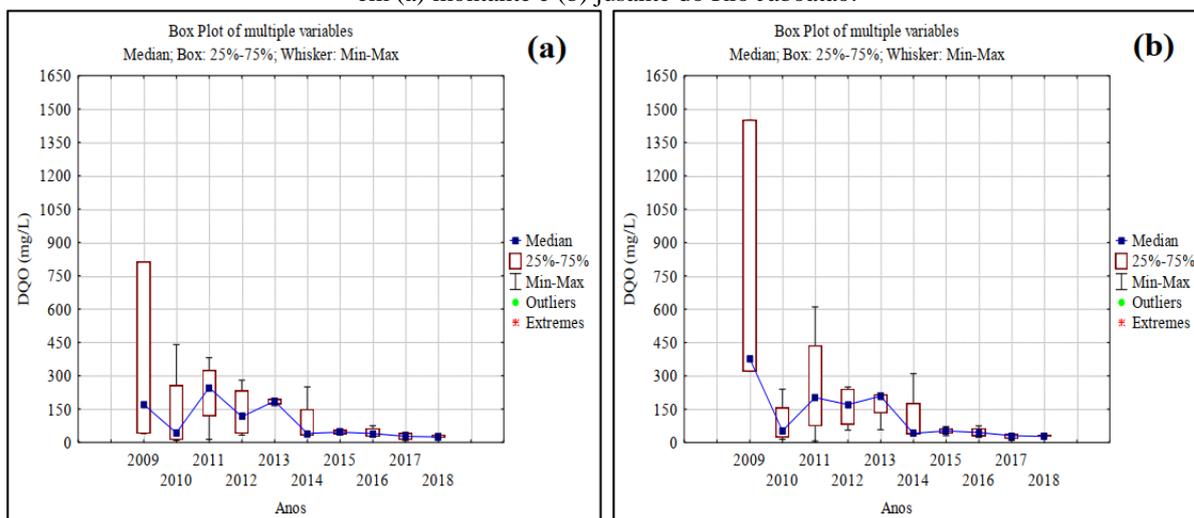
O parâmetro da DBO analisa a quantidade de oxigênio necessária para oxidar a matéria orgânica por ações da decomposição de bactérias aeróbias presentes no corpo d'água. A DBO é determinada observando a quantidade de oxigênio consumido em um período de tempo, numa temperatura específica. Em relação ao monitoramento realizado nas águas superficiais da montante e jusante do Rio Jaboatão, observa-se que a DBO apresentava variações médias acima das 10 mg/L de O<sub>2</sub> recomendado pela resolução Conama n° 357/2005 para águas classe III, nos dois pontos de monitoramento da qualidade, não se enquadrando nos anos inicialmente estudados. Nota-se também que após o ano de 2014 as médias diminuíram nos dois pontos de monitoramento, chegando a algumas análises enquadrar-se com os padrões regulamentados pela norma vigente.

É importante ressaltar que o monitoramento periódico da qualidade das águas superficiais a montante do ponto de descarga no efluente de lixiviado tratado, se faz necessário para entendimento do comportamento do corpo receptor, concentrações elevadas dos parâmetros nos pontos à montante, significa contribuição de outras fontes de poluição. Cabe ressaltar também que o Rio Muribequinha é um afluente do Rio Jaboatão, para anos iniciais de monitoramento onde o lixiviado tratado era descartado no Muribequinha, sugere-se uma possível contribuição na elevação da concentração de alguns parâmetros localizados a montante.

As figuras 67(a) montante e 67(b) jusante do Rio Jaboatão, representam graficamente através do *Bloxplot*, a evolução do parâmetro DQO (mg/L), na caracterização do

monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais da área de influência direta do Aterro da Muribeca.

Figura 2 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro DQO (mg/L), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (b) jusante do Rio Jaboatão.

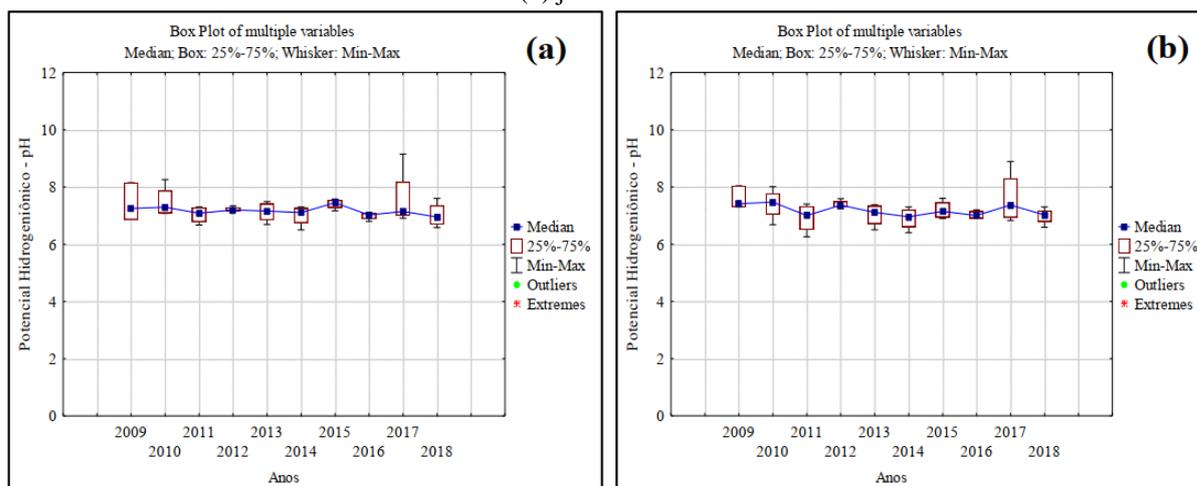


Fonte: O Autor (2019).

A análise de DQO é um parâmetro indispensável nos estudos em águas superficiais, com intuito de caracterizar os efluentes sanitários e industriais. A DQO apresenta-se com valores sempre maiores que a DBO, em casos em que a DQO obtiver concentrações menor ou igual que o dobro da DBO, é possível que grande parte da matéria orgânica presente na água seja biodegradável. Nota-se que as concentrações médias em alguns para os anos iniciais de estudo do monitoramento da qualidade ambiental das águas superficiais do Rio Jaboatão encontraram-se acima dos 150 mg/L O<sub>2</sub> de DQO, para a montante e a jusante. Sabe-se que altas concentrações de DQO em ambientes aquáticos são tóxicas. Observa-se também que as concentrações médias foram diminuindo após o ano de 2014, em ambos os pontos de monitoramento encontrando-se abaixo dos 50 mg/L O<sub>2</sub> de DQO.

As figuras 68(a) montante e 68(b) jusante do Rio Jaboatão, representam graficamente através do *Bloxplot*, a evolução do parâmetro pH, na caracterização do monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais da área de influência direta do Aterro da Muribeca.

Figura 683 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro pH, do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (b) jusante do Rio Jaboatão.

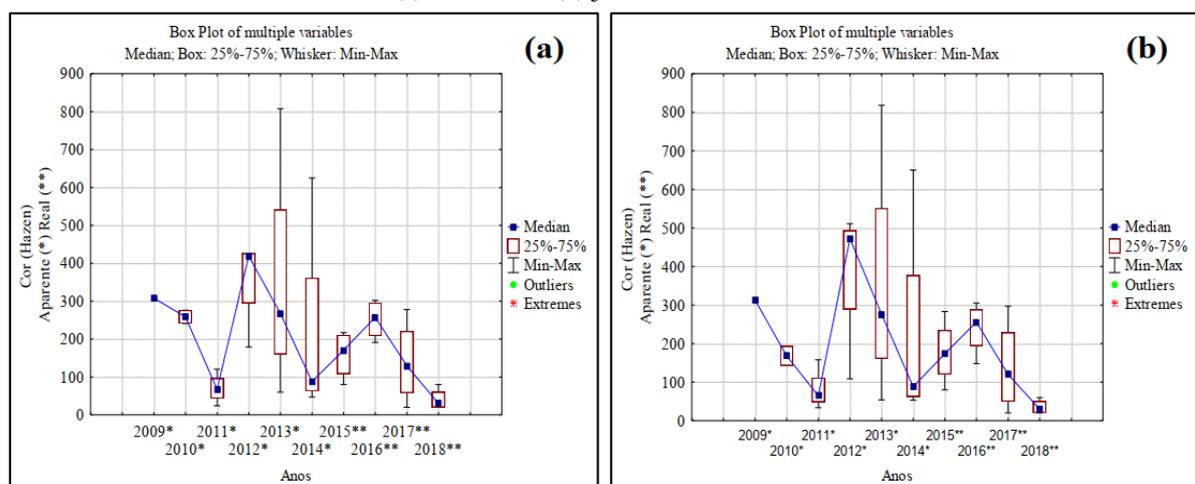


Fonte: O Autor (2019).

O pH é o parâmetro que indica a acidez, neutralidade ou alcalinidade do meio aquoso, para os ecossistemas aquáticos naturais. Os valores médios observados acerca dos anos de monitoramento da montante e a jusante do Rio Jaboatão variaram em torno de 6,8 e 9,2 para a montante, e 6,4 e 8,9 para a jusante. A média do pH em ambos os pontos na maioria das análises realizadas encontraram-se dentro da faixa 6,0 e 9,0 estabelecida dos padrões qualitativos para águas doces classe III, pela resolução Conama nº 357/2005.

As figuras 69(a) montante e 69(b) jusante do Rio Jaboatão, representam graficamente através do *Bloxplot*, a evolução do parâmetro Cor (Hazen), na caracterização do monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais da área de influência direta do Aterro da Muribeca.

Figura 69 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro Cor (Hazen), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (b) jusante do Rio Jaboatão.

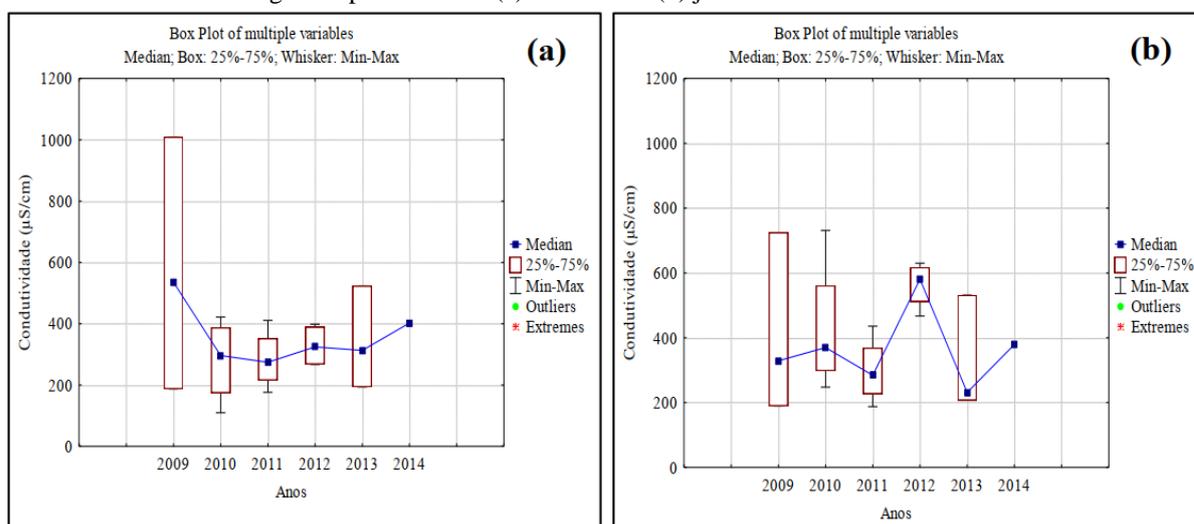


Fonte: O Autor (2019).

A cor das águas superficiais é influenciada pelo o excesso de matéria orgânica, plantas aquáticas, protozoários, efluentes domésticos e industriais. Até o ano de 2014 era realizado para Cor Aparente que se observa à matéria suspensa que causa turbidez. No ano de 2015 começou a ser analisada a Cor Real ou Verdadeira, após a matéria suspensa ser removida por filtração. Para rios classe III, a resolução Conama nº 357/2005 determina a Cor verdadeira até 75 mg Pt/L. Nota-se que as médias apresentada no gráfico da figura 69 estão em constante variação, observa-se que na evolução do monitoramento da Cor não se enquadra nos valores máximos estabelecidos pela norma vigente para a montante e Jusante. Apenas os anos de 2011 e 2018 em ambos os pontos de coleta se enquadraram na legislação consultada. Enfatiza-se também que águas que contém concentrações de ferro elevadas, são caracterizadas por apresentar cor elevada e baixa turbidez.

As figuras 70(a) montante e 70(b) jusante do Rio Jaboação, representam graficamente através do *Bloxplot*, a evolução do parâmetro Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), na caracterização do monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais da área de influência direta do Aterro da Muribeca.

Figura 70 - Gráfico *Bloxplot* para o parâmetro Condutividade Elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (b) jusante do Rio Jaboação.



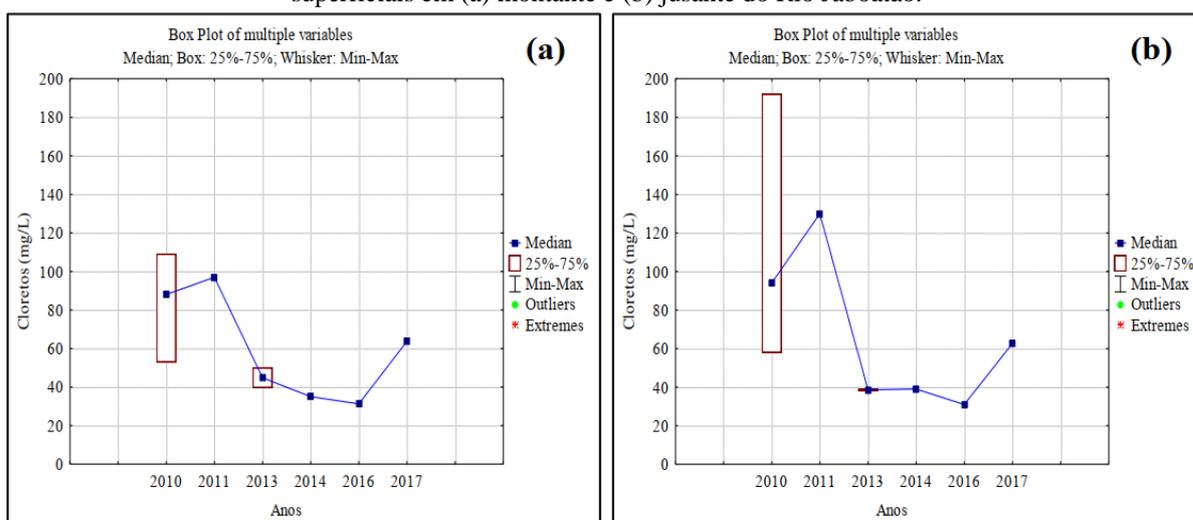
Fonte: O Autor (2019).

A condutividade elétrica é outro parâmetro que fornece uma boa indicação das modificações na composição da água, é a capacidade que a água possui de conduzir correntes elétricas, níveis superiores de 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$  indicam ambientes impactados pela concentração de sais poluentes presentes na amostra coletada. Vale salientar, que as resoluções Conama nº 357/2005 e nº396/2008 não dispõem de valores máximos aceitáveis de condutividade.

Observa-se que a média obtida dos anos observados para a montante e a jusante da Condutividade elétrica apresenta-se em concentrações superiores a  $100 \mu\text{S}/\text{cm}$ , indicando que a média das coletas realizadas a montante e a jusante do Rio Jaboatão, encontra-se com excesso de sais poluentes presentes no corpo hídrico. O valor máximo observado para a coleta a montante foi no ano de 2009 acima de  $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$  e o valor máximo observado a Jusante foi de  $731 \mu\text{S}/\text{cm}$  para o ano de 2010. Em geral as médias observadas à jusante são maiores que as obtidas a montante, a descarga do lixiviado tratado contribui para elevar a carga de sais ao longo do curso de água.

As figuras 71(a) montante e 71(b) jusante do Rio Jaboatão, representam graficamente através do *Bloxplot*, a evolução do parâmetro Cloretos (mg/L), na caracterização do monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais da área de influência direta do Aterro da Muribeca.

Figura 71 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro Cloretos (mg/L), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (b) jusante do Rio Jaboatão.



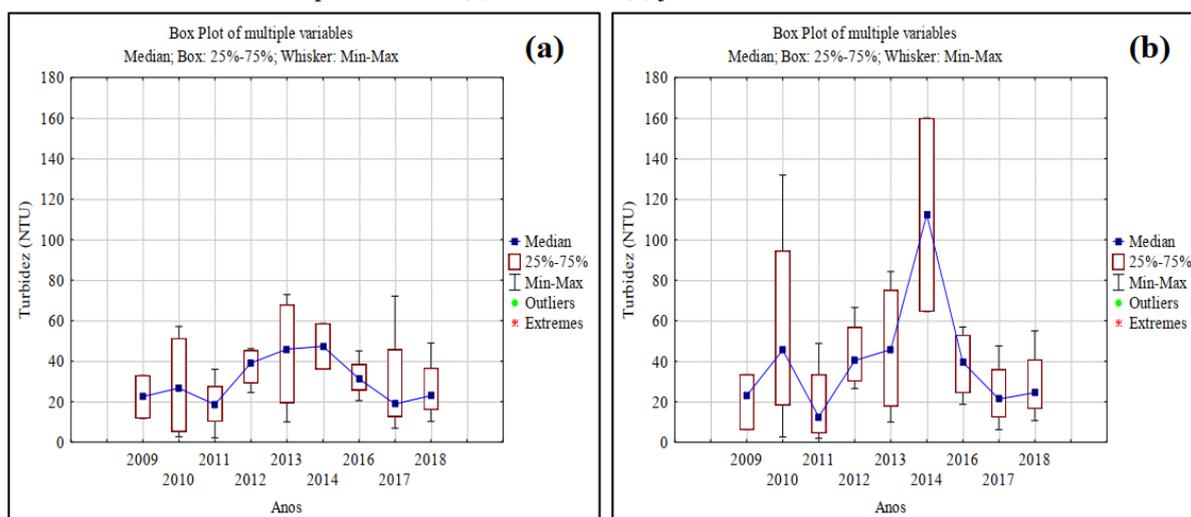
Fonte: O Autor (2019).

A presença de cloreto nas águas superficiais é um parâmetro importante, pois o mesmo indica as descargas de esgotos sanitários ou efluentes industriais nos corpos hídricos. A resolução Conama nº 357/2005 estabelece o valor máximo de Cloreto até  $250 \text{ mg/L Cl}$ , para rios de águas doces classe III, para o monitoramento realizado a montante do Rio Jaboatão a média obtida dos anos observados para o parâmetro de cloreto foi da ordem de  $55,72 \text{ mg/L Cl}$  de acordo com a tabela 25 para o controle a montante, observa-se que todas as análises realizadas para a montante encontram-se dentro da faixa estabelecida pela resolução vigente.

Para as análises de cloretos realizadas houve uma pequena variação para o ponto a jusante 64,54 mg/L Cl conforme conta na tabela 26, em relação a média de 55,72 mg/L Cl do ponto a montante. Entretanto, ressalta que apesar da alteração levemente acrescida do parâmetro o mesmo se encontra dentro da faixa estabelecida de até 250 mg/L Cl, para rios de águas doces classe III, pela resolução Conama nº 357/2005, em todas as coletas realizadas para a jusante.

As figuras 72(a) montante e 72(b) jusante do Rio Jaboatão, representam graficamente através do *Bloxplot*, a evolução do parâmetro Turbidez (NTU), na caracterização do monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais da área de influência direta do Aterro da Muribeca.

Figura 72 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro Turbidez (NTU), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (b) jusante do Rio Jaboatão.



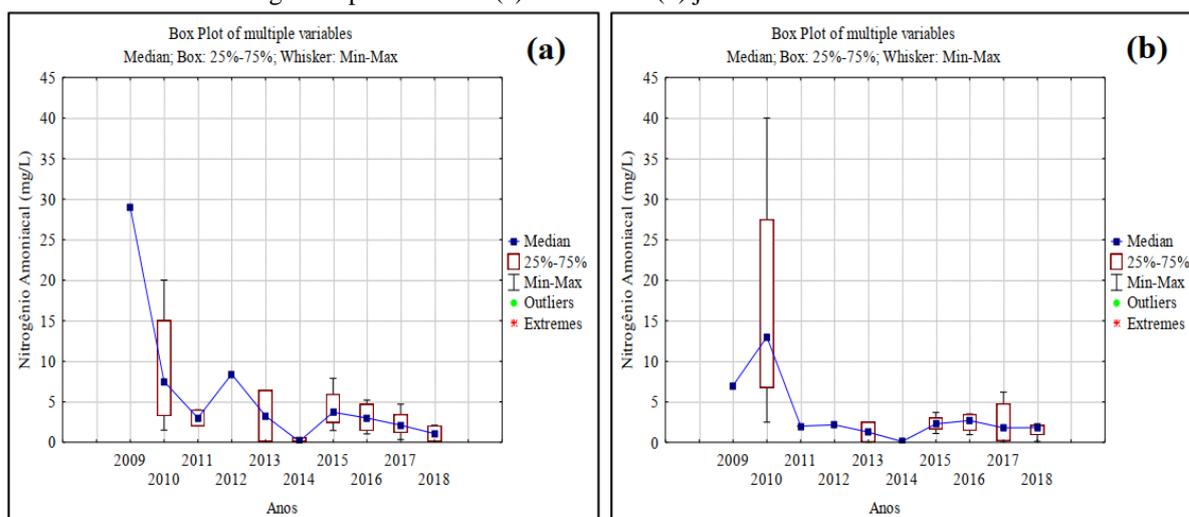
Fonte: O Autor (2019).

Uma alta turbidez reduz a fotossíntese das algas e plantas aquáticas, ocasionando alterações no ecossistema aquático. A resolução Conama 357/2005 para rios classe III, determina a turbidez até 100 NTU. Nota-se que os valores médios observados para a montante encontram-se dentro da faixa determinada pelos padrões de qualidade ambiental. Para a jusante observa-se que nos anos de 2010 e 2014 ocorreram variações acima dos valores máximos permitidos pelos padrões de referência estabelecidos, entretanto, não são valores preocupantes uma vez que as águas superficiais estão sujeitas a constantes transformações. Em geral as médias observadas para o parâmetro da turbidez em ambos os pontos de monitoramento, apresenta valores inferior comparado com o parâmetro cor, ressaltando a

possível influência de um alto teor de ferro pelas baixas concentrações da turbidez quando comparada as altas concentrações de cor avaliada.

As figuras 73(a) montante e 73(b) jusante do Rio Jaboatão, representam graficamente através do *Bloxplot*, a evolução do parâmetro Nitrogênio Amoniacal (mg/L), na caracterização do monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais da área de influência direta do Aterro da Muribeca.

Figura 73 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro Nitrogênio Amoniacal (mg/L), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (b) jusante do Rio Jaboatão.



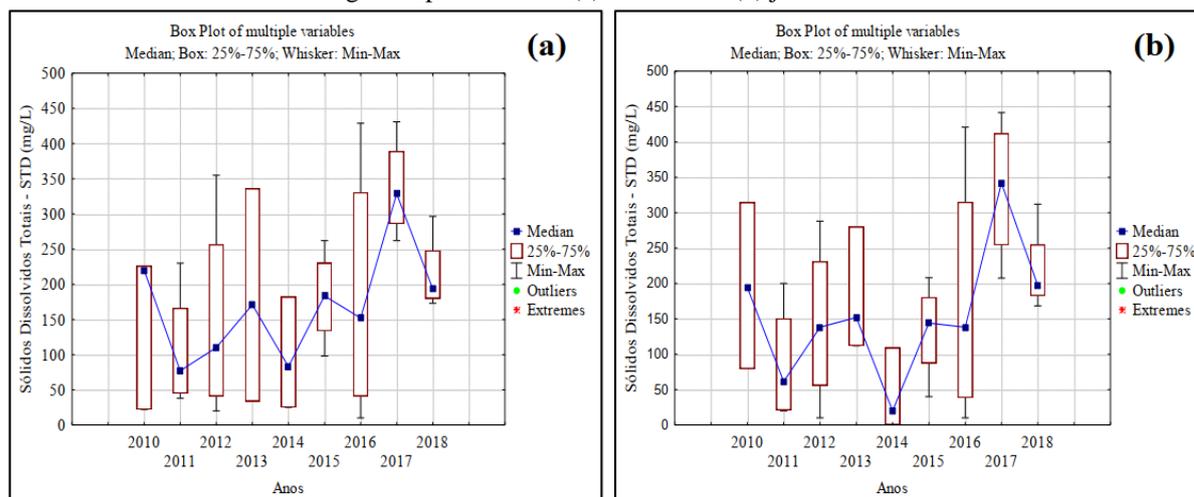
Fonte: O Autor (2019).

A presença de nitrogênio amoniacal em um corpo hídrico indica a presença matéria orgânica ainda não degradada, proveniente de processos naturais dos ecossistemas hídricos ou de origem antrópicas difusas, podendo ser convertido em nitrito e nitrato pelo processo de nitrificação. Excesso de nitrogênio amoniacal na água manifesta o excesso de matéria orgânica em decomposição e que o ambiente encontra-se pobre de oxigênio.

O nitrogênio amoniacal pode ser considerado pouco tóxico ou muito tóxico, em conformidade do o pH e a temperatura da água, a resolução Conama n° 357/2005 determina faixas de valor máximo permitidos para o nitrogênio amoniacal de acordo com o pH para águas classes III, observada na figura 68 entre 6,8 e 9,2 para montante e, 6,4 e 8,9 para jusante. Têm-se duas faixas de concentração 13,3 mg/L N, para  $\text{pH} \leq 7,5$  e 5,6 mg/L N, para  $7,5 < \text{pH} \leq 8,0$  estando em conformidade com os padrões ambientais, em grande parte das análises realizadas para a qualidade das águas superficiais da montante e jusante do Rio Jaboatão.

As figuras 74(a) montante e 74(b) jusante do Rio Jaboatão, representam graficamente através do *Bloxplot*, a evolução do parâmetro Sólido Dissolvido Total – SDT (mg/L), na caracterização do monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais da área de influência direta do Aterro da Muribeca.

Figura 74 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro Sólidos Dissolvidos Totais - SDT (mg/L), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (b) jusante do Rio Jaboatão.

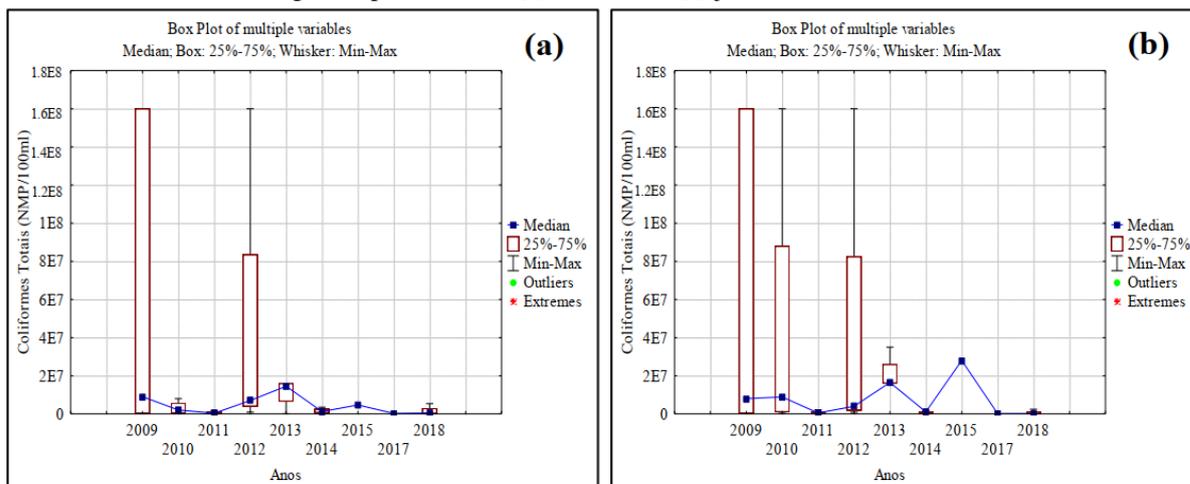


Fonte: O Autor (2019).

A resolução Conama n° 357/2005 para rios classe III estabelece valor máximo permitido de 500 mg/L para sólidos dissolvidos totais. Observa-se no monitoramento ambiental da qualidade das águas superficiais do Rio Jaboatão em todas as análises realizadas para a montante e a jusante encontrou-se dentro dos valores máximos estabelecidos pela legislação ambiental vigente.

As figuras 75(a) montante e 75(b) jusante do Rio Jaboatão, representam graficamente através do *Bloxplot*, a evolução do parâmetro Coliforme Total (NMP/100 mL), na caracterização do monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais da área de influência direta do Aterro da Muribeca.

Figura 75 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro Coliforme Total (NMP/100 mL), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (b) jusante do Rio Jaboatão.

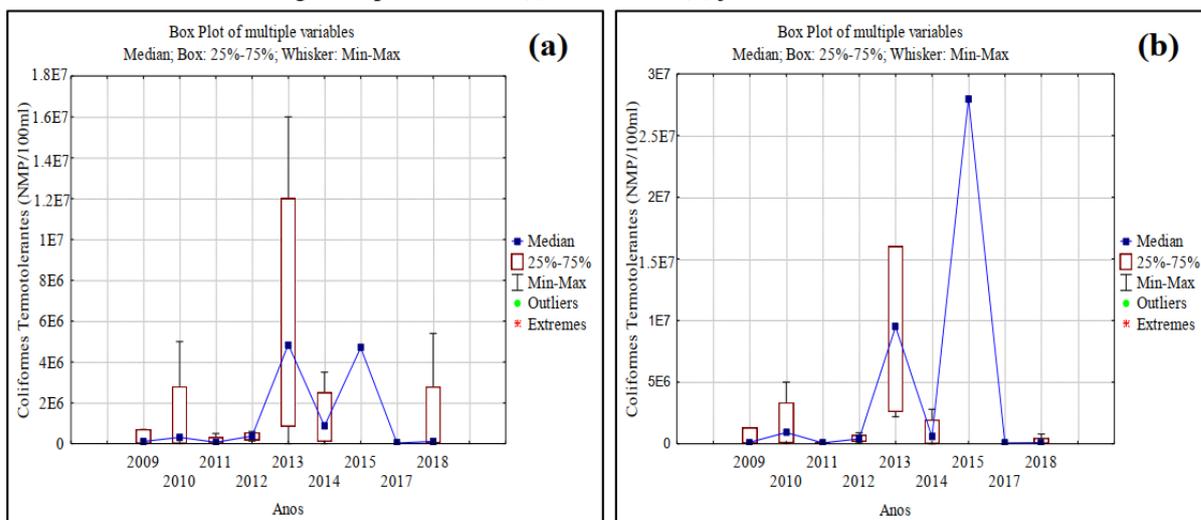


Fonte: O Autor (2019).

Para a avaliação dos dados de coliforme total utilizou-se a norma técnica estadual CPRH nº 2007 que classifica as águas de acordo com a classe, seu uso e os bacteriológicos correspondentes. Para águas doces classe III o número máximo permitido é de 20.000 coliformes totais por 100 mililitro, em 80% ou mais para coliformes totais, o mesmo estabelecido pela resolução Conama nº 20/1986, em pelo menos 5 amostras coletadas durante o período de um ano. Nota-se que houve uma redução da concentração do coliforme total após o ano de 2013 em ambos os pontos de monitoramento. Contudo, observa-se que os valores médios anuais ainda se encontram acima do número máximo permitido. Ressalta que a presença de coliformes em amostras de águas superficiais indica contaminação fecal, provenientes de efluentes sanitários domésticos.

As figuras 76(a) montante e 76(b) jusante do Rio Jaboatão, representam graficamente através do *Bloxplot*, a evolução do parâmetro Coliforme Termotolerante (NMP/100 mL), na caracterização do monitoramento ambiental realizado nas águas superficiais da área de influência direta do Aterro da Muribeca.

Figura 76 - Gráfico Bloxplot para o parâmetro Coliformes Termotolerantes (mg/L), do monitoramento ambiental das águas superficiais em (a) montante e (b) jusante do Rio Jabotão.



Fonte: O Autor (2019).

Para os coliformes termotolerantes a resolução Conama nº 357/2005 estabelece o número máximo permitido de acordo com o uso (recreação de contato secundário, dessedentação animal e demais usos). Para esta avaliação utilizou-se os números máximos permitidos para os demais usos, as amostras coletada nas águas superficiais não deverá exceder um limite de 4.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitro, em 80% ou mais, de pelo menos seis amostras coletadas durante o período de um ano, com periodicidade bimestral. O limite estabelecido está em concordância com a norma técnica estadual da CPRH nº 2007 e da resolução Conama nº 20/1986  $2,0 \times 10^4$  (NMP CT/100 mL). Percebe-se que durante os anos de monitoramento analisado houve variações acima e dentro dos valores máximos permitidos pelas legislações consultadas para ambos os pontos de monitoramento.

#### 4.3.2 Análise da estatística das águas subterrâneas

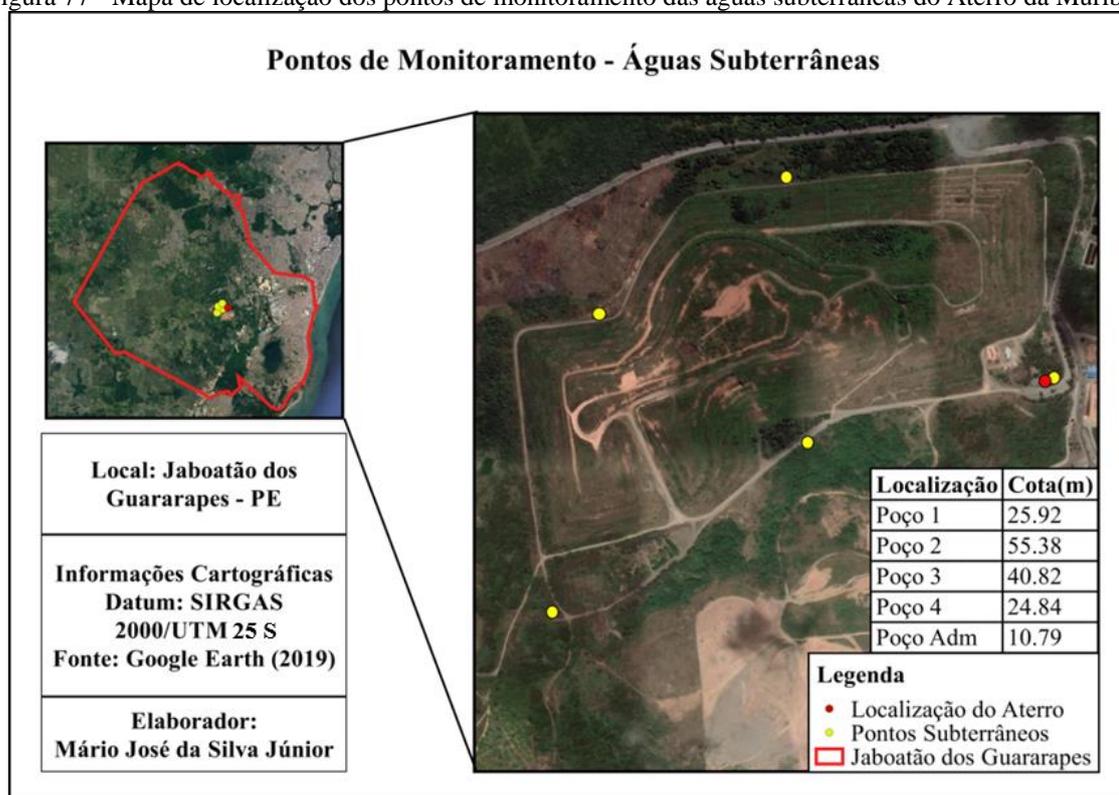
O monitoramento ambiental realizado nas águas subterrâneas, nos poços de monitoramento instalados no entorno do aterro sanitário deve fornecer informações sobre a qualidade e situação do aquífero localizado na área de influência direta do aterro, permitindo investigar possíveis alterações acerca da possibilidade de contaminação. O monitoramento é importante, pois permite verificar eventuais alterações na qualidade das águas do subsolo pela influência da migração de contaminantes pelo aterro sanitário.

O monitoramento ambiental realizado nas águas subterrâneas do Aterro da Muribeca consiste na caracterização da qualidade da água do poço de monitoramento localizado nas

proximidades da sede administrativa, único poço entre os cinco instalados no entorno do aterro em funcionamento, os demais poços de monitoramento não registram lâminas de água.

A respeito dos dados fornecidos dos relatórios de monitoramento ambiental realizado nas águas subterrâneas, referente ao período estudado (2009 – 2018). O ponto de monitoramento encontra-se localizado com as seguintes coordenadas geográficas  $8^{\circ}09'50,436''S$  e  $34^{\circ}58'47,028''W$ . A seguir encontra-se a figura 77 com o mapa de localização dos pontos de monitoramento das águas subterrâneas do Aterro da Muribeca, realizado no software QGIS.

Figura 77 - Mapa de localização dos pontos de monitoramento das águas subterrâneas do Aterro da Muribeca



Fonte: O Autor (2019).

Os dados do monitoramento foram submetidos às análises da estatística descritivas, Média, Mediana, Desvio Padrão, Valores Máximos e Mínimos, Coeficiente de Variação (%) com o intuito de resumir o conjunto de dados analisados. A seguir se encontra a tabela 27 com a estatística descritiva dos resultados obtidos das análises qualitativas do poço de monitoramento das águas subterrâneas, referente ao período (2009-2018).

Tabela 27 - Análise da estatística descritiva dos parâmetros qualitativos do poço subterrâneo de monitoramento P105, referente ao período (2009-2018)

Parâmetros	Média	Mediana	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo	Coefficiente de variação (%)	Portaria MS nº 2914/2011
Temperatura	28,02	27,50	0,76	28,88	27,41	2,71	25 °C
pH	5,98	5,98	0,42	6,65	5,36	7,06	6,0 a 9,0
Cor Aparente	62,50	22,13	83,90	253,00	1,00	134,24	15 uH (Hazen)
Turbidez	5,42	2,50	6,98	19,88	0,01	128,85	5,0 NTU
Condutividade elétrica	1281,75	1322,00	907,67	2466,00	2,24	70,81	-
Amônia mg/L NH <sub>3</sub>	31,45	20,59	22,25	57,04	16,71	70,75	1,5 mg/L
Cálcio (mg/L)	120,00	120,00	7,07	125,00	115,00	5,89	-
Alcalinidade Total (mg/L)	100,96	95,83	37,28	152,00	66,19	36,93	-
Cloretos (mg/L)	148,89	176,67	51,03	180,00	90,00	34,27	250 mg/L Cl
Fósforo (mg/L)	3,20	2,75	2,55	0,90	5,94	79,76	-
DBO (mg/L)	49,93	47,25	23,90	101,63	27,25	47,87	-
DQO (mg/L)	102,51	63,04	117,87	435,42	49,77	114,98	-
DBO/DQO (mg/L)	0,69	0,69	0,35	1,33	0,11	50,37	-
Sólidos Totais (ST)	780,38	899,00	358,18	1067,00	256,50	45,90	-
Sólidos Totais Voláteis (STV)	311,83	315,25	140,30	479,83	137,00	44,99	-
STV/ST	0,56	0,56	0,12	0,64	0,48	20,93	-
Sólidos Dissolvidos Totais (STD)	864,50	883,25	397,00	1505,13	55,00	45,92	1000 mg/L
Sólidos Dissolvidos Voláteis (SDV)	202,99	176,00	166,52	429,70	30,25	82,04	-
Sólidos Suspensos Totais (SST)	190,64	200,00	48,38	239,00	123,57	25,38	-
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	118,12	108,38	28,00	159,00	96,73	23,71	-

Parâmetros	Média	Mediana	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo	Coefficiente de variação (%)	Portaria MS nº 2914/2011
SSV/SST	0,64	0,65	0,17	0,80	0,47	27,07	-
Sulfetos (mg/L)	0,10	0,10	0,00	0,10	0,10	3,63	-
Ferro Total (mg/L)	991,97	1025,00	974,97	1950,00	0,90	98,29	0,3 mg/L Fe
Manganês (mg/L)	114,73	0,90	197,19	342,43	0,88	171,87	0,1 mg/L Mn
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	33,68	30,76	13,90	60,75	19,98	41,27	-
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	1,40	1,16	1,27	3,02	0,20	90,99	10,0 mg/L N
Nitrito (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,09	0,05	0,12	0,26	0,00	125,27	1,0 mg/L N
Nitrogênio total (mg/L)	5,29	0,60	8,41	15,00	0,28	158,91	-
Cromo (mg/L)	0,69	0,28	0,83	1,65	0,15	120,33	0,05 mg/L Cr
Coliformes CT (NMP/100ml)	1,15E+07	1,36E+05	1,83E+07	4,20E+07	1,70E+04	159,52	Ausência em 100 mL
Coliformes CF (NMP/100ml)	1,06E+07	5,41E+04	1,67E+07	3,70E+07	1,35E+04	157,60	Ausência em 100 mL

Fonte: O Autor (2019).

(\*) Limite estabelecido para cor verdadeira. (-) Não dispõe de informação.

O tratamento descritivo da tabela anterior avalia o monitoramento realizado no poço de monitoramento das águas subterrâneas do Aterro da Muribeca. Enfatiza que o poço em questão encontra-se localizado a menos de cinco metros de uma fossa séptica, das instalações físicas da sede administrativas e que alguns parâmetros analisados podem sofrer interferência ou contribuição do esgoto doméstico.

No ambiente hidrogeológico o monitoramento das águas subterrâneas na vizinhança dos aterros sanitários, cuja iminência da potencial fonte de poluição é grande, os dados obtidos referentes ao monitoramento realizado são indicadores essenciais para o controle ambiental da área, investigando qualquer notável alteração dos parâmetros qualitativos. Com relação aos principais parâmetros físico-químicos analisados, mais representativos que influenciam na qualidade da água subterrânea seja para o consumo ou qualquer outra

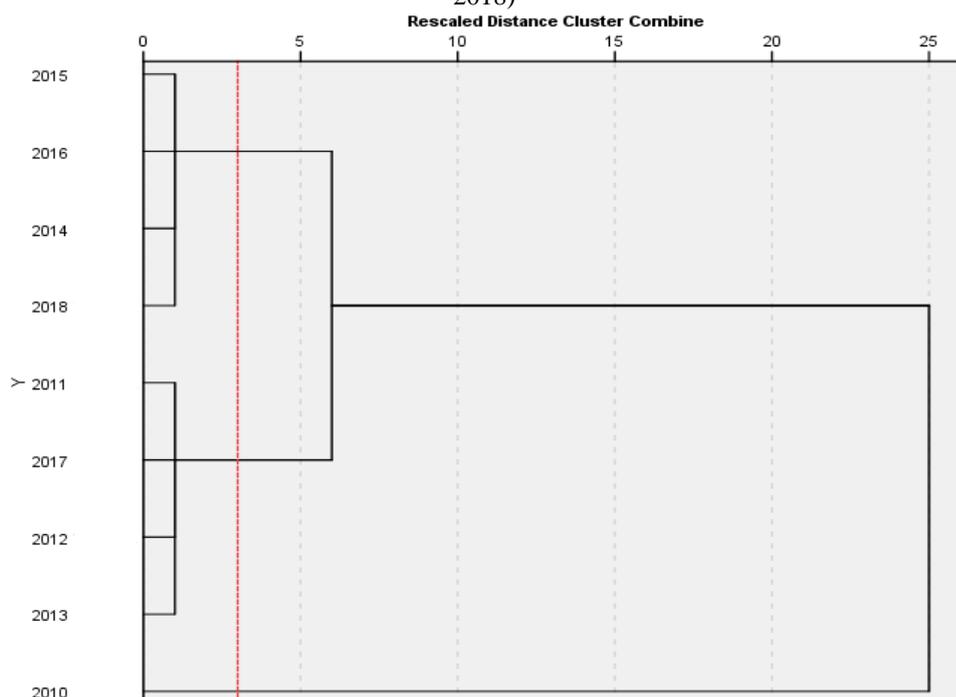
finalidade, destaca-se o pH, DBO, DQO, Série de sólidos, Condutividade elétrica, Nitrogênio amoniacal, Coliformes Totais e Termotolerantes.

As médias observadas agregam uma grande quantidade de informações do monitoramento ambiental realizado na qualidade das águas subterrâneas do Aterro da Muribeca, é importante enfatizar que as análises são realizadas em coletas trimestrais, e o conjunto de dados pertence ao período (2009-2018).

A faixa do CV é utilizada para expressar a variabilidade do dado analisado, ressalta-se que quanto menor o CV mais homogêneo é o conjunto de dados analisados. Para a análise realizada no coeficiente de variação pelas faixas de concentrações estabelecidas, observa-se que os coeficientes que mais aparecem na análise são baixa  $\leq 10\%$ , alta (CV% entre 20% e 30%) e muito alta  $\geq 30\%$ . Observa-se que os parâmetros de Temperatura, pH, Cálcio e Sulfetos apresentaram-se na faixa do CV abaixo dos 10%, indicando a variabilidade do conjunto de dados mais homogêneo.

A análise estatística multivariada de agrupamentos hierárquicos – AAH identifica a formação de grupos homogêneos com comportamento semelhantes nos dados observados. O dendrograma da figura 78 apresenta de maneira sucinta a formação de grupos com variáveis semelhantes, para todos os anos de monitoramento das águas subterrâneas do poço P105 do Aterro da Muribeca, referente ao período (2009-2018).

Figura 78 - Dendrograma do monitoramento ambiental das águas subterrâneas do Aterro da Muribeca (2010 – 2018)



Fonte: O Autor (2019).

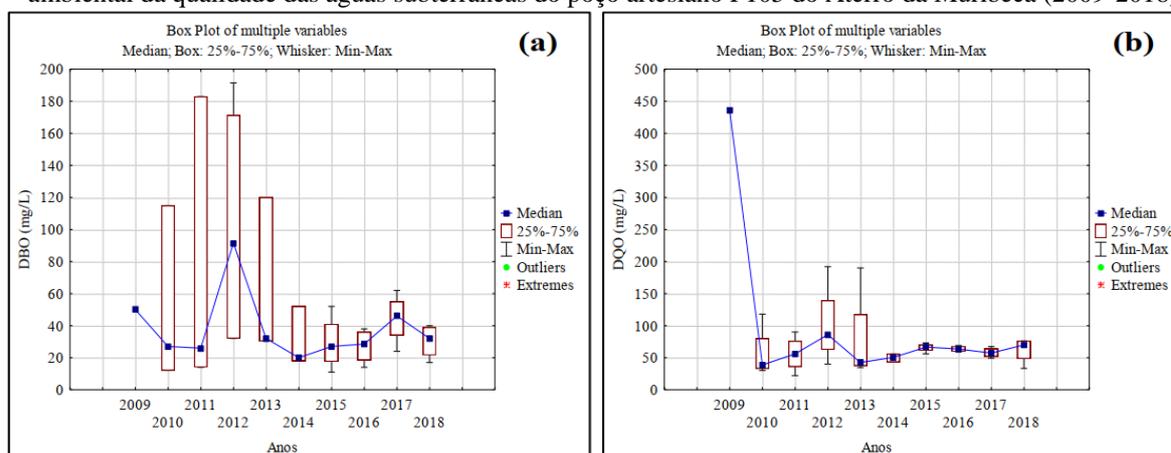
O dendrograma referente ao monitoramento ambiental das águas subterrâneas realizado no poço artesiano localizado próximo a sede administrativa do Aterro da Muribeca, referente ao período (2010-2018) temos a formação de três grupos de similaridades, o primeiro grupo formado pelos anos (2014, 2015, 2016 e 2018), o segundo formado pelos anos (2011, 2012, 2013 e 2017) apresentaram semelhanças entre as análises dos parâmetros de monitoramento, os anos pertencentes ao mesmo grupo resalta que dentre os parâmetros analisados pouco foram às variações ocorridas. Apenas o ano de 2010 não apresentou similaridade, portanto sendo distintos dos demais.

Na análise dos resultados, compararam-se os dados observados com os limites dos padrões de qualidade para a qualidade das águas subterrâneas, propostos pela Portaria do MS nº 2.914/2011 e/ou pela resolução Conama nº 396/2008.

O gráfico estilo *Bloxplot* ou diagrama de extremos e uma ferramenta utilizada para representar graficamente alguns dos parâmetros do monitoramento das águas subterrâneas do poço artesiano P105 localizado próximo à sede administrativa, referente ao período (2009-2018). Representa alguns dos parâmetros qualitativos selecionados com o maior número de informações. Os gráficos apresentam a variação dos dados analisados com o passar dos anos, identificando onde estão localizados 50% dos valores mais prováveis (faixa 25%-75%), a mediana dos parâmetros e os valores extremos máximos e mínimos, acerca do monitoramento do poço de monitoramento das águas subterrâneas (2009-2018).

As figuras 79(a) DBO (mg/L) e 79(b) DQO (mg/L), representam graficamente com o *Bloxplot* os parâmetros analisados para o poço artesiano de monitoramento ambiental da qualidade das águas subterrâneas, do pós-encerramento do Aterro da Muribeca, pertence ao período (2009-2018).

Figura 79 - Gráfico Bloxplot para os parâmetros em (a) DBO (mg/L) e (b) DQO (mg/L) do monitoramento ambiental da qualidade das águas subterrâneas do poço artesiano P105 do Aterro da Muribeca (2009-2018)



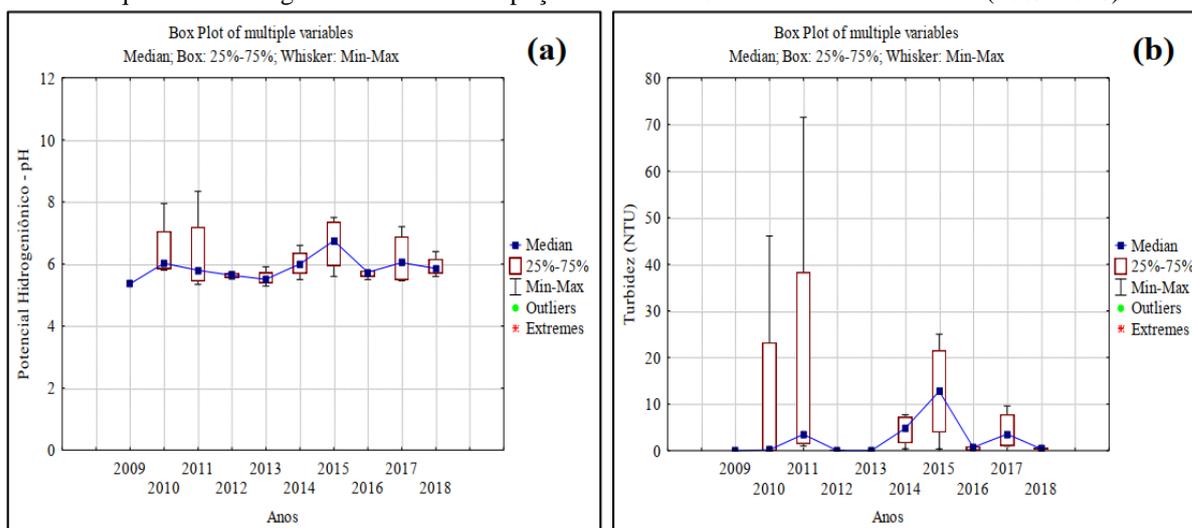
Fonte: O Autor (2019).

Alterações da qualidade das águas subterrâneas ocorrem por meio de poluição difusa. Os poços de monitoramento da qualidade ambiental das águas subterrâneas instaladas no aterro monitora a possível interferência dos efluentes lixiviante no lençol freático da região. As características das águas subterrâneas são avaliadas por meio de parâmetros físicos, químicos e biológicos. As legislações ambientais vigentes utilizadas como parâmetros de referências são a Portaria do MS nº 2.914/2011 e/ou pela resolução CONAMA nº 396/2008.

Os parâmetros da DBO e DQO não possuem limites referenciados pelas duas normas acima citadas, ressalta que apesar da ausência do valor de referência de qualidade não elimina a relevância de análise de tais parâmetros, visto que detectada a presença já pode indicar contaminação do aquífero. Os parâmetros DBO e DQO apresentaram consideráveis médias acentuadas, o que insinua possíveis influências de contaminação do poço. A variação média da DBO nos anos observados é de 49,93 (mg/L) de acordo com a tabela 27 indicando a presença de uma pequena parcela de matéria orgânica possível de ser estabilizada por vias biológica. A DQO observada para os anos de monitoramento apresentou valor médio superior de 102,51 (mg/L), quando comparado com a DBO, o que aponta a provável presença de substâncias químicas passíveis de serem oxidadas apenas por meios químicos.

As figuras 80(a) pH e 80(b) Turbidez (NTU), representam graficamente com o *Bloxplot* os parâmetros analisados para o poço artesiano de monitoramento ambiental da qualidade das águas subterrâneas, do pós-encerramento do Aterro da Muribeca, pertence ao período (2009-2018).

Figura 80 - Gráfico Bloxplot para os parâmetros em (a) pH e (b) Turbidez (NTU) do monitoramento ambiental da qualidade das águas subterrâneas do poço artesiano P105 do Aterro da Muribeca (2009-2018).



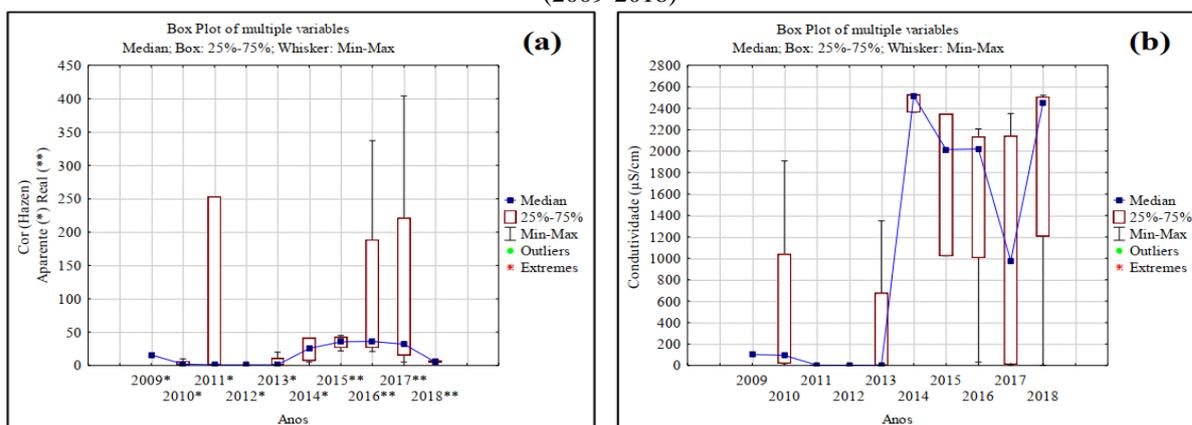
Fonte: O Autor (2019).

Observa-se que os valores médios anuais do potencial hidrogeniônico pH oscilaram em todas as análises realizadas, algumas vezes estando de acordo com a faixa 6,0 – 9,0 conforme determina a Portaria do MS nº 2.914/2011 para o consumo humano, em outras não. No geral a média do poço de monitoramento para o conjunto de dados analisados foi da ordem de 5,98 de acordo com a tabela 27 ficando abaixo do menor valor aceito pela norma consultada. Os valores de pH abaixo de 6,0 faixa mais ácida são característicos das regiões de climas tropicais, com grandes incidências pluviométricas, podendo ser considerados normais para a região.

A Turbidez variou de 0,01 (valor mínimo) a 19,88 (valor máximo) já registrados, do monitoramento ambiental analisado da qualidade da água do poço. A resolução Conama não dispõe de valores máximos aceitáveis, portanto, comparou-se com os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria do MS nº 2.914/2011, que o valor máximo tolerável da Turbidez é de 5,0 (NTU). Durante o período observado, nota-se que a turbidez teve variações em alguns anos, mas em geral a média obtida é de 5,42 (NTU) conforme explícito na tabela 27, um pouco acima do limite tolerável pela portaria. Nos anos de 2010, 2011 e 2015 apresentaram elevadas concentrações, supõe-se a interferência do período (chuvoso ou estiagem) em que se foi realizado a coleta, como também ou mau posicionamento do poço uma vez que o mesmo situa-se próximo à fossa séptica da administração do aterro, pode ter ocorrido influência de esgoto sanitário no poço.

As figuras 81(a) Cor (Hazen) e 81(b) Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) representam graficamente com o *Bloxplot* os parâmetros analisados para o poço artesiano de monitoramento ambiental da qualidade das águas subterrâneas, do pós-encerramento do Aterro da Muribeca, pertence ao período (2009-2018).

Figura 81 - Gráfico Bloxplot para os parâmetros em (a) Cor (Hazen) e (b) Condutividade elétrica ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) do monitoramento ambiental da qualidade das águas subterrâneas do poço artesiano P105 do Aterro da Muribeca (2009-2018)



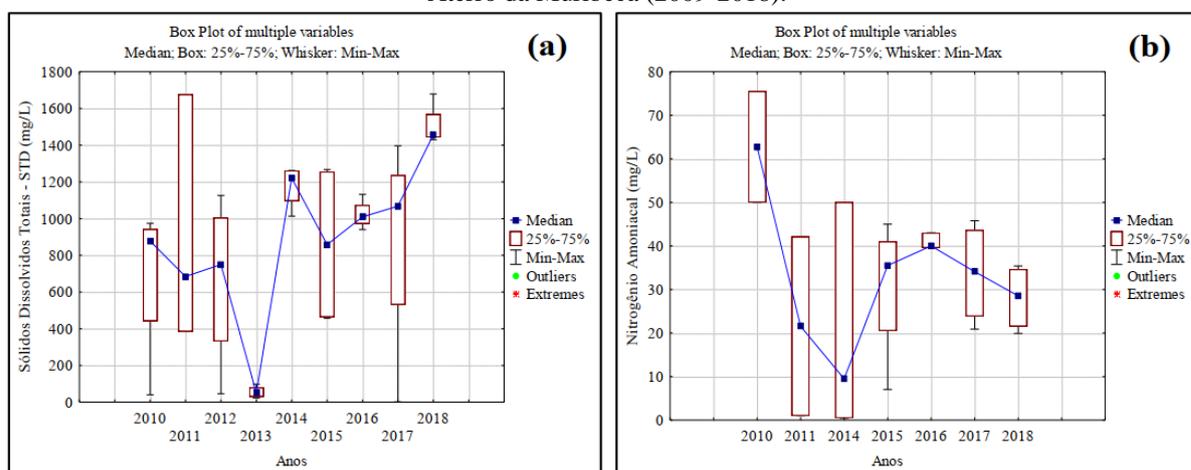
Fonte: O Autor (2019).

A Portaria do MS nº 2.914/2011 determina o valor máximo tolerável de até 15 unidades de Hazen para o parâmetro Cor Aparente. A cor Aparente foi analisada até o ano de 2014, com exceção do próprio 2014 e 2011 que apresentaram valor acima do que determina a portaria, os demais anos em que se avaliou a Cor Aparente encontrou-se até o valor máximo permitido. A partir do ano de 2015 começou-se a analisar a cor real da água do poço, como as legislações consultadas não determinam valores máximos toleráveis para esta análise, observa-se que as médias observadas elevaram-se a partir de 2015 e diminuindo no ano de 2018.

Os valores de condutividade elétrica apresentaram consideráveis médias acentuadas a partir do ano de 2014, o que resulta em uma água com excessiva mineralização uma vez que a média obtida dos dados analisados de acordo com tabela 27 apresenta uma condutividade de 1281,75 ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) o que torna a água dificilmente utilizável para o consumo humano devido ao excesso de sais dissolvidos sob a forma de íons, o que insinua possível influência de contaminação do poço. Ressalta que a água do poço é utilizada para os serviços de limpeza e manutenção da sede administrativa do Aterro da Muribeca, como também, utilizada para irrigação da sementeira do aterro. É importante salientar que este tipo de água com elevadas concentrações de condutividade elétrica, indicando alta salinidade podem ser utilizadas na irrigação de culturas vegetais em solo bem drenados.

As figuras 82(a) Sólidos Dissolvidos Totais – SDT (mg/L) e 82(b) Nitrogênio Amoniacal (mg/L), representam graficamente com o *Bloxplot* os parâmetros analisados para o poço artesiano de monitoramento ambiental da qualidade das águas subterrâneas, do pós-encerramento do Aterro da Muribeca, pertence ao período (2009-2018).

Figura 82 - Gráfico Bloxplot para os parâmetros em (a) Sólido Dissolvido Total – SDT (mg/L) e em (b) N-Amoniacal (mg/L) do monitoramento ambiental da qualidade das águas subterrâneas do poço artesiano P105 do Aterro da Muribeca (2009-2018).

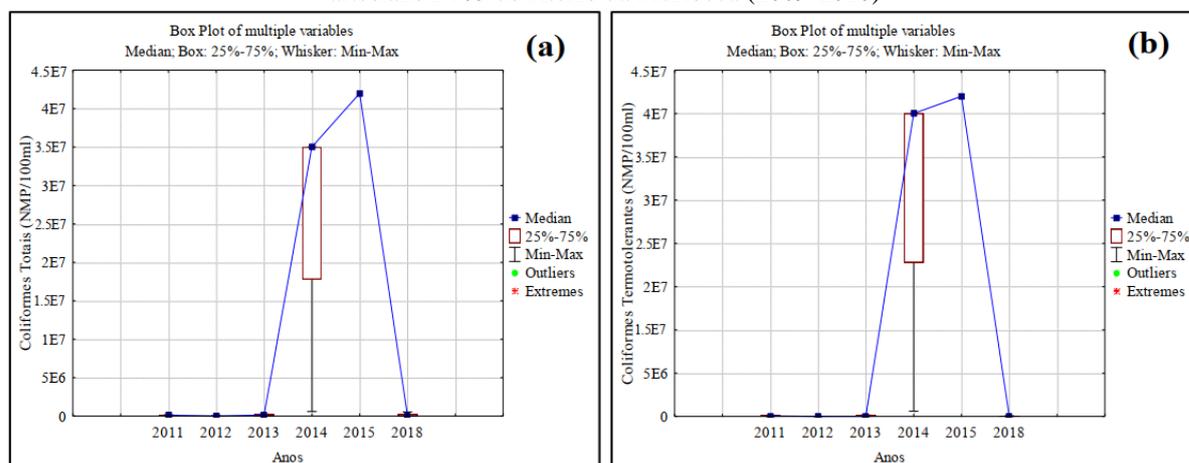


Fonte: O Autor (2019).

A série de sólidos determina as diversas frações de sólidos presentes na água, atribuindo importante informação para a caracterização das águas naturais por efeito de contaminação de esgotos sanitários. Os valores máximos permitidos para o sólido dissolvidos totais (STD) são de 1000 mg/L, segundo os valores máximos estabelecidos pela Portaria do MS nº 2.914/2011 e 2000 mg/L pela resolução CONAMA nº 396/2008. A cerca das médias observadas para o STD das águas subterrâneas do poço da Muribeca nos anos de 2010, 2011, 2012 2013 e 2015 apresentaram variações dentro da média estabelecida por ambas às normas. Os demais anos observados oscilaram acima do valor máximo permitido não se enquadrando nos padrões de qualidade ambiental consultada. De acordo com a resolução Conama nº 357/2005 concentrações de STD entre 501 a 1.500 mg/L é considerada água salobra.

Para o parâmetro nitrogênio amoniacal, não existe valores de referência para os limites máximos de padrões de qualidade das águas subterrâneas, a presença elevada do nitrogênio pode indicar contaminação por efluentes domésticos, ressalta-se que próximo ao poço artesiano fica localizado a poucos metros de uma fossa séptica. Entretanto, as legislações consultadas Portaria do MS nº 2.914/2011 e a resolução CONAMA nº 396/2008, estabelecem valor máximo provável a cerca da presença de Nitrito e Nitrato expresso em N, para os dois parâmetros observados na tabela 27 os valores médios encontram-se dentro do limite estabelecido pelas duas normas. As figuras 83(a) Coliforme Total (NMP/100 ml) e 83(b) Coliforme Termotolerante (NMP/100 ml), representam graficamente com o *Bloxplot* os parâmetros analisados para o poço artesiano de monitoramento ambiental da qualidade das águas subterrâneas, do pós-encerramento do Aterro da Muribeca, pertence ao período (2009-2018).

Figura 83 - Gráfico Bloxplot para os parâmetros em (a) Coliforme Total (NMP/100 ml) e (b) Coliforme Termotolerante (NMP/100 ml) do monitoramento ambiental da qualidade das águas subterrâneas do poço artesiano P105 do Aterro da Muribeca (2009-2018)



Fonte: O Autor (2019).

Os parâmetros microbiológicos coliformes totais e termotolerantes (fecais) são indicadores da contaminação de poluição fecal, por agentes patogênicos indesejáveis. A grande quantidade destes microrganismos indica o potencial risco de contaminação à saúde pública, com relação das condições sanitárias desta água. Estas bactérias estão presentes no trato intestinal humano e de outros animais de sangue quente, que são eliminados em grandes quantidades pelas fezes.

De acordo com as normas de referência para valores máximos permitidos, tanto a Portaria do MS nº 2.914/2011 e a resolução CONAMA nº 396/2008 recomenda ausência em 100ml de coliformes totais e termotolerantes para abastecimento humano. As médias dos valores obtidos para o parâmetro foi de ordem de  $1,06E+07$  a presença do parâmetro indica a contaminação de coliformes de origem fecal nas águas do poço. Entretanto, não se utiliza a água do poço para o consumo humano, enfatiza-se que a água do poço subterrâneo é utilizada para a manutenção, limpeza e para a sementeira da sede administrativa do Aterro da Muribeca.

#### 4.4 RECUPERAÇÃO FLORESTAL DA ÁREA DO ATERRO DA MURIBECA

O processo de recuperação de uma área degradada, visa essencialmente recuperar/retornar a função da vegetação natural, o tornando mais próximo possível da sua condição anterior à degradação, sem preocupação com a composição florística. Quaisquer ações utilizadas para recuperar o ecossistema florestal têm de ser abordada no sentido de acelerar a sucessão.

O plantio de mudas é uma técnica muito utilizada na recuperação de áreas degradadas que apresentam sua resiliência comprometida. No Brasil, existe a necessidade de um estudo mais aprofundado relacionados às espécies arbóreas utilizadas em áreas de lixões e aterros controlados.

De acordo com Neto *et al.*, (2004) é importante considerar a escolha das espécies que serão utilizadas no plantio e o tipo de solo, uma vez que as espécies vegetais têm características particulares no que diz respeito às características do solo, os autores ressaltam três grandes grupos nos quais se enquadram a maior parte da vegetação: as arbóreas, as arbustivas e a vegetação ervada.

No Aterro da Muribeca foi utilizado o uso de gramíneas Capim-de-burro (*Cynodon dactylon*) para a cobertura vegetal sobre as células encerradas, a utilização da vegetação ervada protege contra a erosão superficial, como também, foram plantadas algumas espécies

arbóreas sobre os taludes, como forma de conservação a fim de evitar o surgimento de ravinamento, voçorocas, desmoronamento dos taludes, soterramento das vias, bem como o entupimento do sistema de drenagem de água superficial.

O estudo realizou um levantamento quantitativo das espécies utilizadas na recuperação florestal do Aterro da Muribeca, abrangendo desde implantação da cerca viva (2001-2018) ao final do período de análise do estudo. A tabela 28 encontra-se a relação quantitativa por espécie arbórea plantada no Aterro da Muribeca, e sua representação expressa em densidade absoluta (DA) indicando o número de espécies por unidade de área em (ha), e a densidade relativa (DR) onde indica a participação de cada espécie em relação ao número total de espécies arbóreas plantadas no referido Aterro, através dos parâmetros fitossociológicos.

Tabela 28 - Nome popular, nome científico/espécie, número total de indivíduos (NTI), densidade absoluta (DA), densidade relativa (DR) e origem das espécies arbóreas plantadas na área do aterro (62 ha). Origem: E=exótica, N=nativa.

Nome Popular	Nome Científico	NTI	DA (ind.ha <sup>-1</sup> )	DR (%)	Origem
Acalifa	<i>Acalypha wilkesiana</i>	130	2,10	0,34	E
Acácia Mimosa	<i>Acacia Podalyriifolia</i>	160	2,58	0,42	E
Acerola	<i>Malpighia emarginata</i>	185	2,98	0,49	E
Agave-da-borda-amarela ou Piteira-do-caribe	<i>Agave angustifolia</i>	850	13,71	2,25	E
Agave Stricta	<i>Agave multifilifera</i>	30	0,48	0,08	E
Aroeira	<i>Myracrodruon urundeuva</i>	250	4,03	0,66	N
Alamanda-amarela	<i>Allamanda cathartica</i>	70	1,13	0,19	N
Azeitona do Nordeste	<i>Syzygium cumini L.</i>	102	1,65	0,27	N
Bambu	<i>Bambusa vulgaris</i>	200	3,23	0,53	E
Barriguda ou Paineira-branca	<i>Ceiba glaziovii</i>	1.012	16,32	2,68	N
Bordão-de-velho ou Sete-cascas	<i>Samanea tubulosa</i>	300	4,84	0,80	N
Bougainville	<i>Bougainvillea glabra</i>	250	4,03	0,66	E

Nome Popular	Nome Científico	NTI	DA (ind.ha <sup>-1</sup> )	DR (%)	Origem
Cajá	<i>Spondias mombin L.</i>	262	4,23	0,69	N
Cana-de-macaco	<i>Costus spicatus</i>	130	2,10	0,34	N
Castanhola	<i>Terminalia catappa L.</i>	1507	24,31	4,00	E
Cássia-de-sião ou Cássia- amarela	<i>Cassia siamea Lam.</i>	500	8,06	1,33	E
Cássia Grande ou Geneúna	<i>Caáia grandis Linnaeus f.</i>	30	0,48	0,08	E
Casuarina	<i>Casuarina equisetifolia L.</i>	120	1,94	0,32	E
Chapéu de Napoleão	<i>Thevita peruviana</i>	400	6,45	1,06	E
Cheflera	<i>Schefflera actinophylla</i>	230	3,71	0,61	E
Chichá-do- cerrado ou Amendoim de Macaco	<i>Sterculia striata</i>	200	3,23	0,53	N
Coité ou Cuieté	<i>Crescentia cujete</i>	250	4,03	0,66	N
Coração de Negro	<i>Poecilanthe parviflora</i>	507	8,18	1,34	N
Coqueiro	<i>Cocos nucifera L</i>	10	0,16	0,03	N
Cróton	<i>Codiaeum variegatum</i>	700	11,29	1,86	E
Dendê ou Palmeira-Dendê	<i>Elaeis guineenses Jacq.</i>	660	10,65	1,75	E
Dracena-arbórea	<i>Dracaena marginata</i>	300	4,84	0,80	E
Espinheiro-da- Virgínia	<i>Gleditsia triacanthos L.</i>	603	9,73	1,60	E
Espirradeira	<i>Nerium Oleander L.</i>	150	2,42	0,40	E
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus L.</i>	350	5,65	0,93	E
Felício ou Árvore Samambaia	<i>Filicium decipiens</i>	60	0,97	0,16	E
Flamboyant	<i>Delonix regia</i>	70	1,13	0,19	E

Nome Popular	Nome Científico	NTI	DA (ind.ha <sup>-1</sup> )	DR (%)	Origem
Flamboyant Mirim	<i>Caesalpinia pulcherrima</i>	2.352	37,94	6,24	E
Goiaba	<i>Psidium guajava L.</i>	64	1,03	0,17	N
Graviola	<i>Annona muricata</i>	63	1,02	0,17	E
Guaraná	<i>Paullinia cupana</i>	9	0,15	0,02	N
Helicônia	<i>Heliconia rostrata</i>	200	3,23	0,53	N
Hibisco	<i>Hibiscus rosa-sinensis</i>	1.300	20,97	3,45	E
Ingá	<i>Lonchocarpus sericeus</i>	164	2,65	0,43	N
Ipê (Amarelo)	<i>Tabebuia alba</i>	592	9,55	1,57	N
Ipê (Roxo)	<i>Tabebuia avellanedae</i>	240	3,87	0,64	N
Jaca	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	39	0,63	0,10	E
Leucena	<i>Leucaena leucocephala</i>	200	3,23	0,53	E
Manga	<i>Mangifera indica L.</i>	12	0,19	0,03	E
Mini Palmeira Imperial	<i>Veitchia merrillii</i>	629	10,15	1,67	E
Moringa	<i>Moringa Oleiofera</i>	650	10,48	1,72	E
Mulungu	<i>Erythrina velutina willd.</i>	100	1,61	0,27	N
Nim-indiano	<i>Azadirachta indica</i>	64	1,03	0,17	E
Olho de Pombo	<i>Abrus precatorius</i>	155	2,50	0,41	E
Palmeira Areca Bambu	<i>Dyopsis lutescens</i>	10	0,16	0,03	E
Palmeira Buriti	<i>Mauritia flexuosa</i>	25	0,40	0,07	N
Palmeira Imperial	<i>Roystonea oleracea</i>	30	0,48	0,08	E
Palmeira Leque	<i>Licuala grandis</i>	70	1,13	0,19	E
Palmeira Macaíba	<i>Acrocomia aculeata</i>	610	9,84	1,62	N
Palmeira rabo- de-peixe ou mulambo	<i>Caryota mitis</i>	50	0,81	0,13	E

Nome Popular	Nome Científico	NTI	DA (ind.ha <sup>-1</sup> )	DR (%)	Origem
Pata-de-Vaca	<i>Bauhinia forficata</i>	174	2,81	0,46	E
Pau-Brasil	<i>Caesalpinia echinata Lam.</i>	3.027	48,82	8,03	N
Paudarquinho ou Ipê-mirim	<i>Tecoma stans</i>	1.482	23,90	3,93	E
Piaca	<i>Lonchocarpus neuroscapha Bentam (Cordia Piaca)</i>	110	1,77	0,29	N
Pitanga	<i>Eugenia uniflora L.</i>	76	1,23	0,20	N
Pingo de Ouro	<i>Duranta repens L.</i>	1100	17,74	2,92	N
Sabiá ou Sanção do Campo	<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>	12.557	202,53	33,30	N
Sombreiro	<i>Clitoria fairchildiana</i>	330	5,32	0,88	N
Umarizeiro ou Marizeiro	<i>Geoffroea spinosa jacq.</i>	220	3,55	0,58	N
Urucu ou Urucum	<i>Bixa orellana</i>	423	6,82	1,12	N
<b>Total</b>		37.705,00	608,15	100,00	

Fonte: O Autor (2019).

No levantamento realizado na Muribeca, diversas espécies nativas e exóticas das mais diferentes classes têm sido utilizadas para compor a paisagem. As espécies com maior representatividade na área, expressa pela densidade relativa, foram respectivamente, Sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*), Pau-Brasil (*Caesalpinia echinata Lam.*), Flamboyant Mirim (*Caesalpinia pulcherrima*), Castanhola (*Terminalia catappa L.*), Pau D'Arquinho (*Tecoma stans*), Hibisco (*Hibiscus rosa-sinensis*), Pingo de Ouro (*Duranta repens L.*), Barriguda (*Ceiba glaziovii*), Agave-da-borda-amarela (*Agave angustifolia*), Cróton (*Codiaeum variegatum*), Palmeira Dendê (*Elaeis guineenses Jacq.*), Moringa (*Moringa Oleiofera*) e Mini Palmeira Imperial (*Veitchia merrillii*), as quais juntas representam cerca de 73,80% de todas as espécies plantadas na área.

Além disso, é importante salientar a escolha da variedade das espécies adaptáveis à região, uma vez que a recuperação dessas áreas é lenta ao longo do tempo, e a capacidade de sobrevivência das mesmas deve funcionar com pouca ou nenhuma manutenção. Comparando o presente levantamento realizado com o estudo elaborado por Fátima (1998) para a

implantação do cinturão verde de toda a área em torno do Aterro, utilizando espécies nativas e até mesmo frutíferas. Tabela 29 espécies arbóreas do plano de recuperação de área degradada do Aterro da Muribeca.

Tabela 29 - Espécies relacionadas no plano de recuperação do cinturão verde do aterro Aterro da Muribeca

Nome Popular	Nome Científico	Nome Popular	Nome Científico
Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus L.</i>	Cajueiro	<i>Anacardium occidentale L.</i>
Jacarandá	<i>Dalbergia spruceana Benth.</i>	Goiabeira	<i>Psidium guajava L.</i>
Ipê-roxo	<i>Tabebuia avellaneda</i>	Pitangueira	<i>Eugenia uniflora L.</i>
Flamboyant	<i>Delonix regia</i>	Acerola	<i>Malpighia glabra</i>
Pau-Brasil	<i>Caesalpinia echinata Lam</i>	Mangueira	<i>Mangifera indica L.</i>
Coqueiro	<i>Cocos nucifera L</i>	Araça-do-campo	<i>Psidium guineense Sw.</i>
Jatobá	<i>Hymenaea courbaril L</i>	Jambolão	<i>Syzygium cumini L.</i>
Abacateiro	<i>Persea gratissima</i>		

Fonte: adaptado de Fátima (1998).

Confrontando os estudos realizados sobre a revegetação do Aterro da Muribeca, vale salientar que não existem registros das informações obtidas sobre o plantio das espécies de Cajueiro, Jatobá e Jacarandá. É importante evidenciar o uso de espécies frutíferas no reflorestamento realizado, visto que a literatura recomenda a não utilização destas espécies, uma vez que as mesmas podem gerar frutos contaminados, ser consumidos por pessoas que residem próximo do aterro, acarretando problemas a população e a fauna.

Fátima (1998) justifica o plantio de espécies frutíferas em torno do Aterro como um tipo de pomar capaz de auto dissipar as sementes pelo vento ou pela fauna atraída pelos frutos. A autora ressalta ainda, a realização de estudos de monitoramento dos frutos, para verificar se os mesmos estão contaminados com a presença de metais pesados. Entretanto, não existem registros nos documentos fornecidos que este estudo tenha sido realizado.

Vale ressaltar também o quantitativo das espécies nativas e exóticas plantadas na área do Aterro da Muribeca, cerca de 37 espécies exóticas e 28 nativas, apesar da grande quantidade de espécies exóticas relacionadas, a maioria das mudas plantas na área são nativas correspondendo a cerca de 22.940, conforme relacionados na seguinte tabela 30, a região que encontra-se inserida o Aterro da Muribeca remanescente da mata atlântica, entretanto, poucas espécies nativas do bioma estão relacionadas na tabela anterior, merecendo uma reavaliação,

uma vez que diversas espécies pertencentes a este bioma estão ameaçados de extinção, que poderiam ser plantadas na área.

Tabela 30 - Estatística descritiva para as espécies exóticas e nativas do reflorestamento do Aterro da Muribeca

	Número de Árvores	Média	Mediana	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
Exóticas	14.765	399,05	185	517,51	129,68
Nativas	22.940	819,29	230	2373,54	289,71

Fonte: O Autor (2019).

O número de espécies nativas utilizadas na área do reflorestamento reforça o conceito discutido na revisão literária deste trabalho, em implantar parques públicos em áreas que anteriormente eram destinados resíduos, principalmente as que abrigavam lixões ou aterros controlados. Esta pesquisa ressalta a importância do monitoramento ambiental realizado após o encerramento do Aterro da Muribeca, uma vez que a implantação destes espaços públicos somente poderá ser destinada ao uso público, mediante a uma investigação detalhada do processo de inertização do maciço de resíduos, a fim de evitar risco de qualquer contaminação à população que venha usufruir da criação do espaço verde.

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões obtidas dos principais resultados desta pesquisa, como também algumas sugestões de pesquisas para trabalhos futuros.

### 5.1 CONCLUSÕES

Aterros de resíduos sólidos encerrados podem causar impactos à saúde e ao meio ambiente, após o encerramento de suas atividades operacionais, os aterros continuam gerando gases e efluentes líquidos por um longo período de tempo, constituindo um grande passivo ambiental. O monitoramento ambiental é um instrumento de coleta de dados, acompanhamento frequente e metódico acerca de controle e avaliação quantitativa e qualitativa das variáveis ambientais dos recursos naturais.

O presente trabalho teve o objetivo de analisar o monitoramento ambiental realizado no pós-encerramento do Aterro da Muribeca, referente ao período de 2009 a 2018. Com base nos resultados obtidos na realização deste estudo permitiu chegar as seguintes conclusões:

- a) A avaliação do monitoramento quantitativo da vazão do biogás produzido pelo Aterro da Muribeca sugere que o aterro encontra-se na fase de estabilização do maciço de resíduos, uma vez que a vazão monitorada começou a decrescer gradativamente após o segundo semestre de 2013 quando a vazão média diária do aterro era da 131,281 (m<sup>3</sup>/dia), chegando ao segundo semestre de 2018 a uma vazão média diária de 111,591 (m<sup>3</sup>/dia), uma redução de 15,0% entre o período estudado.
- b) Observa-se que nos períodos chuvosos existe uma interferência no aumento da emissão do biogás e da vazão do lixiviado.
- c) Com relação à vazão do lixiviado, observou-se que nos períodos de estiagem, ou nos anos de baixa precipitação pluviométrica registrada a vazão aferida do lixiviado e relativamente baixa, do que nos períodos chuvosos. Destacam-se as vazões médias trimestrais registradas no pós-encerramento do aterro no segundo trimestre de 2010.2 (568,56 m<sup>3</sup>/dia) e 2011.2 (758,4 m<sup>3</sup>/dia), período antes da manutenção da camada de cobertura, segundo e quarto trimestre de 2014.2 (494,3 m<sup>3</sup>/dia) e 2014.4 (702,94 m<sup>3</sup>/dia), terceiro trimestre 2015.3 (535,51 m<sup>3</sup>/dia) e no segundo e terceiro trimestre de 2017.2 (623,3 m<sup>3</sup>/dia) e 2017.3 (859,24), como também, na última vazão aferida no primeiro trimestre de 2018 (813,05 m<sup>3</sup>/dia). Com relação às precipitações

pluviométricas registradas para o mesmo período 2011.1 (1547,0 mm), 2014.2 (741,9 mm), 2017.2 (951,5 mm), 2017,3 (594,3 mm) e 2018.1 (458,2).

- d) Quanto ao lixiviado bruto observou-se que o mesmo apresenta substâncias recalcitrantes e baixa biodegradabilidade particularidades de lixiviado velho resultante de alguns anos do aterramento dos resíduos, características do processo de estabilização do maciço de resíduos, conseqüentemente apresentando uma baixa relação de  $DBO_5/DQO$  dos parâmetros de monitoramento analisados.
- e) Em relação a  $DBO_5/DQO$  observou-se que o aterro encontra-se na transição de aterro moderadamente estável para aterro velho estável, com lixiviado bastante recalcitrante, sendo pouco biodegradável, a relação média obtida para o ano de 2018 foi de 0,15.
- f) O tratamento biológico convencional do sistema de tratamento do lixiviado inicialmente empregado era insuficiente para remoção dos compostos recalcitrantes e metais pesados do lixiviado, devido à composição do efluente lixiviante velho altamente resistente com pouca matéria orgânica para remoção.
- g) O sistema físico-químico utilizado para o tratamento atualmente se mostra satisfatório para a remoção dos compostos químicos presentes no lixiviado, ressalta-se ainda que não existam tecnologias específica que consiga tratar o efluente proveniente da decomposição do resíduo tão recalcitrante, atuando de maneira isolada, atestando a eficiência dos sistemas combinados de tratamento.
- h) Com relação ao monitoramento ambiental nas águas superficiais dos rios localizados na área direta de influência do aterro, ressalta a importância de analisar e conhecer as características do corpo hídrico antes do lançamento, e o impacto causado na qualidade da água após a descarga do efluente tratado. É importante enfatizar que o monitoramento das águas superficiais realizados nos Rios Muribequinha e Jaboaão atendem os requisitos de monitoramento estabelecidos pelo órgão ambiental competente local.
- i) A respeito do monitoramento das águas subterrâneas do Aterro da Muribeca, são indicadores fundamentais em relação ao possível potencial de contaminação pela pluma de contaminação do aterro, alguns parâmetros demonstraram variações que atestam possível contaminação do poço. Entretanto, destaca-se que o poço de monitoramento em questão, encontra-se localizado a poucos metros da instalação de uma fossa séptica que pode interferir e, ao mesmo tempo contribuir para a contaminação do poço.

- j) A presença dos parâmetros nitrogênio amoniacal, coliformes totais e termotolerantes nas amostras de águas, coletada para o monitoramento e controle de qualidade do poço, indicam a contaminação por efluentes sanitário doméstico, podendo estar diretamente associada à instalação do poço, uma vez que o mesmo encontra-se instalado próximo de uma fossa séptica.
- k) No Brasil, ainda existe uma deficiência de informações a respeito ao uso das espécies arbóreas adequadas, utilizadas para a recuperação florestal das áreas remanescentes de antigos depósitos de resíduos.
- l) Foram plantadas cerca de 37.705,00 mudas de espécies arbóreas, sendo 37 espécies de origem exótica correspondendo um total de 14.765. Já para as nativas são 28 espécies que correspondem a um total de 22.940 mudas.
- m) O processo de recuperação de antigos depósitos de resíduos visa à criação de parques e áreas verdes, podendo ser uma alternativa sustentável para uso futuro da área.

Conclui-se que o monitoramento ambiental realizado no pós-encerramento do Aterro da Muribeca, se mostra apropriado para informar as reais condições ambientais que se encontram a área de recuperação e a área de influência direta da instalação do empreendimento durante sua vida útil.

## 5.2 RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Diante dos resultados encontrados na presente pesquisa, estabelecem sugestões para estudos futuros, visando à identificação e recuperação das condições naturais da antiga área de depósito de resíduos da Muribeca, sugerem-se:

- a) A continuidade dos estudos da análise quantitativa, para melhor adequar e simular os modelos estatísticos de previsão de geração de biogás, como também qualitativa do biogás produzido pelo Aterro encerrado da Muribeca.
- b) Aplicar os dados obtidos neste monitoramento em métodos de previsão estatísticos com a finalidade de estimar o tempo necessário de estabilização do Aterro da Muribeca.
- c) Realizar o estudo do balanço hídrico do aterro sanitário, uma vez que o mesmo tenciona representar os fenômenos físicos de geração do lixiviado no maciço, levando

em consideração a precipitação média anual, material da camada de cobertura, inclinação do aterro, cobertura vegetal (gramíneas), entre outras variáveis.

- d) Realizar o mapeamento da área através de métodos geofísicos permitindo obter informações sobre as condições geológicas e hidrológicas da área investigada, as técnicas geofísicas permite identificar anomalias dentro da zona saturada, que podem ser provocadas pela migração de percolado.
- e) Realizar um estudo do Índice de Qualidade das Águas (IQA) nos pontos a montante e a jusante do lançamento do efluente, com a finalidade de avaliar a qualidade do uso desta água, ser a mesma pode ser utilizada para o abastecimento humano ou indicar a má qualidade da mesma.
- f) A realização do estudo do controle de mortandade das espécies plantadas na recuperação florestal, visto que o aterro não possui este monitoramento, como também o estudo da flora espontânea espécies provenientes dos remanescentes naturais dos arredores.
- g) A realização do estudo da toxicidade dos frutos proveniente do plantio das espécies frutíferas plantadas no Aterro da Muribeca, uma vez que o consumo dos frutos podem ser tóxicos e prejudiciais à saúde humana. Em virtude que alguns contaminantes são capazes de penetrar no interior de folhas e polpas.
- h) Por último recomenda-se o estudo de viabilidade de criação de espaço de lazer e áreas verdes, associando os espaços verdes com a criação de bosques com a infraestrutura de pista de corrida e passeio para receber a população.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Norma Técnica: Coliformes Fecais – Padrão de Lançamento para Efluentes Doméstico e/ou Industriais. N° 2007.** Recife: CPRH, 2007. 7p.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. Water Environmental Federation. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** American Public Health Association. 20. ed. Washington: APHA, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. **NBR 8419** - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 13895** – Construção de poços de monitoramento e amostragem. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR. 13896** – Aterros de resíduos não perigosos – Critérios para projeto, implantação e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR 10004** – Resíduos sólidos – Classificação. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

AGSOLVE. **Dicas e Soluções** > Como e porque bombear chorume e gás condensado em aterros sanitários? Publicado em 2014. Disponível em: <https://www.agsolve.com.br/dicas-e-solucoes/9079/como-e-porque-bombear-chorume-e-gas-condensado-em-aterros-sanitarios>. Acesso em: 7 Jun. 2019.

AIRES, K. O. **Monitoramento das concentrações de gases em uma célula experimental de resíduos sólidos urbanos na cidade de Campina Grande – PB.** 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013. 118 p.

ALBERTE, Elaine Pinto Varela; CARNEIRO, Alex Pires; KAN, Lin. Recuperação de áreas degradadas por disposição de resíduos sólidos urbanos. **Diálogos & Ciência** – Revista Eletrônica da Faculdade de Tecnologia e Ciências de Feira de Santana. Feira de Santana, Ano III, n. 5, 2005. ISSN 1678-0493.

ALCÂNTARA, Perboyre Barbosa. **Avaliação da influência da composição de resíduos sólidos urbanos no comportamento de aterros simulados.** 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007. 364p.

ALMEIDA, Gustavo Henrique Tonelli Dutra de. **Monitoramento do biogás produzido pela biodegradação de resíduos sólidos urbanos confinados em lisímetros.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2016. 148p.

ALVES, Anne Karoline. **Proposta de manual técnico de medidas preventivas e corretivas para aterros sanitários encerrados.** 2010. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2010.

AMARAL, Míriam Cristina Santos *et al.* Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de lixiviados de aterro sanitários. **Eng. sanit. ambient**, v. 13, n. 1, p. 38-45, 2008.

AMARAL, Mailer Sene. **Tratamento físico-químico de lixiviado de aterro sanitário pré-tratado por processo biológico aeróbio**. 2009. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. 104p.

ANDRADE, Ana Paula de Abreu. **Avaliação da utilização de protetor físico de germinação e semeadura direta das espécies *Copaifera langsdorffii* Desf. e *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong. em área degradada pela mineração**. 2008. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2008. Publicação EFLM 092.

ANDRADES, Silvana Alves de. **Estudo do fator de segurança de um aterro sanitário tipo convencional comparando com um aterro sanitário tipo encosta**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

ARAÚJO, Elaine Patrícia. **Monitoramento de células experimentais de resíduos sólidos urbanos quanto a aspectos físico-químicos e microbiológicos**. 2015. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

AUER, Celso Garcia; GHIZELINI, Ângela Michelato; PIMENTEL, Ida Chapaval. Decomposição fúngica de acículas em plantios de Pinus. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 54, p. 127, 2007.

AUTOSSUSTENTÁVEL. **Lixões, aterros sanitários e incineradores**, 2010. Disponível em: <http://autossustentavel.com/2010/05/lixoes-aterros-sanitarios-e-incineradores.html>. Acesso em: 3 fev. 2019.

BASSANI, Fabiana. **Monitoramento do lixiviado do aterro controlado de Maringá, Paraná, e avaliação da tratabilidade com coagulantes naturais, radiação ultravioleta (UV) e ozônio**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2010. p. 127.

BECK, Márcia Helena *et al.* Monitoramento das águas subterrâneas e lixiviado do local de disposição dos resíduos sólidos urbanos do município de Passo Fundo. **Revista Agrogeoambiental**, v. 1, n. 3, 2009.

BORGES, T. M. R. **Guia para monitoramento ambiental em aterros sanitários**. Belo Horizonte, 2015. Disponível em: <http://www.dcta.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/21/2018/03/TCC-THAYRINNE-MARCELLA-RODRIGUES-BORGES.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2019.

BOSCOV, Maria Eugenia Gimenez. **Geotecnia ambiental**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria Nº 2.914, de Dezembro de 2011**. Disponível em: [http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html). Acesso em: 14. mai. 2019.

BRASIL. **Lei Federal 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2010. p. 21. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 3 fev. 2019.

BRITO, Ericka Patrícia Lima de. **Avaliação da biodegradação e geração de biogás de resíduos envelhecidos sob condições de reatores experimentais**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

BRITO FILHO, Luiz Fernandes. **Estudo de gases em aterros de resíduos sólidos urbanos**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005. p. 218.

CAVALCANTE, Sulamita de Souza Silva. **Geração de lixiviados de aterros sanitários na Região Metropolitana de São Paulo: histórico e perspectivas**. 2014. Dissertação (Mestrado em Ciências de Saúde Ambiental) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. p. 170.

CAMPOS, Fabio. **Influência do recebimento de lixiviado de aterro sanitário sobre o tratamento de esgoto em processo de lodo ativado e reator integrado de lodo ativado com biofilme em leito móvel**. 2014. Tese (Doutorado em Ciências e Saúde Ambiental) - Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. p. 222.

CARVALHO, Maria Angélica Garcia de. **Métodos estatísticos para análise de dados de monitoração ambiental**. 2003. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. p. 135.

CARVALHO, Ellen Cristina Dantas de. **Estrutura e estágios de sucessão ecológica da vegetação de caatinga em ambiente serrano no cariri paraibano**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2010. p. 68.

CASSINI, S. T.; COELHO, S. T.; PECORA, V. Biogás- Biocombustíveis ANP. *In*: PERLINGEIRO, Carlos Augusto G. (Org.). **Biocombustíveis no Brasil** - fundamentos, aplicações e perspectivas. v. 1. Rio de Janeiro: Synergia Editora, 2014. p. 136-167.

CATAPRETA, C. Antunes; SIMÕES, G. F. Monitoramento Ambiental e Geotécnico de Aterros Sanitários. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 7., 2016, Campina Grande, PB. **Anais**. [...]. Campina Grande: CBGA, 2016.

CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos *et al.* **Resíduos Sólidos: projeto, operação e monitoramento de aterros sanitários: guia do profissional em treinamento: nível 2** / Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org). – Belo Horizonte: ReCESA, 2008. 112 p.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras**. Águas, Sedimento, Comunidades Aquáticas e Efluentes Líquidos. Brasília, DF, 2011.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Manual de Operação de Aterro Sanitário em Valas/CETESB**. Aruntho Savastano Neto. [et al]. São Paulo: Margot Terada, 2010.

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

\_\_\_\_\_. **Resolução CONAMA nº 396**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Brasília: CONAMA, 2008.

\_\_\_\_\_. **Resolução CONAMA nº 404**. Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos. Brasília: CONAMA, 2008.

\_\_\_\_\_. **Resolução CONAMA nº 430**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília: CONAMA, 2011.

COSTA, Magdalena Duarte. **Estudos de camadas de cobertura de aterros sanitários em colunas de solos**. 2015. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015. 144p.

CONSTRUMAQ SÃO CARLOS. **Ampolas Gasométricas**. Disponível em: <http://www.construmaq.ind.br/produtos/ampolas-gasometricas/>. Acesso em: 7 Jun. 2019.

DIPROTEC GEOSSINTÉTICOS. **Geossintéticos na construção de aterros sanitários**. 2018. Disponível em: <http://diprotecgeo.com.br/blog/geossinteticos-na-construcao-de-aterros-sanitarios/>. Acesso em: 7 Jun. 2019.

DMITRIJEVAS, Cibele. **Análise de ecoeficiência de técnicas para tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos**. 2010. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

DORES, Luís Augusto de Carvalho Bresser. **Encerramento de aterro sanitário: estudo de caso**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Taubaté, Taubaté, 2007.

EDUARDO, Janaina. **Avaliação das características microbiológicas e físicoquímicas do lixiviado (chorume) no processo de tratamento do Aterro Metropolitano de Gramacho**. 2007. Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. 98 p.

EMPRESA DE MANUTENÇÃO E LIMPEZA URBANA DO RECIFE. **Aterro sanitário**. Recife: EMLURB, 2019. Disponível em: <https://www.recife.pe.gov.br/pr/servicospublicos/emlurb/aterrosanitario.php>. Acesso em: 07 Jan. 2019.

FÁTIMA, Maria. Recuperação de área degradada Aterro Sanitário da Muribeca. *In*: CONGRESSO INTERAMERICANO SOBRE EL MEDIO AMBIENTE, 5., 1998, Habana. **Anais [...]**. Habana, Cuba: CIMA, 1998.

FERREIRA, Adriana Gonçalves. **Estudo dos lixiviados das frações do aterro sanitário de São Carlos-SP por meio da caracterização físico-química**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência da Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

FIRMO, Alessandra Lee Barbosa. **Estudo numérico e experimental da geração de biogás a partir da biodegradação de resíduos sólidos urbanos**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013. 286p.

FONSECA, Fábio de Alcântara. **Produção de mudas de *Acacia mangium* Wild. e *Mimosa artemisiana* Heringer & Paula em diferentes recipientes, utilizando compostos de resíduos urbanos, para a recuperação de áreas degradadas**. 2005.

GARZA, Hugo de Moura; SKRZYPCZAK, Poliana; DOMINGOS, Viviane. **Estudos preliminares da produção de biogás a partir da digestão anaeróbia de resíduos do restaurante universitário do campus Medianeira**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

GUILHERME, Laís Chaves. **Análise da evolução dos parâmetros geoambientais do monitoramento pós-encerramento do aterro de Muribeca-PE**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

HOLANDA, Marina de. **Em detalhe: restauração paisagística do Aterro Sanitário de Vall d'em Joan/ Batlle i Roig Arquitectes**. 2012. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/01-38151/em-detalhe-restauracao-paisagistica-do-aterro-sanitario-de-vall-den-joan-batlle-i-roig-arquitectes>. Acesso em: 17 Jun. 2019.

HOLANDA, Savio Henrique de Barros. **Uso de consórcio microbiano facultativo no estudo da biodegradação e geração de biogás de resíduos sólidos urbanos envelhecidos em aterros**. 2016. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

HOLANDA, Francisco Sandro Rodrigues., *et al.* Crescimento inicial de espécies florestais na recomposição da mata ciliar em taludes submetidos à técnica da bioengenharia de solos. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, p. 157-166, 2010.

JESUS, Willian Ferraz de. **Caracterização das formas de destinação final impostas pela política nacional de resíduos sólidos e identificação de seus principais aspectos e potenciais impactos**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

JORDÃO, Alessandro Augusto. **Tecnologia e meio ambiente: a valorização energética de resíduos sólidos no Brasil**. 2011. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara, 2011.

JUCÁ, J.F.T. *et al.* Monitoramento ambiental do Aterro de Resíduos Sólidos da Muribeca. *In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS*, 3., 1999, Toledo, PR. **Anais [...]**. Toledo, PR: SNRSU, 1999.

KLEIN, J. C. *et al.* **Estudo de caso para recuperação paisagística do Aterro Sanitário de Toledo-PR**. Apresentado no 2º International Workshop Advances in Cleaner Production. São Paulo – SP. 2009.

KURNIAWAN, Tonni Agustiono; LO, Wai-hung; CHAN, Gilbert YS. Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. *Journal of hazardous materials*, v. 129, n. 1-3, p. 80-100, 2006.

LEME, Simone Maria. Comportamento da população urbana no manejo dos resíduos sólidos domiciliares em Aquidauana-MS. *Geografia* (Londrina), v. 18, n. 1, p. 154-192, 2009.

LIMA, Andreia Nogueira. **Análise do monitoramento da contaminação ambiental do solo do aterro de resíduos sólidos urbanos encerrado de Seropédica**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências de Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2015.

LIMA, Wesley Schettino de. **Avaliação do desempenho de remoção de poluentes de lixiviados: um estudo de caso para o sistema de tratamento do Aterro Municipal de Betim-Minas Gerais**. 2006. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006. v. 2.

LINS, Cecília Maria Mota. **Avaliação da eficiência da barreira reativa permeável composta por zeólita natural no tratamento do lixiviado do Aterro da Muribeca/PE**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008. p. 130.

LINS, Eduardo Antônio Maia. **A Utilização da capacidade de campo na estimativa do lixiviado gerado no Aterro da Muribeca**. 2003. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

LINS, Eduardo Antônio Maia. **Proposição e avaliação de um sistema experimental de processos físicos e químicos para tratamento de lixiviado**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011. p. 277.

LOPES, R. L. **Infiltração de água e emissão de metano em camadas de cobertura de aterros de resíduos sólidos**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011. 250p.

MACIEL, Felipe jucá. **Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos da Muribeca/PE**. 2003. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

MACIEL, Felipe jucá. **Geração de biogás e energia em aterro experimental de resíduos sólidos urbanos**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009. 350p.

MAGALHÃES, Natalie Cristine. **Remoção e recuperação de amônia de lixiviado de aterro sanitário utilizando membranas contactoras e comparação com processos convencionais**. 2014. Dissertação (Mestrado em Saneamento, meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014. p. 153.

MEINERZ, C. C. *et al.* **Estudo de caso para recuperação paisagística do Aterro Sanitário de Toledo-PR**. Apresentado no 2º International Workshop Advances in Cleaner Production. Key Elements for a Sustainable World: Energy, Water and Climate Change. São Paulo, Brasil, 20 a 22 de maio, 2009.

MELLO, Victor Fernandes Bezerra de. **Otimização do tratamento de lixiviados e corantes por processos físico-químicos**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011. p. 106.

MENDONÇA, Jaísa Marília dos Santos. **Avaliação da ecotoxicidade de percolados em áreas de disposição de resíduos na região metropolitana de Natal/RN**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ecologia) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010. p. 72.

MONTEIRO, Alessandra Elias. **Índice de qualidade de aterros industriais-IQRI**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. 201p.

MORAIS, Josmaria Lopes de. **Estudo da potencialidade de processos oxidativos avançados, isolados e integrados com processos biológicos tradicionais, para tratamento de chorume de aterro sanitário**. 2005. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

MORAVIA, W. G. **Estudos de caracterização, tratabilidade e condicionamento de lixiviados visando tratamento por lagoas**. 2007. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007. p. 161.

MOTTA, E. Q. **Avaliação da resistência ao cisalhamento de resíduos sólidos urbanos com codisposição de lodo de tratamento de esgoto através de ensaios de cisalhamento direto de grandes dimensões**. 2011. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011. 211p.

MOURA, Denise Adelina Guimarães. **Remoção de amônia por arraste com ar de lixiviados de aterros sanitários**. 2008. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. p. 131.

NAKAMURA, Cláudia Yukie *et al.* Avaliação da qualidade da água subterrânea no entorno de um aterro sanitário. **Águas Subterrâneas**, v. 28, n. 2, p. 28-40, 2014.

NASCIMENTO, Victor Fernandez. **Proposta para indicação de áreas para a implantação de aterro sanitário no município de Bauru-SP, utilizando análise multi critério de decisão e técnicas de geoprocessamento**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2012.

NETO, G. A., *et al.* O Uso da vegetação na recuperação de áreas urbanas degradadas. **Maringá**, v. 26, n. 1, p. 65-73, 2004.

NISUYAMA, Felipe Leite. Aspectos geotécnicos e ambientais relacionados à implantação do Aterro Sanitário Oeste. 2016. Monografia (Graduação) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2016. 111 p.

NYC Parks. **Parque Freshkills**. Site oficial do Departamento de Parques e Recreação de Nova York. Disponível em: <https://www.nycgovparks.org/park-features/freshkills-park#plan>. Acesso em: 17 Jun. 2019.

OLIVEIRA, Laís Roberta Galdino de. **Estudo das emissões de biogás em camadas de coberturas de aterro de resíduos sólidos urbanos**. 2013. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013. p. 93.

OLIVEIRA, Cauê Nascimento de. **Recuperação ambiental de aterros sanitários na região metropolitana de Campinas: revegetação e uso futuro**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

PAIXÃO FILHO, Jorge Luiz da. **Lixiviado de aterro sanitário: alternativas de tratamento para o cenário brasileiro**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017. p. 246.

PAREDES, Juliana Marçal da Rocha. **Dessorção de nitrogênio amoniacal de lixiviado de aterro sanitário em reatores de fluxo pistonado**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2012. p. 75.

PEREIRA, Mateus. **A transformação de aterros sanitários em parques**. 2018. Disponível em: <https://www.archdaily.com.br/br/904840/a-transformacao-de-aterros-sanitarios-em-parques>. Acesso em: 17 Jun. 2019.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba, SP: ESALQ, 2009. 451p.

PINHEIRO, Priscila Tinelli; FRANCISCHETTO, Gilsilene Passon Picoretti. A política nacional de resíduos sólidos como mecanismo de fortalecimento das associações de catadores de materiais recicláveis. **Derecho y Cambio Social**, p. 24, 2016. ISSN: 2224-4131.

PORTELLA, Márcio Oliveira; RIBEIRO, José Cláudio Junqueira. Aterros sanitários: aspectos gerais e destino final dos resíduos. **Revista Direito Ambiental e Sociedade**, v. 4, n. 1, 2014.

PURIFICAÇÃO, Rodrigo Cavalcanti da. **Utilização de biocamada metanotrófica como alternativa para redução de emissões de metano por aterros sanitários**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

ROCHA, Leonardo. **Disposição de resíduos sólidos numa voçoroca e seus impactos sobre as águas: um estudo de caso em Uberlândia/MG**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006. p. 189.

ROCHA, Elisângela Maria Rodrigues. **Desempenho de um sistema de lagoas de estabilização na redução da carga orgânica do percolado gerado no aterro da Muribeca (PE)**. 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

RODRIGUES, Tatyane Souza Nunes. **Estudo de viabilidade do aproveitamento energético do biogás gerado em célula experimental no aterro controlado da Muribeca Pernambuco (PE)**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009. p.132.

REIS, Alexsandro dos Santos. **Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Núcleo de Tecnologia, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2012.

SÁ, Lidiane Freire de *et al.* Tratamento do lixiviado de aterro sanitário usando destilador solar. **Revista Ambiente e Água**, v. 7, n. 1, 2012.

SÁ, Lidiane Freire de. **Evaporação natural do lixiviado do aterro da Muribeca através de um destilador solar**. 2008. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008. p. 133.

SANTOS, Aldecy de Almeida. **Avaliação de um sistema alternativo utilizando Wetland construído como pós-tratamento de lixiviado de reator Uasb**. 2012. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012. p. 119.

SANTOS, Aldecy de Almeida. **Qualidade das águas superficiais e subterrâneas na área de influência do aterro sanitário de Cuiabá-MT**. 2008. Dissertação (Mestrado.) - Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008a.

SANTOS, Inês Margarida de Barros Tavares. **Diagnóstico e avaliação da gestão de lixiviados produzidos em aterros sanitários de resíduos urbanos**. 2008. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2008b.

SANTOS FILHO, Derovil Antônio dos. **Avaliação temporal do lixiviado da muribeca**. 2013. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013. p. 99.

SILVA, Fabrícia Maria Santana. **Avaliação do método de precipitação química associado ao stripping de amônia no tratamento do lixiviado do Aterro da Muribeca-PE**. 2008. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008. p. 117.

SILVA, T. N., DE FREITAS, F. S. N., & CANDIANI, G. Avaliação das emissões superficiais do gás de aterros sanitários de grande porte. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, p. 95-104, 2013.

SOARES, Gil Liano Jaime de Castro. **Inventário de teses e dissertações sobre o tema aterro sanitário**. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2014.

STELLATO, Thamiris Brandino. **Avaliação da qualidade da água superficial e subterrânea da área de instalação do futuro reator Multipropósito Brasileiro-RMB**,

**como uma ferramenta para a obtenção da licença de instalação.** 2017. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. p. 209.

SOUTO, Gabriel D'Arrigo de Brito; POVINELLI, Jurandy. Características do lixiviado de aterros sanitários no Brasil. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA*, 24., Belo Horizonte, 2007. **Anais [...]**. Belo Horizonte: CBEAS, 2007.

SOUTO, Gabriel D'Arrigo de Brito. **Lixiviado de aterros sanitários brasileiros: estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (stripping).** 2009. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

TARAZONA, Carolina Flórez. **Estimativa de produção de gás em aterros de resíduos sólidos urbanos.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

TEIXEIRA, Marília Coelho. **Previsão e monitoramento de recalques em aterros sanitários/estudo de casos: central de resíduos de Recreio Minas do Leão/RS e São Leopoldo/RS.** 2015. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2015.

TELLES, Cláudia Anastácia Santana. **Processos combinados para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Technologies remediation, anaerobic bioremediation** (Direct). Washington: EPA, 2015. Disponível em: [https://clu-in.org/techfocus/default.focus/sec/Bioremediation/cat/Anaerobic\\_Bioremediation\\_\(Direct\)/](https://clu-in.org/techfocus/default.focus/sec/Bioremediation/cat/Anaerobic_Bioremediation_(Direct)/). Acesso em: 7 Jun. 2019.

VAN ELK, Ana Ghislane Henriques Pereira. **Redução de emissões na disposição final.** IBAM, 2007.

VICTORINO, Alfiado. **Potencial da digestão anaeróbia na gestão de resíduos e produção de energia renovável: um estudo de caso.** 2017. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2017. 154p.

VINNITSKAYA, Irina. **Landfill Reclamation: fresh kills park develops as a natural coastal buffer and parkland for Staten Island.** 2013. Disponível em: <https://www.archdaily.com/339133/landfill-reclamation-fresh-kills-park-develops-as-a-natural-coastal-buffer-and-parkland-for-staten-island>. Acesso em: 17 Jun. 2019.

YABROUDI BAYRAM, Carolina Suher. **Remoção de matéria orgânica e nitrogênio de lixiviados de aterro sanitário: tratamento por nitrificação/desnitrificação biológica e processos físico-químicos.** 2012. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. p. 192.

ZANTA, Viviana Maria; FERREIRA, Cynthia Fantoni Alves Ferreira. Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos. *In*: CASTILHOS JUNIOR, Armando Borges de (org.). **Alternativas de disposição de resíduos sólidos urbanos para pequenas comunidades.** Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2003. ISBN 85-86552-70-4. cap. 1, p.1-16.

ZELIC, Marco Antônio. **Avaliação do processo de destilação do percolado de aterro em função dos parâmetros estabelecidos pela resolução CONAMA 430.** 2017. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. p. 158.