

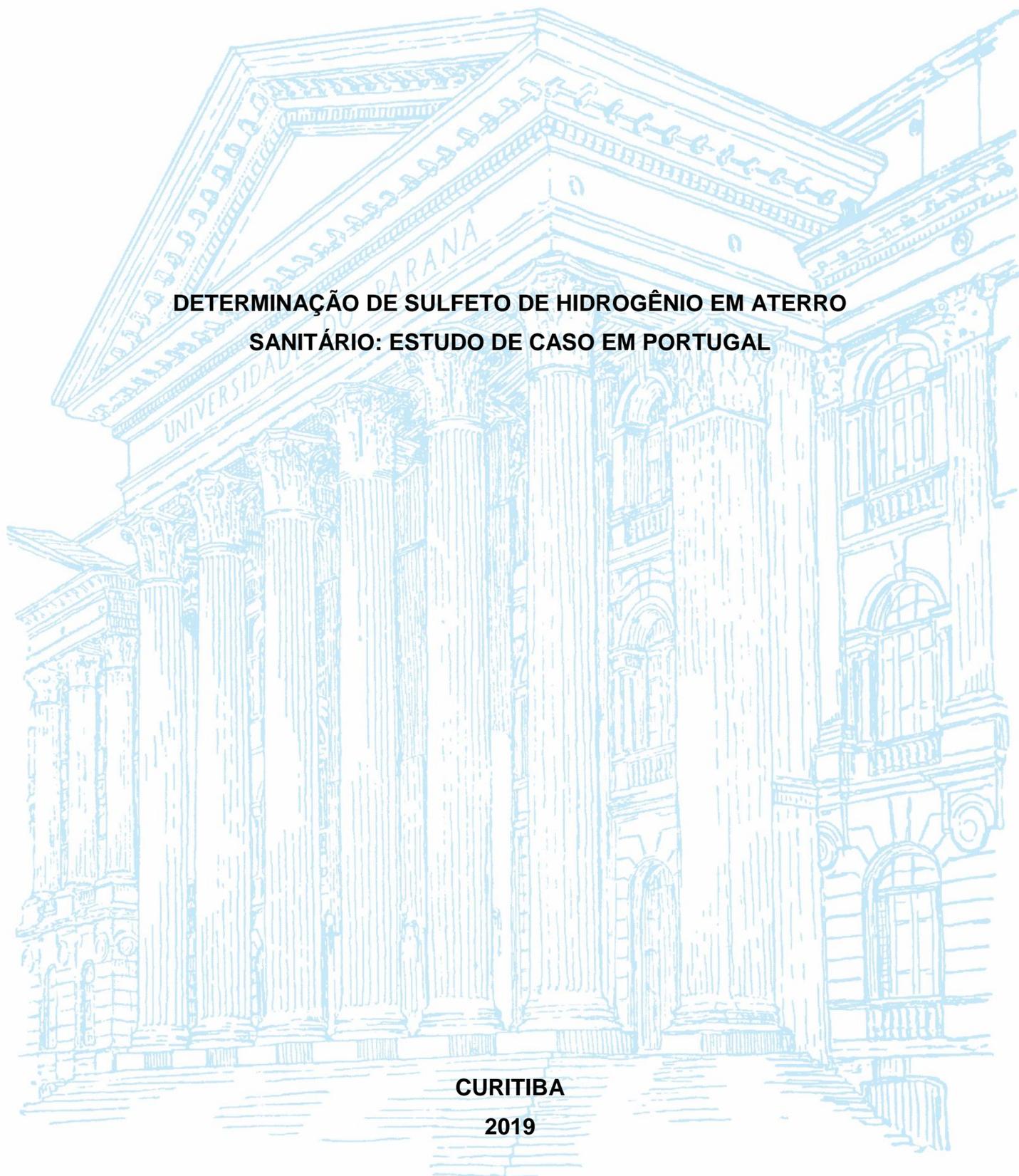
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CAROLINA KALINOWSKI DE SOUZA

**DETERMINAÇÃO DE SULFETO DE HIDROGÊNIO EM ATERRO
SANITÁRIO: ESTUDO DE CASO EM PORTUGAL**

CURITIBA

2019



CAROLINA KALINOWSKI DE SOUZA

DETERMINAÇÃO DE SULFETO DE HIDROGÊNIO EM ATERRO SANITÁRIO:
ESTUDO DE CASO EM PORTUGAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Flavia Locatelli Godoi

CURITIBA

2019

TERMO DE APROVAÇÃO
CAROLINA KALINOWSKI DE SOUZA

DETERMINAÇÃO DE SULFETO DE HIDROGÊNIO EM ATERRO SANITÁRIO:
ESTUDO DE CASO EM PORTUGAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Profa. Dra. Ana Flavia Locateli Godoi
Orientadora – Departamento de Engenharia Ambiental, UFPR.

Prof. Dr. Michael Mannich
Departamento de Engenharia Ambiental, UFPR.

Prof. Dr. Ricardo Henrique Moreton Godoi
Departamento de Engenharia Ambiental, UFPR.

Curitiba, 02 de Agosto de 2019.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela vida. Agradeço pelas oportunidades e por estar finalizando uma das etapas mais importantes da minha vida.

Agradeço à equipe de Portugal da Universidade de Aveiro por me proporcionar a experiência de realizar esse trabalho. Obrigada pela confiança e pela disposição.

Agradeço a minha mãe Yara. Que além de meu exemplo de mulher, é a pessoa mais forte que eu conheço. Obrigada pelo exemplo de garra, determinação e amor. Sem você, nada disso seria possível.

Aos meus avós, Soeli e João. Obrigada por sempre estarem ao meu lado. Vocês são simplesmente as melhores pessoas que eu conheço.

Aos professores Michael Mannich, Ricardo Godoi e Ana Flavia Godoi. Vocês me fizeram acreditar que eu estava no lugar certo. Obrigada pelos conhecimentos, pelo exemplo e pela oportunidade de aprender. Vocês fizeram a diferença na minha vida (não foi só na UFPR).

Agradeço especialmente a Professora Ana Flavia por acreditar em mim e por estar sempre disponível para me ajudar no que fosse preciso. Obrigada pela confiança e pelo carinho.

Agradeço aos amigos e amigas por terem me dado forças quando pensei em desistir. Camila Roth, Dalila Lapuse, Tabata Gallo, Marcela Ceccon, Jessica Priscilla, Ariel Roecker, Nicole Laureanti, Camila Hoffman, Juliana Camargo, Francielle Barbosa e Nicole Grechi dedico esse trabalho à vocês. Especialmente aos meus amigos de luta nas madrugadas de estudos Alexandre Fávaro e Bianca Gonçalves. Vocês foram as minhas melhores companhias.

Ao Felipe por ter me dado todo o apoio e a motivação que precisei principalmente neste último período. Você é realmente muito importante.

Ao CAEA por me proporcionar tantas experiências incríveis e amigos que vou levar para vida.

Ao Carlos, meu supervisor de estágio e a toda a equipe do Departamento de Meio Ambiente da Copel Distribuição, por me acolher com tanto carinho e por perdoar minhas faltas para estudar e fazer meu TCC.

Dedico este trabalho a vocês e a Angel (em memória).

Vocês são parte disso.

Sem vocês o caminho teria sido muito mais difícil.

*“Never doubt that a small group of
thoughtful, concerned citizens can change world.
Indeed it is the only thing that ever has.”*

Margaret Mead

RESUMO

O presente trabalho apresenta a determinação do composto H_2S em dois aterros sanitários em Portugal. O estudo teve como principais objetivos determinar a concentração de H_2S em diferentes locais, comparar as emissões em um aterro ativo e em outro encerrado, e avaliar a efetividade de um sistema de biofiltro instalado na planta de triagem dos resíduos não recicláveis. Foram feitas três campanhas de amostragem, as quais ocorreram uma no verão e duas no inverno. As medições contemplam ambientes tanto externos quanto internos à estrutura dos aterros e foram realizadas com o uso de amostradores passivos da marca Radiello®, com análises realizadas por espectrofotometria. Para os pontos internos do galpão de tratamento mecânico biológico (TMB) as concentrações variaram de 0,7 a 3,36 ppm, sendo as mais elevadas, capazes de gerar potenciais efeitos adversos à saúde, registradas em pontos específicos da central de triagem de resíduos. Considerando que aquela planta deveria receber apenas resíduos recicláveis, o registro da ocorrência de H_2S confirma a visível contaminação por resíduos orgânicos, provavelmente como resultado da segregação ineficiente desde a geração do resíduo. Nos pontos externos as concentrações foram comparáveis a outros estudos e variaram de 0,005 a 0,11 ppm no aterro que ainda está em operação, e ficaram abaixo do limite de detecção para o aterro encerrado. Sugere-se que a concentração de H_2S deve ser considerada em futuros trabalhos de avaliação da qualidade do ar para gerar uma base de dados concisa.

Palavras-chave: Aterro Sanitário. Odor. Sulfeto de Hidrogênio. Resíduos sólidos urbanos.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – ROTAS METABÓLICAS DE DEGRADAÇÃO DA M.O. E PRODUÇÃO DE SUBSTÂNCIAS PELOS GRUPOS DE MICRO-ORGANISMOS DURANTE A DIGESTÃO ANAERÓBIA	12
FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO- ATERRO 1	24
FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO NO ATERRO 2	24
FIGURA 4 - CONJUNTO DO AMOSTRADOR PASSIVO PARA AMOSTRAGEM DE H ₂ S.....	28
FIGURA 5 - CARTUCHO ADSORVENTE PARA H ₂ S.....	29
FIGURA 6 - DIFUSORES AXIAIS E RADIAIS.....	29
FIGURA 7 - REAÇÃO QUÍMICA PARA GERAÇÃO DO AZUL DE METILENO	31
FIGURA 8 – ROSA DOS VENTOS PARA O PERÍODO DE 01/12/17 A 31/12/18 NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA EMV, PORTUGAL	34
FIGURA 9 – ROSA DOS VENTOS 18/12/17 A 21/12/17 NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA EMV, PORTUGAL	35
FIGURA 10 – ROSA DOS VENTOS 02/02/18 A 09/02/18 NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA EMV, PORTUGAL	36
FIGURA 11 – ROSA DOS VENTOS 03/09/18 A 12/09/18 NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA EMV, PORTUGAL	37

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – DISTRIBUIÇÃO DAS FREQUÊNCIAS DAS CLASSES DE VENTO PARA O PERÍODO DE 01/12/2017 A 31/12/2018 NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA EMV, PORTUGAL	35
GRÁFICO 2 – DISTRIBUIÇÃO DAS FREQUÊNCIAS DAS CLASSES DE VENTO PARA O PERÍODO DE 18/12/2017 A 21/12/2017	36
GRÁFICO 3 – DISTRIBUIÇÃO DAS FREQUÊNCIAS DAS CLASSES DE VENTO PARA O PERÍODO DE 02/02/18 a 09/02/18 NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA EMV, PORTUGAL	37
GRÁFICO 4 – DISTRIBUIÇÃO DAS FREQUÊNCIAS DAS CLASSES DE VENTO PARA O PERÍODO DE 03/09/18 A 12/09/18 NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA EMV, PORTUGAL	38
GRÁFICO 5 – CONCENTRAÇÕES DE H ₂ S EM AMBIENTES INTERNOS NO INVERNO E VERÃO COMPARADOS COM O LIMITE DA NORMA 1796:2014	41

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - ESTIMATIVA DA COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS COLETADOS NO BRASIL	5
TABELA 2 - RELAÇÃO DOSE-EFEITO DO H ₂ S	13
TABELA 3 - VALOR LIMITE DE EXPOSIÇÃO H ₂ S DE ACORDO COM A NORMA PORTUGUESA 1796:2017	21
TABELA 4 - PONTOS DE AMOSTRAGEM E REFERÊNCIA NO MAPA.....	25
TABELA 5 – TEMPO DE AMOSTRAGEM PARA 1ª CAMPANHA DE INVERNO (dezembro/2017).....	27
TABELA 6 – TEMPO DE AMOSTRAGEM PARA 2ª CAMPANHA DE INVERNO (fevereiro/2018).....	27
TABELA 7 – TEMPO DE AMOSTRAGEM PARA CAMPANHA DE VERÃO (setembro/2018).....	28
TABELA 8 – VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE H ₂ S POR LOCAL DE AMOSTRAGEM (PONTOS INTERNOS)	39
TABELA 9 – VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE H ₂ S POR LOCAL DE AMOSTRAGEM (PONTOS EXTERNOS)	42

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABNT	-Associação Brasileira de Normas Técnicas
Abrelpe	-Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
ANMP	-Associação Nacional de Municípios Portugueses
ANOVA	-Análise de Variância
APA	-Agência Portuguesa do Ambiente
CAS	- <i>Chemical American Society</i>
CDR	-Combustível Derivado de Resíduos
CMI	-Câmara Municipal de Ílhavo
CNUMAD	-Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento
CPCB	- <i>Central Pollution Control Board</i>
EA	-Educação Ambiental
EPA Victoria	- <i>Environmental Protection Agency of Victoria</i>
ETAR	-Estações de Tratamento de Águas Residuais
EU	-União Europeia
EUA	-Estados Unidos da América
FD	-Fator de Diluição
GEE	-Gases do Efeito Estufa
GRSU	-Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos
IBGE	-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LD	-Limite de Detecção
LQ	-Limite de Quantificação
MDEP	- <i>Maine Department of Environmental Protection</i>
MO	-Matéria Orgânica
NBR	-Norma Brasileira
ODS	-Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	-Organização das Nações Unidas
ONU-Habitat	-Programa das Nações Unidas para Assentamentos Humanos
OSHA	- <i>Occupational Safety and Health Administration</i>
PAPERSU	-Plano de Ações pelos sistemas multimunicipais, intermunicipais e Municípios

PERSU	-Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos
RSU	-Resíduos Sólidos Urbanos
SNIS	-Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TMB	-Tratamento Mecânico e Biológico
UA	-Universidade de Aveiro
USEPA	- <i>United States Environmental Protection Agency</i>
WHO	- <i>World Health Organization</i>
WWF	- <i>World Wide Fund for Nature</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVOS	2
1.1.1	Objetivo geral	2
1.1.2	Objetivos específicos.....	2
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1	CONTEXTUALIZAÇÃO: RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)	3
2.1.1	Caracterização dos RSU	4
2.1.2	Geração e gestão dos RSU.....	6
2.2	ATERROS SANITÁRIOS.....	9
2.2.1	Degradação ambiental anaeróbia de matéria orgânica	9
2.2.1.1	Sulfeto de Hidrogênio (H ₂ S).....	11
2.2.2	Possibilidade de controle de odores em Aterros Sanitários.....	15
2.2.3	Projetos “Aterro Zero”	16
2.3	GERENCIAMENTO DE RSU (GRSU) E LEGISLAÇÃO AMBIENTAL EM PORTUGAL.....	17
3	MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1	ÁREA DE ESTUDO	23
3.2	LOCAIS DE AMOSTRAGEM.....	23
3.3	AMOSTRAGEM.....	26
3.4	EXTRAÇÃO E ANÁLISE DO H ₂ S.....	30
3.5	CÁLCULO DA CONCENTRAÇÃO	31
3.5.1	Análise estatística – ANOVA	32
3.6	CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
4.1	CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS	34
4.2	CONCENTRAÇÕES DE H ₂ S NOS PONTOS DE AMOSTRAGEM.....	38
4.2.1	Análise de Variância.....	44
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
	REFERÊNCIAS	46
	APÊNDICE	52

1 INTRODUÇÃO

O aumento da população mundial vem sendo acompanhado da elevação da produção de resíduos sólidos urbanos (RSU). Essa relação apresenta consequências cada vez mais complexas, dificultando a gestão desse tipo de resíduo. A geração deste material pela sociedade se reflete em contaminação difusa, desperdício de recursos naturais e na necessidade de amplos espaços para disposição final, quando a reciclagem não é possível.

Mesmo com a evolução da tecnologia e havendo opções de produção industrial consideradas mais “limpas” e sustentáveis, os resíduos produzidos foram se alterando e gradativamente se acumulando e poluindo o meio ambiente. E, sem uma destinação final que os reinsira na cadeia produtiva ou de suprimentos, é inevitável que sejam destinados para locais como aterros sanitários, lixões, entre outros. Estes locais de deposição final são uma das principais fontes de perturbações odoríferas no meio ambiente (KO et al., 2015). Estes gases podem ser associados a diversos problemas ambientais, como os de efeito estufa, odores indesejáveis e de efeitos tóxicos, causadores de incômodos e prejuízos, muitas vezes inestimáveis, à população e à natureza. A falta de separação dos resíduos contamina os recicláveis e resulta em baixa recuperação, mesmo em um país mais desenvolvido como Portugal, pode ser definido como outro fator determinante para a geração de odor. Isso por que a degradação dos resíduos, mesmo quando não enterrados, produz gases tais como o sulfeto de hidrogênio H_2S conhecido por apresentar “cheiro de ovo podre”.

Existem diferentes tecnologias implantadas para o controle da qualidade do ar em aterros sanitários, porém, a maioria dos estudos e da preocupação relacionada ao tema está direcionada na geração do gás metano. Assim, é possível afirmar que existe uma lacuna com pouca disponibilidade de informações na bibliografia sobre o monitoramento de odores em aterros sanitários que contemplem o sulfeto de hidrogênio. O presente estudo, portanto, vem agregar informações, contribuir para a criação de uma base de dados sobre H_2S em aterros e também demonstrar a importância de medições de outros gases gerados em aterros além do metano, como o sulfeto de hidrogênio (H_2S). Tais informações poderão ser utilizadas

como ferramenta para nortear tomadas de decisão baseadas em dados concretos obtidos a partir de amostragem.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a concentração de sulfeto de hidrogênio (H_2S) em dois aterros sanitários localizados em Portugal, por meio de amostragem passiva, inclusive considerando amostragens na central de triagem dos resíduos.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar as concentrações de H_2S a partir dos dados obtidos em diferentes campanhas, realizadas com amostradores passivos e cuja análise foi realizada por espectrofotometria;
- Avaliar o efeito dos biofiltros instalados em dois pontos de amostragem, comparando as concentrações de H_2S observadas;
- Comparar as concentrações de H_2S num aterro em operação e em outro encerrado;
- Comparar os resultados das concentrações de H_2S com valores limite de exposição descritos pela legislação vigente em Portugal.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO: RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

Diante do constante crescimento da população mundial, a qual ultrapassou a marca de 7,7 bilhões de habitantes (ONU, 2019), do desenvolvimento dos centros urbanos atrelados ao progresso tecnológico e dos atuais padrões de produção e consumo, danos irreversíveis ao meio ambiente vêm sendo acumulados, principalmente no que se refere aos resíduos sólidos.

Em 2003, o Relatório Planeta Vivo, criado pela WWF (*World Wide Fund for Nature*) indicou que a “Pegada Ecológica” humana, a qual representa a dimensão de nosso impacto na Terra, aumentou mais de três vezes desde 1961(WWF, 2006). E em 2019, a nossa Pegada Ecológica excede a capacidade de regeneração do planeta em torno de 70% (WWF, 2019).

De acordo com a legislação da comunidade europeia Diretiva 2008/98/CE, no artigo 3.º, n.º1, “resíduo” é definido como “quaisquer substâncias ou objetos de que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou obrigação de se desfazer” (Directiva 2008/98/CE, 2008). Portanto, refere-se a tudo aquilo que já cumpriu seu papel como produto e não será mais utilizado, pelo menos não no mesmo contexto. Para a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) Lei nº 12.305 (BRASIL, 2010) resíduo é:

“material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível”. (Cap. 2, art. 3º, inc. XVI, da Lei 12.305, de 2010).

Em virtude de serem gerados ininterruptamente por indivíduos, comunidades, empresas, instituições, mercados e fábricas, o volume de resíduos é gigantesco, afirma chefe do Programa das Nações Unidas para Assentamentos Humanos (ONU-Habitat), Maimunah Sharif (ONU, 2018). De acordo com informações publicadas

pela Organização Mundial das Nações Unidas (ONU), 2 bilhões de toneladas de resíduos são geradas diariamente no mundo (ONU, 2018). Um levantamento feito pela ONU-Habitat em 2018, 99% dos itens que compramos são descartados em menos de seis meses. Portanto, para comportar os 7,6 bilhões de moradores do mundo naquele ano, suprir o uso de recursos e assimilar o “lixo” gerado, seria necessário 70% de outro planeta Terra.

Em 2018, o tema para o Dia Mundial do Habitat foi “Gestão Municipal de Resíduos Sólidos”. Levando isso em consideração, é possível definir a gestão dos resíduos sólidos como uma questão urgente a ser tratada pela humanidade. No Brasil, são gerados 358,5 kg/hab.ano de RSU (ABRELPE, 2018). Em Portugal, a média de geração atinge 484 kg/hab.ano (APA, 2018).

Dessa forma, é visível que o problema dos resíduos sólidos urbanos está intimamente ligado aos padrões de consumo da população, vinculado ao mau gerenciamento de toda a cadeia dos resíduos, bem como ao seu descarte e destino final. Os locais de deposição final de resíduos, tais como aterros sanitários, estão sobrecarregados devido ao volume gerado.

2.1.1 Caracterização dos RSU

A composição do resíduo sólido urbano (RSU) não deve ser generalizada, pois não apresenta um padrão mundial. A constituição pode variar regionalmente em pequena ou grande escala. É possível identificar diferenças na composição dos resíduos de acordo com o poder de compra e o estilo de vida do gerador (ANDREOLI et al., 2003). Além disso, essas variações ocorrem em função dos hábitos da população, do nível de escolaridade, da atividade econômica, e até do clima (SANTOS, 2011).

De maneira geral, os RSU são constituídos por materiais biodegradáveis (resíduos de alimentos e de jardinagem/varrição), papéis/papelões, plásticos, madeiras, metais, vidros e outros materiais (entulhos, espumas, solos, couro, borrachas, cinzas, tecidos, óleos, graxas, resíduos industriais não perigosos etc.) (REIS, 2012).

No Brasil, a composição dos RSU foi estimada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e publicada pelo Instituto de Pesquisa Econômica

Aplicada (IPEA). A TABELA 1 demonstra a composição gravimétrica do material coletado no Brasil com destaque para a matéria orgânica.

TABELA 1 - ESTIMATIVA DA COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS COLETADOS NO BRASIL

Materiais	Quantidade		
	Composição	2000	2008
	%	kton/d	kton/d
Material Reciclável	32	48	58
Matéria Orgânica	51	77	94
Outros	17	25	31
Total	100,0	150	183

Fonte: Adaptado de IPEA (2012)

De acordo com o IPEA (2012) mais da metade dos RSU no Brasil era composta por matéria orgânica e deste total, apenas 1,6% são destinados para unidades de compostagem, sendo o restante encaminhado para outros destinos finais, destacando-se lixões, aterros controlados e aterros sanitários.

Desde que a Diretiva Europeia EU 1999/31 exigiu a redução significativa do aterramento de resíduos orgânicos, a compostagem se tornou uma alternativa aos aterros sanitários na Europa (APA, 2014). O uso de ferramentas para diminuir a quantidade de resíduos orgânicos dispostos nos aterros sanitários também é uma meta estabelecida por esta diretiva. Na Europa, cerca de 15% da fração orgânica é reaproveitada via compostagem (SLATER; FREDERICKSON, 2001).

Em relação à disposição final, a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe) registrou em 2017 o índice de 59,1% do total anual direcionado aos aterros sanitários. No entanto, lixões e aterros controlados, ainda estão operando no Brasil inteiro. Estas unidades inadequadas receberam um montante superior a 80 mil toneladas de RSU por dia, atingindo um índice superior a 40% e representando elevado potencial de poluição ambiental, além de impactos negativos à saúde (ABRELPE, 2018).

O volume de RSU produzidos em Portugal no ano de 2017 foi aproximadamente 4,7 milhões de toneladas. Do total de resíduos encaminhados para tratamento, 32% foram encaminhados diretamente para aterro (PERSU 2020+, 2018).

Países economicamente desenvolvidos deparam-se com resíduos cada vez mais diversificados em relação a sua composição e com consequentes questões relativas a seu tratamento (LANGE et al., 2002). Então, com o intuito de diminuir o volume de RSU a ser tratado ou destinado de forma definitiva, a necessidade de um plano mais abrangente para lidar com a logística destes processos é evidente.

2.1.2 Geração e gestão dos RSU

A revolução ambiental que foi iniciada na década de 90 tornou questões ambientais e sociais muito mais evidentes no cenário político global e, de forma genérica, fez com que estes assuntos fossem internalizados nos setores público e privado, devido à pressão de entidades, fundações, associações, instituições e organizações não governamentais (PEREIRA; MAIA, 2012). Há décadas está acontecendo um movimento mundial em prol do meio ambiente, da diminuição dos resíduos e da maximização dos processos que evitam a destinação deste material para aterros. Mas, para que estes efeitos ocorram em grande escala, o principal fator é a ação individual, estimulados pela expressão de John Lennon: “pense globalmente, aja localmente”. A partir dessa conjuntura, se faz necessário o gerenciamento de toda a cadeia dos resíduos sólidos (ANDREOLI et al., 2003), ou seja, abrangendo questões que englobam a geração de resíduos como um todo, inclusive questões particulares de pré consumo e pós destinação.

De acordo com a Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2019) a Gestão de Resíduos é um conjunto de atividades de caráter técnico, administrativo e financeiro, fundamentais à disposição, coleta, transporte, tratamento, valorização e eliminação dos resíduos, abrangendo tanto o planejamento e a fiscalização desses procedimentos, quanto o monitoramento dos locais de destinação final, mesmo quando as atividades de recebimento dos resíduos já estiverem encerradas.

Para um gerenciamento mais efetivo dos RSU o primeiro passo é reduzir a produção por meio da diminuição do consumo, ou seja, praticar um consumo responsável. A participação insuficiente dos cidadãos na coleta seletiva, a separação incorreta na fonte, a deposição indevida das embalagens e/ou dos resíduos das mesmas geram contaminação indesejável e provoca ineficiência do processo ou baixo desempenho da gestão dos RSU e, portanto, a participação

pública deve ser levada em consideração nas propostas de novas diretrizes (PERSU 2020+, 2018).

Somado a isso, cabe ressaltar que o consumo se dá por uma reação em cadeia, então ao diminuí-lo, toda a geração de resíduos atrelada à extração das matérias primas, à produção, ao transporte, etc. também é minimizada. Sendo assim, como essa etapa de geração de resíduos precede as demais, quanto menos resíduo for gerado, melhor será para o meio ambiente. Porém, essa diminuição do consumo demanda grandes esforços governamentais, políticos e principalmente da própria população. Isso porque mudanças de hábitos, vida e consumo podem exigir muito tempo até serem incorporadas pela população (GALLO, 2018).

Dessa forma, a reutilização e reciclagem dos materiais devem ser priorizadas para contribuir com a mitigação da poluição ambiental, além de reduzir a exploração dos recursos naturais juntamente com a economia de energia e matéria prima. Essas condutas supracitadas já foram previstas há mais de 25 anos por acordo internacional na Agenda 21, a qual foi o resultado da Rio-92. O evento conhecido como Rio-92, por ter sido realizado no Rio de Janeiro em 1992, foi a segunda Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, visando o debate de questões ambientais por chefes de estado. Dentre os resultados desta Conferência está a Agenda 21, a qual consiste em um documento assinado por mais de 170 países comprometendo-se a refletir sobre as questões ambientais de forma individual, local e global (BARRETO, 2009). Portanto, o tratamento e/ou o descarte dos resíduos recicláveis devem ser considerados apenas como última alternativa. E para que isso aconteça, é necessário que os resíduos sejam separados diretamente na fonte com o auxílio de um sistema de coleta seletiva.

A implantação de um processo de coleta seletiva de resíduos tem como objetivo a separação de acordo com a composição e manutenção das propriedades do material descartado. Esse procedimento faz com que sejam viabilizadas as ações de triagem dos recicláveis e reutilizáveis para posterior valorização do material e reinserção na cadeia produtiva.

Estes pontos também estão entre os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) apontados pela Organização das Nações Unidas (ONU). A ideia central é “reduzir substancialmente a geração de resíduos através da prevenção, redução, reciclagem e reuso, até 2030” (ONU, 2015).

A redução da geração de resíduos e as ações de potencializar a reutilização, a reciclagem e a reinserção dos materiais na cadeia de consumo também impactam diretamente na vida útil dos locais de deposição final e na qualidade dos resíduos destinados para tais locais. Com isso, a legislação europeia incentiva a diminuição do uso de aterros e considera os RSU uma prioridade da política (PERSU 2020+, 2018). Porém, ao mesmo tempo em que se criam soluções pontuais, a geração de resíduos aumenta anualmente (TAYLOR; ALLEN, 2006).

Diante da necessidade de se reduzir a geração de resíduos e rejeitos direto na fonte, cada vez mais o movimento individual em prol de um consumo sustentável, vem ganhando força. Observa-se inclusive que existe um crescente movimento, o qual aplica o consumo sustentável como um estilo de vida.

Este comportamento é mais observado entre o gênero feminino. Dentre as principais influencias, estão Bea Johnson, Lauren Singer, Anne Marie e Cristal Muniz. Bea Johnson é uma francesa que mora na Califórnia e vive este estilo desde 2008. Possui um livro e um blog homônimos chamados “Zero Waste Home” (JOHNSON, 2019), os quais são responsáveis por influenciar muitas pessoas a adquirir hábitos mais sustentáveis. Lauren Singer é uma moradora de Nova York, a qual não produz resíduos há três anos e do mesmo modo, possui um blog para compartilhamento de informações (SINGER, 2019). Anne Marie mora em San Francisco, também nos Estados Unidos e possui um site voltado para alimentação saudável e receitas que não gerem resíduos. Suas três principais premissas são: 1) Sem embalagem; 2) Nada processado; 3) Sem “lixo”. Assim, ela disponibiliza diversas receitas comuns de uma maneira que não gere resíduos (MARIE, 2019). Já Cristal Muniz é a brasileira que escreveu o primeiro livro sobre como praticar uma vida “lixo zero” no Brasil (MUNIZ, 2019). Desde 2015 ela adota este estilo de vida e o compartilha na internet por meio de blog e diversas redes sociais (possui quase 50mil seguidores no *Instagram*).

Sendo assim, fica evidente que é possível diminuir a geração de resíduos que são destinados a aterro simplesmente adaptando comportamentos, fazendo escolhas mais conscientes e responsáveis.

2.2 ATERROS SANITÁRIOS

Aterros sanitários foram originalmente propostos para a substituição dos lixões, aterros controlados e formas inadequadas de destinação final. Portanto, seriam a forma correta de deposição final dos resíduos sólidos provenientes das atividades humanas (NBR 8419, 1992). Estas estruturas são construídas, no mínimo, com o objetivo de impedir a contaminação do solo, ar e água. Os resíduos que deveriam ser destinados a estas áreas são os não recicláveis, mas como a separação na origem da geração ainda é ineficiente em muitas regiões, é comum que muitos materiais recicláveis e reutilizáveis ainda sejam enterrados nestes lugares. Isso caracteriza um desperdício de matéria prima e energia, além do prejuízo ambiental e lotação desnecessária dos aterros.

Normalmente, este tipo de local é incorporado em regiões distantes das cidades, pois além de causar contaminação, proliferação de vetores, apresentam um grande tráfego de caminhões, chorume, etc. podem gerar odor, principalmente quando não operados adequadamente. Embora existam normas específicas para a construção e manutenção destes locais, infelizmente é comum que não sejam cumpridas em sua totalidade. No Brasil os aterros sanitários de RSU são previstos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (NBR 8419, 1992) e em Portugal pelo Decreto-Lei n.º 183/2009 (PORTUGAL, 2009). Neste, o desenvolvimento do Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU), apresentou papel impulsionador para a transição da deposição de resíduos em lixões para a deposição em aterros, sendo a sua principal meta o encerramento da totalidade dos lixões (NUNES, 2017).

O processo de decomposição da matéria orgânica que está presente nos aterros é chamada de degradação anaeróbia e é responsável pela geração do chorume e dos gases.

2.2.1 Degradação ambiental anaeróbia de matéria orgânica

A degradação anaeróbia da matéria orgânica (MO) presente nos RSU consiste na decomposição bioquímica, a qual ocorre nos aterros por ação microbiana em um ambiente livre de oxigênio, tendo como resultado a produção de

chorume e biogás, processos também definidos como biometanização ou biogaseificação, respectivamente.

A biodegradação anaeróbia se caracteriza por não utilizar o oxigênio molecular (O_2) como aceptor final de elétrons, mas outra molécula inorgânica ou orgânica. Algumas bactérias tais como as *Pseudomonas*, podem utilizar o íon nitrato (NO_3^-), reduzindo-o ao íon nitrito (NO_2^-), óxido nitroso (N_2O) ou nitrogênio gasoso (N_2); outras, como as *Desulfovibrio*, utilizam sulfato (SO_4^{2-}), formando sulfeto de hidrogênio (H_2S) (TORTORA et. al, 2012). Percebe-se a importância desses dois exemplos nos ciclos do nitrogênio e do enxofre que ocorrem na natureza.

O processo é mediado por bactérias heterotróficas anaeróbicas (estritas ou facultativas) que degradam a MO numa atividade simbiótica, cada uma executando um determinado conjunto de reações a partir da degradação dos polímeros biológicos. Estas bactérias pertencem ao grupo hidrolítico-fermentativas, acetogênicas produtoras de hidrogênio e arqueas metanogênicas (BARCELOS, 2009).

No processo anaeróbio de biodegradação da MO que acontece em aterros existem dois estágios básicos. No primeiro estágio os materiais orgânicos mais complexos são convertidos em compostos mais simples (por exemplo: proteínas são metabolizadas em peptídios e/ou aminoácidos, ou polissacarídeos são convertidos em oligossacarídeos e/ou açúcares). No segundo estágio, ocorre a conversão dos compostos mais simples em outras moléculas orgânicas de massa molar menor (como ácidos) e produtos finais gasosos (gás carbônico, o metano e sulfeto de hidrogênio, por exemplo) (TORTORA et. al, 2012).

Na ausência de oxigênio (O_2 livre) as bactérias facultativas e anaeróbicas são responsáveis pela degradação da matéria orgânica, a qual ocorre em quatro etapas:

1. Hidrólise;
2. Acidogênese;
3. Acetogênese;
4. Metanogênese.

A primeira etapa representa a conversão das moléculas mais complexas (por exemplo, proteínas, lipídios e carboidratos) em compostos dissolvidos mais simples (aminoácidos e oligossacarídeos).

A segunda fase é representada pela metabolização destes produtos solúveis provenientes da hidrólise e conversão em compostos mais simples. Dentre os

compostos produzidos incluem-se ácidos graxos voláteis álcoois, gás carbônico e hidrogênio (BARCELOS, 2009).

Na terceira etapa, as bactérias acetogênicas oxidam os produtos gerados anteriormente. Os ácidos produzidos nestas reações (ácido acético, propanóico, ácido butanóico, ácido láctico) são os causadores dos maus odores característicos. Além disso, há liberação de nitrogênio (N_2), sulfeto de hidrogênio (H_2S), amônia (NH_3) e outros gases que contribuem para o mau odor (CAMPOS, 1999).

Na quarta fase, os compostos orgânicos simples constituídos na fase três (ácidos orgânicos e hidrogênio) são utilizados por microrganismos anaeróbios (*arqueas metanogênicas*) originando metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2).

É importante destacar que, quando depositada diretamente no meio ambiente, a MO gera lixiviado, contaminando corpos hídricos e o próprio solo, além de muitas vezes conter metais pesados (KINOBE et al., 2015). É possível também, responsabilizar os resíduos orgânicos decompostos anaerobicamente pela poluição do ar, pois provocam geração de gases nocivos ao ambiente e à saúde humana (HARTMANN; AHRING, 2005).

2.2.1.1 Sulfeto de Hidrogênio (H_2S)

O sulfeto de hidrogênio (H_2S - CAS 7783-06-4) é um gás inflamável, facilmente detectado por indivíduos mesmo quando se apresenta em níveis muito baixos (MDEP, 2007). Isso porque esta substância possui odor característico de ovo podre. De acordo com o Departamento de Proteção Ambiental de Maine (2007), o H_2S pode representar até 1% em volume de emissões de gás de aterro sanitário.

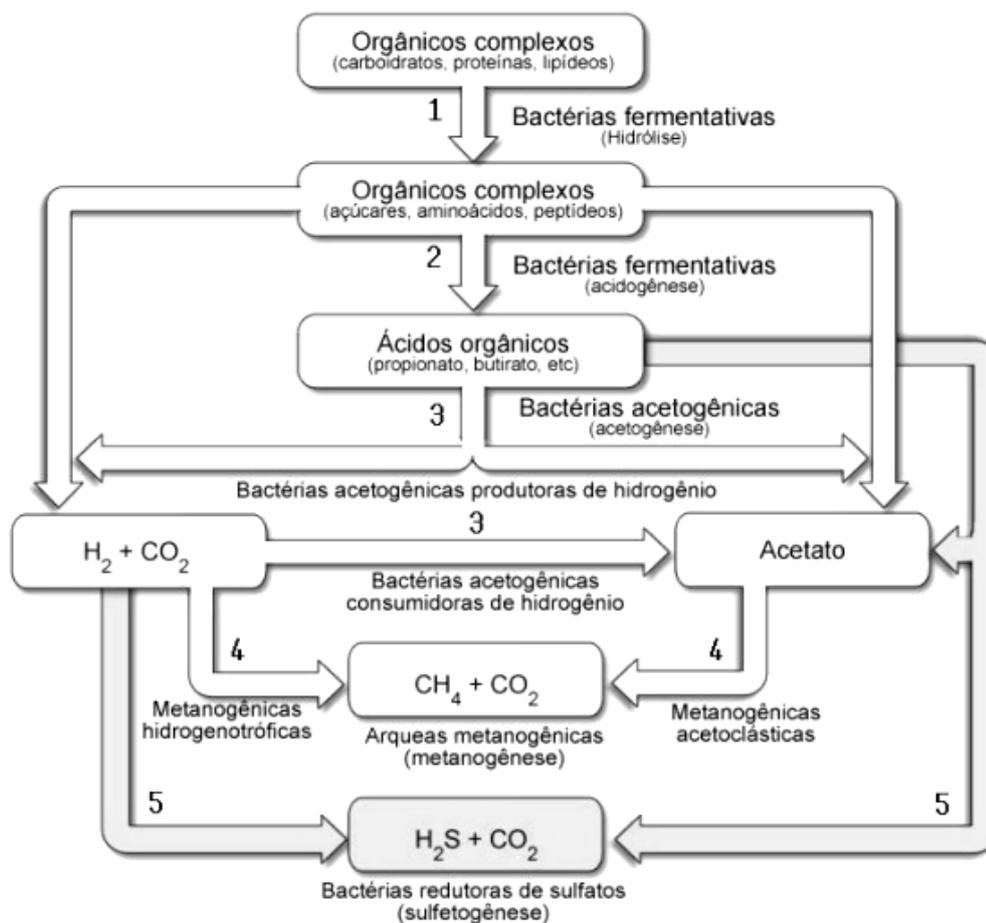
A formação deste composto em um aterro depende da combinação de certas condições como: o teor de umidade, temperatura e pH; além de condições anóxicas (falta de O_2) e uma fonte de sulfato (MDEP, 2007). Esse sulfato por sua vez, pode ter várias origens.

A composição dos resíduos depositados em aterros sanitários varia bastante, dependendo dos hábitos de descarte, da cultura de consumo, etc. Em alguns países, o painel de gesso é um dos principais contribuintes para a formação de sulfeto de hidrogênio em aterros sanitários (MDEP, 2007), mas outros tipos de resíduos também podem contribuir significativamente, tais como: material remanescente da fabricação de celulose e papel, lodo de estações de tratamento de

águas residuais e também a matéria orgânica contendo proteínas (principalmente alimentos), representada pela parcela biodegradável do RSU (KO et al., 2015).

Durante a digestão anaeróbia, as rotas metabólicas de degradação dos substratos orgânicos são complexas. Dessa forma, não há um modelo que contemple todas as etapas da sequência de reações (CHERNICHARO, 1997). Isso por que o processo é constituído por uma sucessão de reações, com micro-organismos distintos, dividindo-se em quatro fases distintas, como descrito: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. A FIGURA 1, apresenta as rotas metabólicas de degradação da matéria orgânica e produção de substâncias pelos micro-organismos.

FIGURA 1 – ROTAS METABÓLICAS DE DEGRADAÇÃO DA M.O. E PRODUÇÃO DE SUBSTÂNCIAS PELOS GRUPOS DE MICRO-ORGANISMOS DURANTE A DIGESTÃO ANAERÓBIA



FONTE: GONÇALVES (2012)

Essas reações químicas ocorrem em aterros e locais de disposição de RSU, pois nesses ambientes normalmente são proporcionadas as condições ambientais necessárias. Os fatores determinantes para desencadear tais reações são a umidade dos resíduos e a temperatura, a composição, a disposição no aterro e as características físicas do material como densidade e porosidade são importantes para as reações cinéticas de degradação (RUSSO, 2005).

O H₂S pode provocar efeitos negativos na saúde humana. Além do incômodo pelo mau cheiro, náusea, vômito, cefaleia, perda de apetite e distúrbios do sono à vizinhança das instalações geradoras do poluente (KOURTIDIS et al., 2008). Existem também casos de pessoas que vieram a óbito, por causa da exposição a concentrações extremamente elevadas deste gás (BRUNO et al., 2007). De acordo com o relatório *Toxicological Review of Hydrogen Sulfide*, da Agencia Americana de Proteção Ambiental (EPA), a concentração limite considerada para a exposição por inalação de H₂S é de 2 µg.m⁻³, acima do qual são apontados efeitos adversos sobre a saúde humana (USEPA, 2003). A Organização Mundial de Saúde (OMS) informa que concentrações de 10 a 30 µg.m⁻³ no ar podem ocasionar dores de cabeça, e irritação nos olhos e no sistema respiratório (WHO, 2000). Na TABELA 2 estão apresentados os diversos efeitos provocados pela exposição ao H₂S, de acordo com a concentração.

TABELA 2 - RELAÇÃO DOSE-EFEITO DO H₂S

CONCENTRAÇÃO DE H ₂ S (ppmv)	EFEITOS NA SÚDE HUMANA
0,1	Odor detectável
3	Odor ofensivo
10	Dor de cabeça, náusea, garganta e olhos irritados
50	Danos nos olhos
100	Perda de olfato, conjuntivite, dificuldades respiratórias
300	Edema pulmonar
500	Forte estimulação nervosa
500 - 700	Perda de consciência e possibilidade de morte em 30 - 60 minutos
700 - 1000	Perda de consciência rápida
1000 - 2000	Colapso respiratório imediato, paralisia, morte em alguns minutos

FONTE: Adaptado de Antunes (2006)

A inalação é a principal via de exposição do gás, o qual é imediatamente absorvido pelos pulmões. O cheiro do gás é facilmente detectável, porém, com a exposição contínua de baixo nível (crônica) ou em altas concentrações (aguda), a

pessoa perde a capacidade de sentir o cheiro do gás, mesmo que ele ainda esteja presente (fadiga olfatória). Em exposições agudas, a capacidade de sentir o cheiro do gás pode ser eliminada instantaneamente, o que pode se tornar fatal (OSHA, 2005).

No entanto, desenvolver estratégias para o controle de odor nos aterros é uma questão que envolve grande complexidade por diversos motivos, incluindo principalmente a extensão das estruturas e da área ocupada, pois é inviável manter um sistema de captação para todo o local (MENDES, 2012).

Existem diferentes tecnologias implantadas para o controle das emissões atmosféricas, como por exemplo: biofiltros, aproveitamento do gás para geração de energia elétrica, sistemas de gerenciamento de gás ativo que extrai e queima o gás do aterro sanitário, entre outros. Além disso, as emissões de sulfeto de hidrogênio podem ser reduzidas diminuindo a quantidade de resíduos contendo sulfato que entram no aterro sanitário (MDEP, 2007). Contudo, por mais que existam projetos de remoção de H_2S do biogás (já que é corrosivo e não serve para a produção de energia), a maioria dos estudos e da preocupação relacionada aos odores gerados nesses ambientes não engloba a geração e não avaliam especificamente a questão do H_2S . Em pesquisa na base de dados *Web of Science*, houve cinquenta e oito (58) resultados para títulos com a combinação aterro (*landfill*) + odor (*odour*), enquanto a busca com a combinação aterro (*landfill*) + odor (*odour*) + sulfeto de hidrogênio (*hydrogen sulfide*) resultou em zero. O resultado foi nulo também para a pesquisa aterro (*landfill*) + odor (*odour*) + H_2S . Assim, apesar da importância em compreender, caracterizar e determinar a questão dos odores e sua relação com o H_2S em aterros, observa-se uma lacuna na literatura, tanto nacional quanto internacional.

Entre os poucos estudos encontrados, Ko et al. (2015) reportam em um artigo de revisão as concentrações de H_2S registradas em diversos aterros, sendo algumas delas em ambientes externos e em locais dentro do terreno do aterro. No aterro de RSU Daegu (Coréia do Sul) um estudo de Janeiro de 2004 reportou concentrações de 0 a 0,014 ppm (KO et al., 2015 apud SHON et al., 2004). Dois aterros ainda na Coréia do Sul apresentaram de 0 a 0,005 ppm em ar ambiente (KO et al., 2015 apud SONG et al., 2004). Nos Estados Unidos, o estudo em um aterro do estado de Ohio registrou concentrações de 0 a 0,178 ppm (KO et al., 2015 apud COLLEDGE, 2008). Outro estudo feito nos Estados Unidos, no ano de 2006, dessa vez em aterro específico da construção civil na Flórida, apresentou uma média de

0,003 a 4 ppm (KO et al., 2015 *apud* LEE et al., 2006). Entre os estudos citados, este último foi o que apresentou o maior valor de concentração de H₂S. Naquele estudo, o autor ressalta a importância de resíduos da construção civil (tais como *dry walls*), na disponibilização de enxofre e favorecimento da formação de sulfeto de hidrogênio.

2.2.2 Possibilidade de controle de odores em Aterros Sanitários

As principais fontes de odor nos aterros sanitários são fontes difusas com grandes áreas de emissão (MENDES, 2019). Por essa questão, as medidas de controle de odor utilizadas em instalações prediais e Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), por exemplo, não são apropriadas para aterros sanitários. Portanto, as principais possibilidades para controlar e prevenir as emissões atmosféricas de aterros são (CPCB, 2017):

- Área de segurança em torno do aterro;
- Aplicação das melhores técnicas;
- Desvio da fração orgânica dos RSU.

Área de segurança em torno do aterro: Esta área é uma região nas imediações do aterro na qual não é permitido realizar práticas que representem potencial de exposição humana ao odor. A melhor opção para estas zonas é que sejam ocupadas por vegetação, proporcionando um efeito de barreira para omitir o odor (MENDES, 2012). Uma boa cobertura vegetal forma uma superfície capaz de absorver gases odoríferos, reduzindo de forma eficaz o odor em torno dos aterros (CPCB, 2017).

Aplicação das melhores técnicas disponíveis: Devem ser utilizadas em todas as etapas da construção, exploração e encerramento do aterro (EPAVICTORIA, 2018). São exemplos destas técnicas para remoção de H₂S, a utilização de biofiltros e tratamento químico com Dióxido de Cloro e Peróxido de Hidrogênio (CPCB, 2017). A biofiltração é essencialmente, um processo biológico no qual meios tais como solo e compostos são utilizados como substrato para microrganismos removerem os gases geradores de odor do aterro (CPCB, 2017). Já o tratamento químico, consiste em inserir quantidades controladas de substâncias químicas como cloro ou peróxido de hidrogênio no fluxo de gás gerado, e dessa forma remover o odor (CPCB, 2017).

Desvio da fração orgânica dos RSU: A valorização orgânica é uma opção frente à deposição de resíduos orgânicos em aterro, resultando numa menor emissão de odor (MENDES, 2012). Para isso, é necessário desenvolver um plano de gerenciamento de resíduos abrangente e adequado, o qual inclua a coleta seletiva eficiente, a participação da população para diminuir a geração de resíduos e a correta separação na fonte. Além disso, melhorar a conscientização pública sobre o manejo de odores (CPCB, 2017).

2.2.3 Projetos “Aterro Zero”

Os aterros, embora representem uma forma de destinação final de resíduos adequada na perspectiva do saneamento ambiental, de acordo com Campos e Braga (2005), apresentam aspectos negativos a serem abalizados:

- Provocam impactos ambientais, tais como a possibilidade de contaminação do solo, desenvolvimento de passivos ambientais tais como o chorume, geração de odor e gases do efeito estufa (GEE), entre outros;
- Ocupam grandes áreas, cada vez mais limitadas em regiões urbanas;
- Não favorecem o desenvolvimento de uma cultura ambiental de redução da geração de resíduos;
- Materiais destinados para estes locais não são reinseridos na cadeia produtiva, caracterizando como desperdício de matéria prima e energia.

Tendo isso em mente, é possível afirmar que a estrutura de destinação final representada pelos aterros é uma forma insustentável a longo prazo. Portanto, é inevitável a conscientização da população global em relação ao problema e à promoção de novos formatos de mercado e de destinação final mais adequada.

A Educação Ambiental (EA) e o gerenciamento de resíduos podem contribuir positivamente no aumento da vida útil de aterros sanitários, reduzindo a construção de novas unidades e proporcionando melhor aproveitamento das existentes (PEREIRA; MAIA, 2012). Isso porque a população, quando ativa e consciente de sua função transformadora, torna-se corresponsável pelo desenvolvimento sustentável. Assim, é possível afirmar que a EA é uma condição efetiva de mudanças na degradação socioambiental (TAMAIIO, 2000).

Em algumas cidades dos Estados Unidos, bem como alguns países europeus tais como Itália, Croácia, Espanha, etc. os governos municipais declararam o “lixo zero” como uma meta (ZERO WASTE CITIES, 2019). Em outras localidades como na Alemanha, os aterros já não são mais usados, visto que todo o resíduo orgânico é compostado e o restante é reciclado, reutilizado ou incinerado (OPPHARD, 2019).

Na Europa, a iniciativa *Zero Waste Europe* é definida como uma filosofia, uma estratégia e um conjunto de ferramentas práticas que buscam eliminar o desperdício e não apenas administrá-lo (ZERO WASTE, 2014). Essa prática, quando aplicada em larga escala e por toda a população, tornaria a existência dos aterros obsoleta e desnecessária.

Ao diminuir a destinação final dos resíduos para aterro, fica evidenciada a questão da reciclagem. No entanto, o diretor executivo do projeto Zero Waste Europe, Joan Marc Simon, explicita que os princípios da reciclagem baseiam-se na ideia de fechar o ciclo, ou seja, reciclar o material existente e fechar o ciclo dos materiais (KOOLMEISTER, 2014). Mas na concepção de desperdício zero em relação aos 3R's (reduzir, reutilizar e reciclar), a reciclagem é a última opção possível a ser usada no gerenciamento de resíduos (ZERO WASTE EUROPE, 2013).

A logística tradicional em vigor na Europa, incentiva a reciclagem, mas não dá a devida atenção à redução dos resíduos. Então, é possível visualizar dados alarmantes em que 60% dos resíduos é encaminhado para aterro ou incineração (ZERO WASTE EUROPE, 2013). A intenção da iniciativa é anular a produção de resíduos. Portanto, focar na promoção da prevenção, reutilização e reprojeto de embalagens e de resíduos são os fundamentos dessa prática.

Diante de iniciativas como essa, fica clara a tendência de que aterros não sejam mais necessários para uso em larga escala no futuro, pois a quantidade de resíduos destinada para estes locais deve diminuir drasticamente.

2.3 GERENCIAMENTO DE RSU (GRSU) E LEGISLAÇÃO AMBIENTAL EM PORTUGAL

Juntamente com a revolução ambiental, a preocupação com o meio ambiente tornou-se mais evidente a partir do início da década de noventa em

Portugal. Naquela época, a coleta municipal de RSU abrangia cerca de 80% da população, com valores próximos a 100% em centros urbanos. O destino final desses materiais era principalmente lixões, sendo que apenas 20% do total era enviado para aterros controlados ou unidades de compostagem (apenas duas estavam operando). A coleta seletiva era essencialmente para embalagens de vidro e apresentava taxa abaixo de 1% (PERSU 2020+, 2018).

Diante dessa situação e o evidente atraso em relação à grande maioria dos Estados-Membros da União Europeia (EU), neste mesmo período, a resolução dos problemas ambientais foi definida como uma prioridade pelo poder político (PERSU 2020+, 2018). Então, em 1996 foi aprovado o primeiro Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU I) para o período de 1997 a 2007, no qual o foco foi a “organização, regulamentação e infraestruturação” do setor de RSU em Portugal (PERSU 2020+, 2018). Os principais objetivos eram:

- O fechamento dos lixões;
- A criação de sistemas multimunicipais e intermunicipais de GRSU;
- A construção de infraestruturas para o tratamento, valorização e eliminação de RSU;
- A dinamização e implementação de coleta seletiva multimaterial.

Ao final do ano de 2001, já haviam sido:

- Encerrados e recuperados todos os lixões identificados;
- Concluídas as infraestruturas previstas nos sistemas intermunicipais e multimunicipais;
- Implementada a coleta seletiva, triagem e valorização dos resíduos de embalagens;
- Concluída a construção de aterros sanitários como solução de tratamento e destino final.

Em seguida, no ano de 2006 o PERSU foi reavaliado e então surgiu o PERSU II, para o período de 2007-2016. Foram definidas novas prioridades e

estratégias para garantir uma adequada GRSU e cumprimento dos compromissos nacionais e europeus, tais como:

- Implementar soluções de valorização orgânica;
- Promover a valorização energética como solução para o combustível derivado de resíduos (CDR);
- Elaborar o Plano de Ações pelos sistemas multimunicipais, intermunicipais e Municípios, o designado (PAPERSU), visando garantir o cumprimento das exigências estabelecidas.
- Reduzir, reutilizar, reciclar;
- Reforço da separação dos RSU na fonte;
- Reduzir a deposição em aterro;
- O “Protocolo de Quioto” como compromisso determinante na política de resíduos;
- Melhorar a informação setorial.

Este segundo plano estratégico forneceu as ferramentas que proporcionaram importantes alterações no setor de GRSU no período de 2007 a 2012. Entre elas, pode-se destacar:

- Mudanças estruturais dos sistemas de GRSU e também das opções de gestão dos RSU;
- Aumento da quantidade de unidades de Tratamento Mecânico e Biológico (TMB) destinadas à valorização orgânica e reciclagem de RSU;
- Melhoria significativa da rede de coleta seletiva, composta por ecopontos, ecocentros e circuitos de coleta porta-a-porta.

Porém, com a avaliação do desempenho, ficou visível que havia um grande distanciamento em relação às metas definidas previamente pelo PERSU II referente à deposição de RSU em aterro e à efetividade da coleta seletiva. As melhorias concretas de ambos os aspectos estavam bem abaixo do estipulado (PERSU 2020+, 2018). Ainda que Portugal como um todo tenha efetivamente cumprido as metas previstas pelo Decreto-Lei n.º 152-D/2017, o qual trata da questão de reciclagem de

embalagens, não foram feitas melhorias suficientes para que os objetivos referentes à valorização de RSU e recolha seletiva fossem atingidos. Isso significa que:

- A valorização de RSU apresentou um desvio de 280 kton em relação ao previsto para o PERSU II;
- A capacidade do sistema de coleta seletiva se revelou bastante inferior ao previsto, contemplando apenas 37 kg/hab.ano.

Em setembro de 2014 foi aprovada uma revisão do PERSU II e surge então, o PERSU 2020, o qual inclui os resíduos urbanos cuja responsabilidade de gestão é do SGRSU. Neste novo plano, foi definida a ótica, as metas globais e específicas de cada SGRSU, os objetivos, as ferramentas e estratégias de execução e as medidas de implementação do quadro de GRSU de 2014-2020. Porém, o Relatório do Estado do Ambiente referente ao ano de 2017, não indicou uma melhoria relevante na maioria (PERSU 2020+, 2018).

A respeito da questão dos odores, em Portugal não existe legislação ou diretrizes nacionais. Não há definições para níveis de incomodo ou definições de limites de odores aceitáveis ou de segurança no ar (CABEÇAS, 2011). Fato que não favorece a promoção de medidas preventivas e/ou mitigatórias deste problema (MENDES, 2012). Porém, com o passar do tempo o tema de odores tem sido mais debatido. Há uma crescente conscientização da população e por consequência, aumento das exigências das mesmas (MENDES, 2012).

As indústrias químicas, de papel e celulose e as estações de tratamento de águas e resíduos são exemplos de algumas das instalações que mais causam problemas (CAPELLI et al., 2008). No entanto, apesar de (ainda) não existir legislação oficial da União Europeia para limites de concentração ou exposição ao odor, alguns países como Alemanha, Holanda e Reino Unido possuem valores próprios para tais (MENDES, 2012). Particularmente para Portugal, é utilizada é uma Norma de Segurança e Saúde do Trabalho (NP 1796:2014) a qual prevê os valores limite de exposição adotados e estão descritos na TABELA 3. O valor de MP (média ponderada) representa o limite de exposição humana para um dia de trabalho de 8 horas e uma semana de 40 horas, contemplando a jornada de trabalho da maioria dos empregados; CD (curta duração) define o limite de concentração à qual considera-se que todos os trabalhadores frequentemente possam estar expostos por

curtos períodos de tempo, desde que o valor de MP não seja excedido; Base do VLE define os sintomas e efeitos adversos possíveis de ocorrer quando o trabalhador está exposto à tais concentrações. Dessa forma, em Portugal é considerado seguro estar exposto a um ambiente com concentrações de H₂S abaixo de 1 ppm com as devidas considerações.

TABELA 3 - VALOR LIMITE DE EXPOSIÇÃO H₂S DE ACORDO COM A NORMA PORTUGUESA 1796:2017

Valor Limite de Exposição (VLE)			
Substância	MP	CD	Base do VLE
H ₂ S	1 ppm	5 ppm	Irritação do Trato Respiratório Superior; Afeção do Sistema Nervoso Central

Fonte: Adaptado de Norma Portuguesa 1796:2014

Para a questão dos resíduos, o panorama é bem diferente. Tanto o planeamento quanto a gestão de resíduos de Portugal abrangem todas as tipologias de resíduos e suas respectivas origens, assumindo uma função importante e de carácter transversal em prol da Preservação dos Recursos Naturais e outras Estratégias Ambientais (APA, 2019).

Isso porque existe legislação clara e objetiva para a gestão dos resíduos de diferentes tipos, bem como o incentivo de soluções ambientais e iniciativas mais sustentáveis que englobem essas questões. As consideradas mais importantes neste aspecto são:

- Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho: Discorre sobre a gestão correta dos resíduos, a qual contribui para a preservação dos recursos naturais, abrangendo questões sobre prevenção de geração, reciclagem, reutilização e valorização, além de ferramentas jurídicas específicas. É introduzido o conceito do poluidor pagador, o qual relaciona a responsabilidade do ciclo de vida dos produtos e materiais ao próprio produtor (MONTEIRO, 2013). Destaca a importância deste setor como atividade econômica e os desafios que envolvem a execução das políticas e a todos os intervenientes na cadeia de gestão, desde a Administração Pública até os cidadãos em geral, pois são todos produtores de resíduos

e agentes indispensáveis da prossecução destas políticas (PORTUGAL, 2011).

- Lei n.º 19/2014, de 14 de Abril: Lei de Bases do Ambiente: Nos termos desta lei, a política ambiental, cuja realização compete ao Estado, objetiva a efetivação dos direitos ambientais por meio da promoção do desenvolvimento sustentável. Através da gestão mais adequada do meio ambiente, contribuir para o desenvolvimento de uma sociedade de baixo carbono e promover a “economia verde”, racional e eficiente na utilização dos recursos naturais, que garanta o bem-estar e a melhoria contínua progressiva da qualidade de vida dos cidadãos (PORTUGAL, 2014).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado em um Aterro Sanitário localizado na região central de Portugal, em parceria com a Universidade de Aveiro. O nome da empresa gestora dos aterros não foi identificado por motivo de sigilo profissional.

A região de localização dos aterros ocupa uma área de aproximadamente 1.690 km², na qual residem cerca de 370 mil pessoas. Portanto, representa densidade demográfica de 219 hab.km⁻², valor muito superior à média de Portugal Continental com 113 hab.km⁻² (UA, 2014).

É uma área importante para o turismo por causa de suas belezas naturais e paisagens, as quais fomentam o turismo balnear, ecoturismo, turismo de natureza e do termalismo (CIRA, 2008). Dessa forma, é fundamental tanto para a qualidade de vida dos habitantes quanto para a economia local, que os odores provenientes do aterro não atinjam a população.

3.2 LOCAIS DE AMOSTRAGEM

As amostragens foram realizadas pela equipe da Universidade de Aveiro em um aterro em operação (aterro 1) (FIGURA 2) e outro aterro com atividades encerradas (aterro 2) (FIGURA 3). Os pontos estudados foram escolhidos de acordo com uma definição prévia e pela representatividade dos dados, pois a intenção era obter um panorama geral sobre a qualidade do ar influenciado pela atividade do aterro tanto nas regiões ao ar livre, quanto no ambiente interno de trabalho. Os pontos externos estão apresentados com indicadores numéricos (de 1 a 13) nas FIGURAS 2 e 3, sendo que os pontos 10, 11, 12 e 13 representam o aterro encerrado.

FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO- ATERRO 1

FONTE: Adaptado de *Google Earth* (2019)

FIGURA 3 - LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE MEDIÇÃO NO ATERRO 2

FONTE: Adaptado de *Google Earth* (2019)

Os pontos internos estão apresentados com indicadores alfabéticos (de A a E) no galpão visível a esquerda na FIGURA 2. A identificação dos pontos também pode ser visualizada na TABELA 4.

TABELA 4 - PONTOS DE AMOSTRAGEM E REFERÊNCIA NO MAPA

Ponto de amostragem	Referência no mapa
Exterior aterro 1 a montante	1
ETAL aterro 1	2
Aterro 1	3
Aterro 1	4
Aterro 1	5
Aterro 1	6
Aterro 1	7
Biofiltro da nave TMB	8
Biofiltro da compostagem	9
Aterro 2 ETAL	10
Aterro 2	11
Aterro 2	12
Aterro 2	13
Trommel 1	A
Cabine	B
Trommel 2	C
Pulper	D
Maturação	E

O Aterro 1 opera com o método de Tratamento Mecânico Biológico (TMB), o qual transcorre em duas etapas. Na primeira, após a chegada dos resíduos por caminhão, ocorre uma separação mecânica intensiva dos resíduos realizada por equipamentos especialmente concebidos para este processo, chamados *Trommel*. Estes equipamentos funcionam como uma espécie de peneira rotativa que retira todos os materiais particulados (resíduos orgânicos, de varrição, caco de vidro, papel picado, etc) dos materiais a serem triados. Os resíduos recicláveis são encaminhados para a reciclagem e os resíduos orgânicos seguem para o tratamento biológico por esteiras. Na cabine ocorre uma etapa intermediária, sendo o local onde há trabalhadores presentes na etapa de separação manual dos resíduos.

Posteriormente inicia-se a etapa biológica, na qual a fração orgânica chega ao *Pulper*. Neste dispositivo é adicionada uma quantidade estipulada de água para que o teor de sólidos desejado seja atingido, formando uma suspensão (COELHO, 2014). Após esse procedimento, é feita a remoção de plásticos, vidros e pedras que ainda possam estar misturados ao material. Depois disso, a suspensão segue para o biodigestor e posteriormente o resíduo sólido resultante segue para a compostagem. O biofiltro instalado na área da compostagem tem casca de pinheiro como leito filtrante e recebe efluente gasoso do *Pulper* e dos dutos de exaustão da mesma área.

3.3 AMOSTRAGEM

A equipe que fez a amostragem realizou um total de quatro campanhas de medição, sendo a primeira uma campanha preliminar no período de 06/12/17 a 09/12/17, realizada apenas para a definição dos locais de estudo e avaliação da logística dos procedimentos, e que não será considerada na discussão dos resultados. A segunda campanha ocorreu no inverno (período de 18/12/17 a 21/12/17), sendo feita medição em 6 pontos, estes são os que apresentam três valores medidos. As outras duas campanhas de medição, sendo uma feita no inverno (02/02/2018 a 09/02/2018) e outra no verão (03/09/2018 a 12/09/2018), estão descritas nas TABELAS 5, 6 e 7.

Foram realizadas amostragens com duração de tempo diferente para cada grupo de pontos. Isso foi feito, pois no primeiro ensaio preliminar, verificou-se que o fator de diluição para a análise espectrofotométrica seria elevado para os locais que apresentaram concentrações acima da faixa de linearidade da curva analítica. Assim, em alguns pontos foi necessário diminuir a duração da amostragem e determinar a concentração do gás em estudo com um menor fator de diluição. Os diferentes tempos de amostragem estão apresentados nas TABELAS 5, 6 e 7.

TABELA 5 – TEMPO DE AMOSTRAGEM PARA 1ª CAMPANHA DE INVERNO (dezembro/2017)

Ponto de amostragem	Data da amostragem		Tempo de amostragem [min]
	Início	Fim	
Trommel 1	18/12/17	18/12/17	455
Cabine	18/12/17	18/12/17	455
Trommel 2	18/12/17	18/12/17	455
Pulper	18/12/17	18/12/17	456
Biofiltro	18/12/17	21/12/17	4317
Maturação	18/12/17	21/12/17	4343
Aterro 1 (ponto 5)	18/12/17	21/12/17	4318

TABELA 6 – TEMPO DE AMOSTRAGEM PARA 2ª CAMPANHA DE INVERNO (fevereiro/2018)

Ponto de amostragem	Data da amostragem		Tempo de amostragem [min]
	Início	Fim	
Trommel 1	9/2/18	9/2/18	472
Cabine	9/2/18	9/2/18	470
Trommel 2	9/2/18	9/2/18	470
Pulper	9/2/18	9/2/18	472
Biofiltro da nave TMB	9/2/18	9/2/18	424
Biofiltro da compostagem	9/2/18	9/2/18	474
Maturação	9/2/18	9/2/18	474
Exterior aterro 1 a montante	2/2/18	9/2/18	9706
ETAL aterro 1	2/2/18	9/2/18	9712
Aterro 1	2/2/18	9/2/18	9726
Aterro 1	2/2/18	9/2/18	9741
Aterro 1	2/2/18	9/2/18	9758
Aterro 1	2/2/18	9/2/18	9699
Aterro 1	2/2/18	9/2/18	9697
Aterro 2 ETAL	2/2/18	9/2/18	9713
Aterro 2	2/2/18	9/2/18	9722
Aterro 2	2/2/18	9/2/18	9706
Aterro 2	2/2/18	9/2/18	9696

TABELA 7 – TEMPO DE AMOSTRAGEM PARA CAMPANHA DE VERÃO (setembro/2018)

Ponto de amostragem	Data da amostragem		Tempo de amostragem [min]
	Início	Fim	
Trommel 1	3/9/18	3/9/18	478
Cabine	3/9/18	3/9/18	477
Trommel 2	3/9/18	3/9/18	476
Pulper	3/9/18	3/9/18	475
Biofiltro da nave TMB	3/9/18	3/9/18	480
Biofiltro da compostagem	3/9/18	3/9/18	472
Maturação	3/9/18	3/9/18	464
Exterior aterro 1 a montante	3/9/18	10/9/18	10548
ETAL aterro 1	3/9/18	10/9/18	10551
Aterro 1	3/9/18	10/9/18	10570
Aterro 1	3/9/18	10/9/18	10559
Aterro 1	3/9/18	10/9/18	10550
Aterro 1	3/9/18	10/9/18	10548
Aterro 1	3/9/18	10/9/18	10536
Aterro 2 ETAL	3/9/18	12/9/18	13228
Aterro 2	3/9/18	12/9/18	13200
Aterro 2	3/9/18	12/9/18	13209
Aterro 2	3/9/18	12/9/18	13213

O H₂S foi coletado com o uso de amostradores passivos Radiello®, os quais são compostos por placa de suporte (código RAD121), etiqueta de identificação da amostra, corpo de difusão branco (código RAD120) (FIGURA 4) e cartucho adsorvente para sulfeto de hidrogênio (código RAD170).

FIGURA 4 - CONJUNTO DO AMOSTRADOR PASSIVO PARA AMOSTRAGEM DE H₂S

Fonte: Arquivo Pessoal (2019)

Os cartuchos adsorventes (FIGURA 5) possuem 60 mm de comprimento, 5,8mm de diâmetro e são confeccionados de polietileno microporoso impregnados

com acetato de zinco. A amostragem começa logo após a retirada do cartucho do tubo plástico responsável pelo acondicionamento, quando o H_2S é adsorvido quimicamente pelo acetato de zinco e transformado em sulfeto de zinco estável para extração e análise espectrofotométrica posterior.

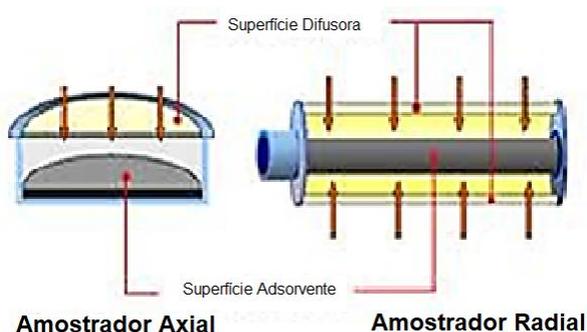
FIGURA 5 - CARTUCHO ADSORVENTE PARA H_2S



FONTE: Grasel (2014)

O cartucho adsorvente deve ser introduzido no corpo de difusão que possui 65 mm de comprimento e 16 mm de diâmetro para que a amostragem seja realizada. A utilização do corpo de difusão visa proteger o cartucho adsorvente e proporcionar a passagem do gás de interesse homogeneamente por toda a extensão do cartucho. Neste caso a adsorção ocorre de maneira radial, proporcionando uma taxa de amostragem mais elevada do que os modelos axiais, justamente por apresentarem a superfície de difusão maior (FIGURA 6).

FIGURA 6 - DIFUSORES AXIAIS E RADIAIS



FONTE: Adaptado de Grasel (2014)

O tubo de difusão juntamente com o cartucho adsorvente já inserido deve ser conectado na placa de suporte e afixado no local de amostragem, distante de possíveis fontes de contaminação. A identificação de cada conjunto deve ser feita com data e horário inicial e final de maneira precisa, visto que o tempo de exposição

do cartucho é um fator determinante para o cálculo da concentração. O tempo de amostragem foi definido através de testes preliminares como supracitado.

3.4 EXTRAÇÃO E ANÁLISE DO H₂S

A determinação da concentração do H₂S foi realizada conforme o método proposto pelo fabricante do amostrador (Radiello®), derivado do método Azul de Metileno. Entre os inúmeros métodos disponíveis para a avaliação da concentração de sulfeto de hidrogênio, o método azul de metileno é considerado um dos mais sensíveis (WHO, 1981). O procedimento colorimétrico azul de metileno é identificado como um método analítico padrão para determinação de sulfeto de hidrogênio, porque apresenta especificidade, precisão e sensibilidade satisfatória (WHO, 1981).

De acordo com o exposto por Grasel (2014), neste método, o H₂S é adsorvido em um cartucho microporoso, impregnado com acetato de zinco a partir da atmosfera e precipitado na forma de sulfeto de zinco. Feito isso, o precipitado é dissolvido novamente e submetido à reação com N,N-dimetil-p-fenilenodiamônio na presença de cloreto férrico. A densidade óptica da solução de azul de metileno final é medida no espectrofotômetro com o comprimento de onda a 665 nm (FOGO; POPOWSKY, 1949). A quantidade correspondente de sulfeto é determinada com a curva analítica obtida a partir de padrões analíticos previamente preparados com concentrações de 0,115 a 1,145 ppm. Os limites de detecção e de quantificação foram de 0,002 e 0,004 ppm, respectivamente.

Para extrair o H₂S do amostrador, o cartucho amostrado foi recolocado em seu respectivo tubo plástico. Feito isso, foram adicionados 10 ml de água deionizada e agitados vigorosamente durante 5 minutos. Logo após, foram colocados em cada tubo 0,5 ml de uma solução de cloreto-férrico amina conforme descrito por Grasel (2014). Os tubos são imediatamente fechados após a adição para evitar o escape do H₂S antes de reagir. Em seguida os tubos foram novamente agitados por 5 minutos. O sulfeto, quando em contato com o cloreto férrico, um agente oxidante, numa solução fortemente ácida reage com o íon N,N-dimetil-p-fenilenodiamônio para originar azul de metileno (C₁₆H₁₈N₃SCI) conforme a FIGURA 7.

onde Q_k corresponde à taxa de amostragem ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$) à temperatura de amostragem, Q_{298} ao coeficiente de difusão à temperatura padrão de 25°C e K à temperatura média ao longo do período de amostragem. A taxa de amostragem varia pouco com a umidade relativa do ar entre 10 e 90% e com a velocidade do vento entre $0,1$ e $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

A temperatura média durante o período de amostragem, utilizada para a correção do valor de Q_k , foi calculada utilizando a média dos dados meteorológicos medidos em uma estação meteorológica localizada a cerca de 7 km do aterro 2 e 8 km do aterro 1 (denominada EMV). Tal média foi calculada com todos os valores disponíveis dentro do intervalo de medição, individualmente para cada ponto, em cada campanha.

3.5.1 Análise estatística – ANOVA

Para obter maior assertividade na discussão e conclusão, foi utilizada a Análise de Variância (ANOVA). Esse estudo estatístico é responsável, basicamente, por verificar a dispersão dos valores da amostra. Este modelo pode comparar amostras independentes, com o objetivo de averiguar se existe ou não diferenciação significativa nas distribuições das médias entre os grupos amostrais (ANJOS, 2009). Para que a média seja representativa, assume-se que a distribuição é normal. O intervalo de confiança considerado é de 95% e, conseqüentemente, α ($1 - 0,95$) é 0,05.

Os principais parâmetros avaliados são o desvio padrão e a variância, os quais podem definir em uma amostra qual o grau de afastamento dos valores analisados em relação à média amostral (LOPES, 2003). O desvio padrão (S) pode ser encontrado aplicando-se a raiz quadrada sobre a Variância, relação descrita na equação 3.

$$S = \sqrt{\text{Variância}} \quad [3]$$

A variância (S^2), por sua vez, pode ser determinada por meio da equação 4.

$$S^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad [4]$$

Ao analisar o resultado obtido da variância, deve-se considerar que quanto maior o valor obtido, maior será a dispersão dos valores em relação à média da amostra. Logo, quanto menor for o valor calculado, mais próximo da média estes valores estão, portanto, menos dispersos (LOPES, 2003).

A análise de variância dentro dos grupos amostrais e entre as médias de cada grupo foi realizada com o uso do *software* Excel®. Esta análise é conhecida como “Análise do Fator F”. Caso a variância calculada de cada grupo amostral seja menor do que a variância calculada entre as médias, então podemos considerar que existe uma diferença significativa entre os grupos amostrais. Isso significa que a Hipótese Homogênea é descartada, pois não há homogeneidade na média das amostras. Caso contrário, entende-se como um resultado plausível e sem fatores que alteram os dados de cada amostra (LOPES, 2003).

Outra forma de analisar os resultados obtidos no modelo ANOVA é através do valor-P. Se $\text{valor-P} > \alpha$, então não existem diferenças significativas nas variâncias, porém quando $\text{p-valor} < \alpha$ a diferença se torna significativa.

3.6 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

Os dados meteorológicos de temperatura, direção e velocidade do vento utilizados neste estudo foram obtidos pela estação meteorológica EMV, com resolução de 30 minutos. Os dados de precipitação foram obtidos pela estação meteorológica EMUA, localizada dentro do campus, a cerca de 6 km do aterro 2 e 9 km do aterro 1, com resolução diária.

Para a construção da Rosa dos Ventos, foram utilizados os valores registrados pela Estação EMV e plotados com o auxílio do *Software* WRPLOT®.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS

De acordo com os dados de precipitação observou-se o registro da ocorrência de precipitação apenas na 2ª amostragem de inverno nos dias 03/02/18 (3,2 mm), 04/02/18 (2,8 mm) e 09/02/18 (0,7 mm).

As principais variáveis meteorológicas consideradas para a discussão dos dados, em particular para os pontos externos, foram a direção e a velocidade do vento.

Na FIGURA 8, é possível visualizar a rosa dos ventos de 01 de dezembro de 2017 até 31 de dezembro de 2018, período que compreende o intervalo de todas as campanhas de amostragem. Assim, pode-se afirmar que a direção preferencial dos ventos na região foi de Noroeste com velocidades máximas de $8,8 \text{ m.s}^{-1}$. O GRÁFICO 1 representa as frequências dos ventos no mesmo período, sendo visível que a maior parte, 38,5%, apresenta baixas velocidades (entre $0,50$ e $2,10 \text{ m.s}^{-1}$), seguido de 33,7% dos ventos com velocidades um pouco mais altas, mas que não ultrapassam os $3,6 \text{ m.s}^{-1}$.

FIGURA 8 – ROSA DOS VENTOS PARA O PERÍODO DE 01/12/17 A 31/12/18 NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA EMV, PORTUGAL

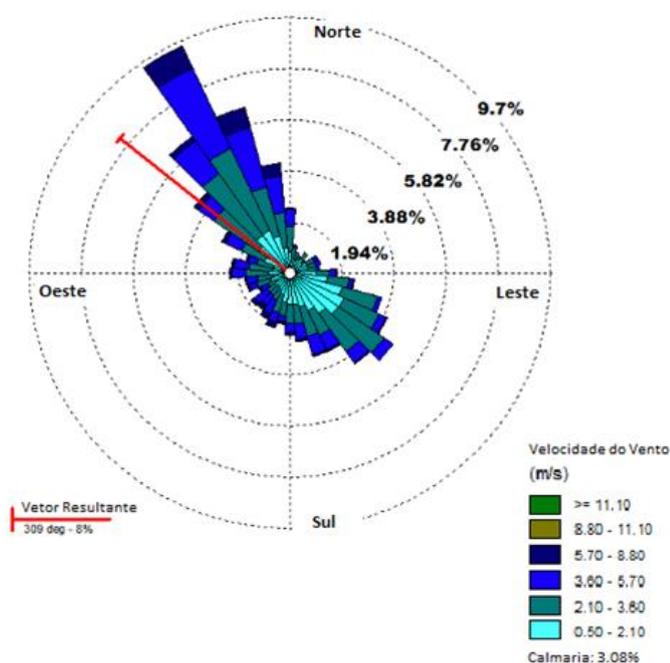
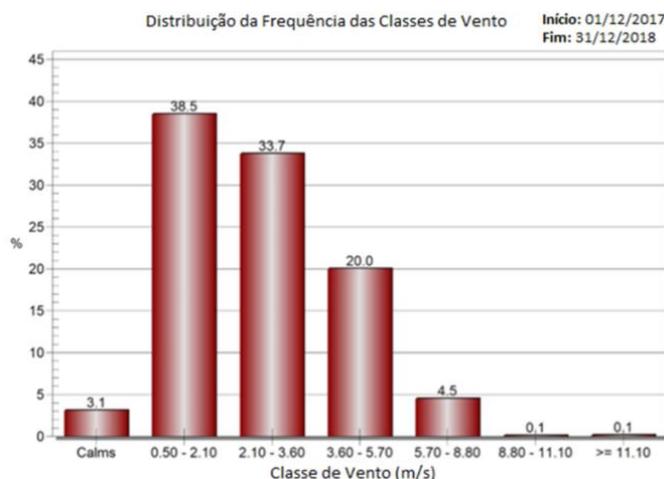


GRÁFICO 1 – DISTRIBUIÇÃO DAS FREQUÊNCIAS DAS CLASSES DE VENTO PARA O PERÍODO DE 01/12/2017 A 31/12/2018 NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA EMV, PORTUGAL



Os valores de velocidade, direção e frequência dos ventos para o período de 18 a 21 de dezembro de 2017 (primeira amostragem de inverno) estão representados na FIGURA 9 e no GRÁFICO 2. Na FIGURA 9 observa-se que a direção do vento (representada pelo vetor resultante em vermelho) está predominantemente na direção Leste. Os ventos apresentam velocidade máxima de $5,70 \text{ m.s}^{-1}$. Os ventos com velocidades de até $2,10 \text{ m.s}^{-1}$ foram os mais frequentes (64,6%).

FIGURA 9 – ROSA DOS VENTOS 18/12/17 A 21/12/17 NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA EMV, PORTUGAL

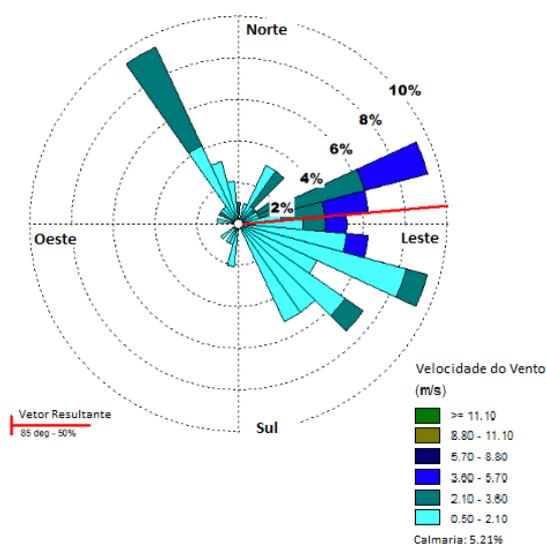
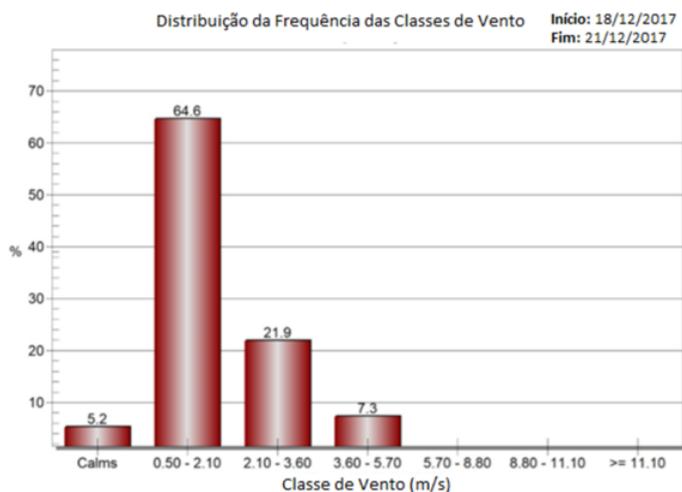


GRÁFICO 2 – DISTRIBUIÇÃO DAS FREQUÊNCIAS DAS CLASSES DE VENTO PARA O PERÍODO DE 18/12/2017 A 21/12/2017



As características dos ventos no período de 02 a 09 de fevereiro de 2018 (segunda campanha de inverno) estão representadas na FIGURA 10 e no GRÁFICO 3. Com elas é possível definir que a direção do vento neste período foi predominantemente Norte, com velocidades abaixo de $8,80 \text{ m.s}^{-1}$. Os ventos mais frequentes foram os representados por velocidades entre $2,10$ e $3,60 \text{ m.s}^{-1}$ (38,5%) e entre $3,60$ e $5,70 \text{ m.s}^{-1}$ (33,9%).

FIGURA 10 – ROSA DOS VENTOS 02/02/18 A 09/02/18 NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA EMV, PORTUGAL

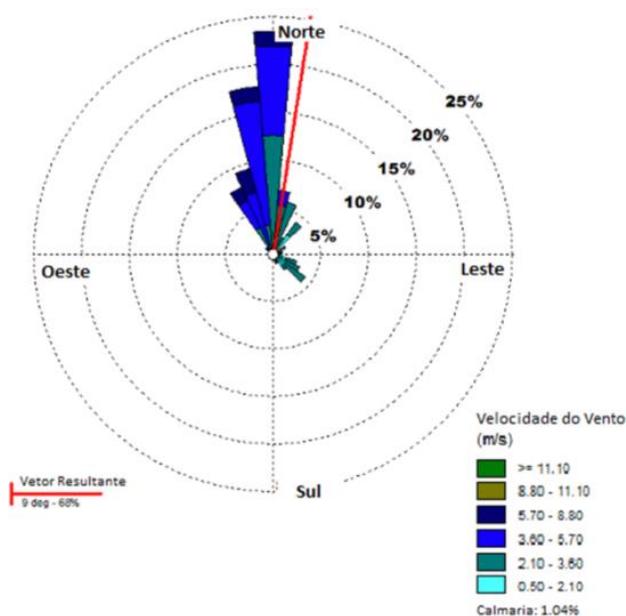
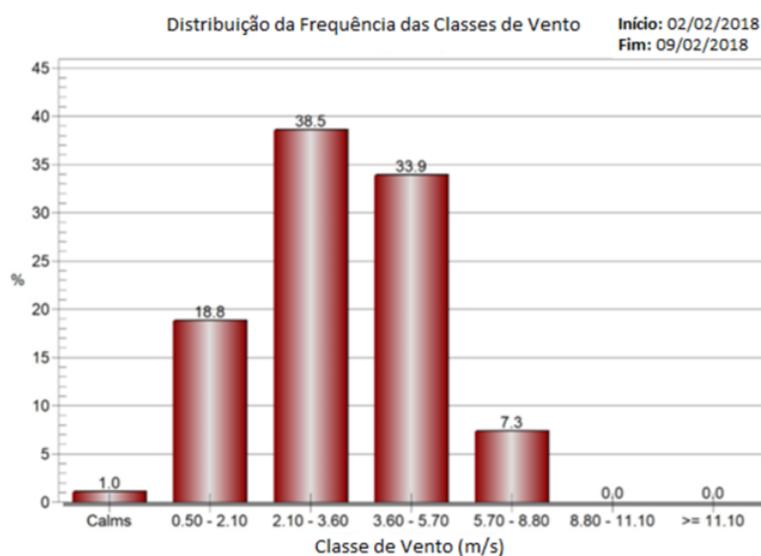


GRÁFICO 3 – DISTRIBUIÇÃO DAS FREQUÊNCIAS DAS CLASSES DE VENTO PARA O PERÍODO DE 02/02/18 a 09/02/18 NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA EMV, PORTUGAL



Para o último período de amostragem (verão), de 03 a 12 de setembro de 2018, as condições meteorológicas estão representadas na FIGURA 11 e no GRÁFICO 4. A partir da Figura 11, é possível afirmar que a direção preferencial do vento foi predominantemente Noroeste. Os registros não apresentaram velocidades superiores a $5,7 \text{ m.s}^{-1}$ e os ventos mais frequentes (56,7%) registraram velocidade entre $0,5$ e $2,10 \text{ m.s}^{-1}$.

FIGURA 11 – ROSA DOS VENTOS 03/09/18 A 12/09/18 NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA EMV, PORTUGAL

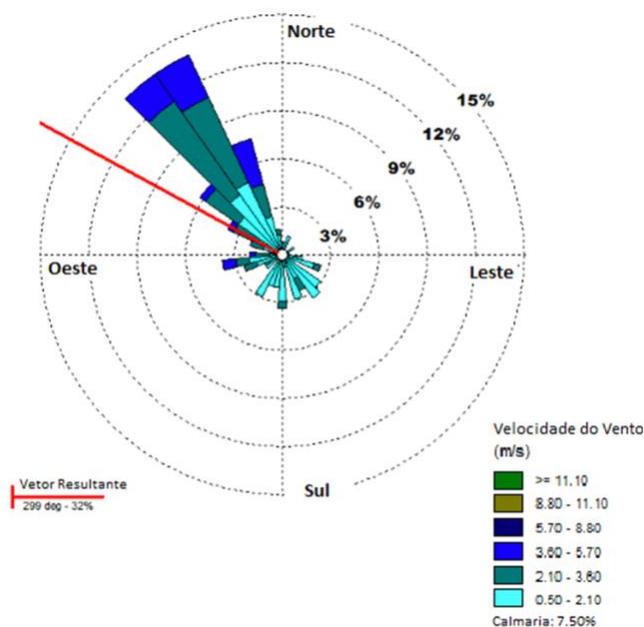
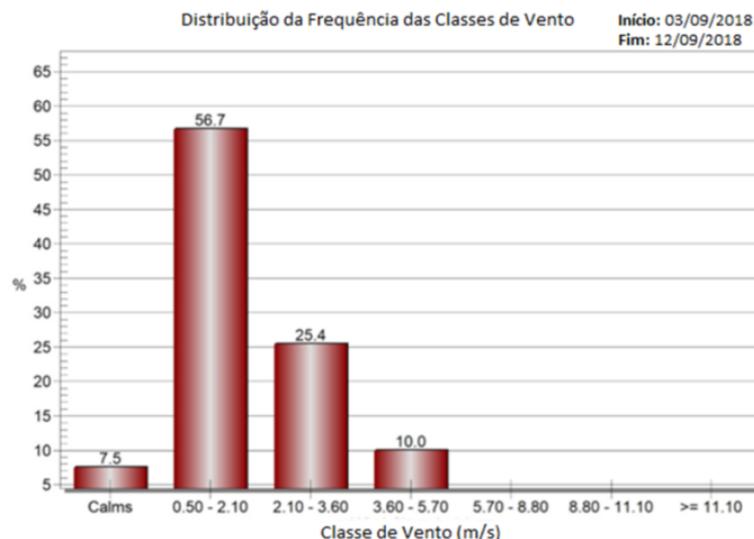


GRÁFICO 4 – DISTRIBUIÇÃO DAS FREQUÊNCIAS DAS CLASSES DE VENTO PARA O PERÍODO DE 03/09/18 A 12/09/18 NA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA EMV, PORTUGAL



No GRÁFICO 4, assim como nos GRAFICOS 1 E 2, observa-se a predominância da baixa velocidade do vento (abaixo de $2,10 \text{ m.s}^{-1}$), o que pode resultar em uma menor dispersão de poluentes próximo aos pontos de emissão, reforçando, assim, a relevância do estudo das fontes locais de poluição atmosférica.

É importante destacar que o bom funcionamento do amostrador passivo foi garantido já que as velocidades do vento registradas durante todo o período de estudo estiveram de acordo com o descrito pelo fabricante (abaixo de 10 m.s^{-1}).

4.2 CONCENTRAÇÕES DE H_2S NOS PONTOS DE AMOSTRAGEM

Os valores de concentração obtidos para os pontos internos estão descritos na TABELA 8. Conforme apresentado na TABELA 8, o maior valor registrado foi de 3,36 ppm durante a 2ª campanha de inverno (fevereiro de 2018) no ponto de amostragem referente ao trommel 1 (ponto A). Os menores valores registrados foram no ponto da maturação da compostagem (ponto E).

TABELA 8 – VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE H₂S POR LOCAL DE AMOSTRAGEM (PONTOS INTERNOS)

Ponto de amostragem	Concentração de H ₂ S em [ppm]		
	Inverno	Inverno	Verão
	1ª campanha (dez/2017)	2ª campanha (fev/2018)	campanha (set/2018)
Trommel 1 – ponto A	3,09	3,36	1,94
Cabine – ponto B	0,77	0,92	1,12
Trommel secundário – ponto C	1,93	1,45	0,74
Pulper – ponto D	2,96	3,25	2,32
Maturação – ponto E	0,08	0,03	0,01

Durante a 1ª campanha de inverno, o sistema de exaustão de gases do galpão da unidade de TMB (que inclui os pontos A, B, C, D e E) estava desativado, sendo reativado antes da 2ª campanha de inverno.

Um aspecto que pode ser relevante na avaliação dos resultados é que as amostragens que ocorreram em dezembro de 2017 e em setembro de 2018, iniciaram em uma 2ª feira. Já a amostragem que ocorreu em fevereiro de 2018, iniciou-se numa 6ª feira. A diferença fundamental entre os dias da semana é a "idade" dos resíduos processados. Às 6ªs feiras os resíduos são mais antigos, visto que normalmente esvazia-se "completamente" a fossa de recepção nesta data. Desse modo, neste dia, processam-se também os resíduos mais "antigos".

Comparando a 1ª campanha de inverno (dezembro/17) com a campanha de verão (setembro/18), ambas decorridas à 2ª feira, evidencia-se que na última os valores são todos inferiores aos da 1ª, com exceção da cabine. Entre estas duas campanhas foi instalado um novo sistema de exaustão junto ao trommel 1. Isso implicou numa redução de quase 44% da concentração de H₂S detectada, o que melhorou significativamente a qualidade do ar no TMB no que se refere ao H₂S.

O valor de 1,93 ppm registrado no ponto 9 - "biofiltro compostagem" na 2ª campanha de inverno pode ter sido influenciado por um serviço de manutenção realizado nas imediações do local. Durante a amostragem, houve um processo de manutenção responsável por retirar os resíduos inertes do Digestor Anaeróbio. Este fato foi confirmado pelos técnicos da empresa gestora da planta.

Na zona de maturação existiam várias pilhas com material em fase final de maturação (composto com cheiro semelhante ao de "terra"). Neste local foram apresentados os valores mais baixos de concentração de sulfeto de hidrogênio. É

provável que isso aconteça por que na fase de maturação a lignina é transformada em substância húmica, que caracterizam o composto; a atividade microbiológica de processamento das moléculas mais facilmente degradáveis, tais como aquelas contendo enxofre, é menor e, portanto, a formação de H_2S é minimizada (REICHERT, 2014).

O Trommel é um dos primeiros pontos de manuseio dos resíduos, então, dependendo de quando os resíduos chegaram, pode haver maior formação de H_2S . Assim, é possível assumir que nas 6^{as} feiras é mais provável que haja maior concentração de sulfeto de hidrogênio no ar do ambiente.

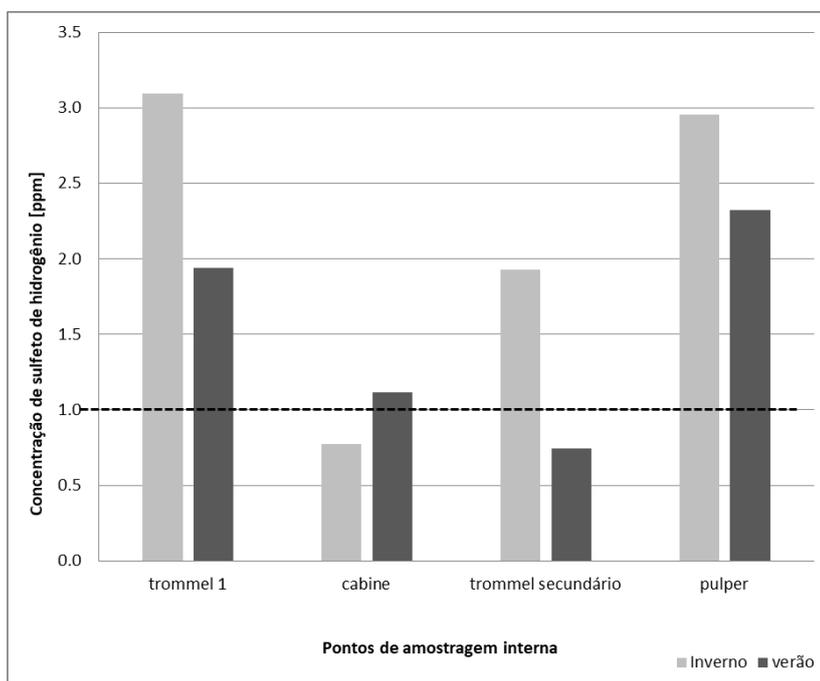
No pulper ocorre a mistura dos resíduos não recicláveis com água, sendo um ponto de emissão significativa de H_2S , com as concentrações mais altas nas campanhas após a instalação do biofiltro no Trommel 1. Nesta etapa ocorre a separação dos resíduos orgânicos que não foram removidos pelos processos anteriores, sendo encaminhados para a biodigestão anaeróbia (fração líquida) e para a compostagem (fração sólida). Com relação a essa observação, de acordo com o gestor do TMB da planta, a contaminação dos resíduos que chegam à planta é um fator crítico, o que resulta em uma taxa de recuperação de recicláveis muito baixa (em torno de 4%).

Em relação à exposição ocupacional, de acordo com a norma Portuguesa (NP 1796:2014) descrita na TABELA 3, e ainda conforme a Tabela 9, os locais que apresentam potencial de risco para exposição humana são: Trommel1 (ponto A) e Pulper (ponto D) em todas as campanhas, o biofiltro da compostagem (ponto 9) apenas na campanha de inverno que ocorreu em fevereiro de 2018 (quando ocorreu o evento de manutenção do biodigestor), a cabine (ponto B) durante o verão e o Trommel secundário (ponto C) apenas durante o inverno. Todos estes pontos citados superaram o valor limite de exposição (VLE) de 1 ppm para a Média Ponderada (MP). Este valor representa o limite de exposição humana para um dia de trabalho de 8 horas e uma semana de 40 horas. Sendo assim, foram encontrados valores acima do VLE em quase 60% dos pontos amostrados. Nos pontos externos, nenhuma concentração está fora do limite.

O GRÁFICO 5 representa os valores medidos de H_2S nos ambientes internos, não considerando o ponto de maturação porque o mesmo está inserido em um galpão sem proteção lateral. As barras em cinza claro representam os valores medidos no inverno e as barras em cinza escuro, no verão. A linha pontilhada

representa o limite de concentração de H₂S previsto na Norma Portuguesa 1796:2014 de 1ppm para exposição ocupacional sem que haja efeitos adversos. O ambiente que mais se assemelha com o descrito pela norma (ambiente confinado) é a cabine. Os maiores valores estão representados no trommel 1 e no pulper tanto no inverno quanto no verão, porém em todos os locais as concentrações superam o limite da normativa.

GRÁFICO 5 – CONCENTRAÇÕES DE H₂S EM AMBIENTES INTERNOS NO INVERNO E VERÃO COMPARADOS COM O LIMITE DA NORMA 1796:2014



Como descrito no *Central Pollution Control Board* (2017), os efeitos da exposição ao sulfeto de hidrogênio variam de irritação nos olhos e do trato respiratório, para concentrações entre 10 e 20 ppm. Para o ambiente estudado no presente trabalho, embora as concentrações estejam abaixo de 10 ppm, observa-se que alguns locais podem representar riscos pontuais e devem ser monitorados com maior frequência, além de sofrer ajustes para minimizar as emissões de H₂S. Particularmente, no trommel 1 e no pulper, as concentrações detectadas no inverno estão no limite do “odor ofensivo” preconizado por Antunes (2006) (TABELA 2).

Embora não haja uma legislação oficial no Brasil ou em Portugal para emissões de H₂S em aterros sanitários, diversas fontes apontam que o mesmo apresenta periculosidade. Sendo assim, o sulfeto de hidrogênio que precisa ser

estudado com mais frequência, para que uma base de dados ampla e abrangente seja formada, norteando tomadas de decisão assertivas. Portanto, sugere-se que sejam feitos estudos mais detalhados para que se obtenha uma resposta mais conclusiva dos efeitos deste gás, tanto para humanos quanto para o meio ambiente.

Na TABELA 9 é possível verificar que as concentrações de H₂S detectadas nos pontos externos são significativamente menores que aquelas registradas para os pontos internos (TABELA 8). A razão mais provável é que a quantidade de resíduo orgânico direcionada para o aterro é muito baixa, sendo direcionado para a compostagem e/ou digestão anaeróbia. Era esperado, portanto, que as emissões de H₂S naquele aterro fossem reduzidas.

Essa prática é bastante diferente do que se realiza no Brasil, onde apenas 1,6% do material orgânico é compostado (IPEA, 2012). Os resíduos que chegam aos aterros sanitários brasileiros não são submetidos a nenhuma etapa de segregação adicional, além daquelas realizadas anteriormente nos barracões das associações de catadores, sendo submetidos ao aterramento quase em sua totalidade.

TABELA 9 – VALORES DE CONCENTRAÇÃO DE H₂S POR LOCAL DE AMOSTRAGEM (PONTOS EXTERNOS)

Ponto de amostragem	Concentração de H ₂ S em [ppm]		
	Inverno	Inverno	Verão
	1 ^a campanha (dez/2017)	2 ^a campanha (fev/2018)	campanha (set/2018)
Exterior aterro 1 a montante – ponto 1	--	< LQ	< LQ
ETAL 1 – ponto 2	--	0,10	0,01
Aterro 1 – ponto 3	--	0,01	< LQ
Aterro 1 – ponto 4	--	0,01	0,01
Aterro 1 – ponto 5	0,03	0,01	0,01
Aterro 1 – ponto 6	--	0,05	0,01
Aterro 1 – ponto 7	--	0,11	0,03
biofiltro da nave TMB – ponto 8	--	0,09	0,05
biofiltro compostagem – ponto 9	0,05	1,93	0,07
Aterro 2 ETAL – ponto 10	--	< LQ	< LQ
1º ponto Aterro 2 – ponto 11	--	< LQ	< LQ
2º ponto Aterro 2 – ponto 12	--	< LQ	< LQ
3º ponto Aterro 2 – ponto 13	--	< LQ	< LQ

LQ = limite de quantificação (0,004 ppm)

Os maiores valores foram registrados na 2ª campanha de inverno nos pontos 2 e 7 do Aterro 1 com 0,103 e 0,109 ppm respectivamente. Em relação ao ponto 7, pode-se atribuir como principal causa desta concentração mais elevada durante o inverno, um evento pontual de extração de material do Digestor Anaeróbio numa zona próxima. O fato de que o ponto 2 representa uma lagoa de tratamento de chorume também deve ser destacado, pois é uma área aberta, com atividade microbiológica de degradação de matéria orgânica, e potencial emissão de H₂S.

A frente de trabalho do aterro 1 se encontrava no ponto 5 durante a 1ª campanha de inverno (18/12/17 a 21/12/17) e no ponto 6 durante a 2ª campanha de inverno (02/02/18 a 09/02/18), o que pode explicar os valores de H₂S ligeiramente maiores em tais pontos. Na campanha de verão (03/09/18 a 12/09/18), a frente de trabalho retornou ao ponto 5.

Os menores valores foram observados nos pontos do aterro 2, ficando abaixo do limite de quantificação de 0,004 ppm. Isso pode ser explicado pela baixa atividade microbiológica, já que aquele aterro se encontra encerrado, com as células de aterramento seladas.

Para todos os pontos de amostragem externos, as concentrações são da mesma ordem de grandeza e sensivelmente iguais entre as duas campanhas. Comparando estes resultados com os obtidos em outros aterros sanitários (KO et al. 2015) apontou-se semelhança na ordem de grandeza das concentrações. No entanto, seria necessário discutir os sistemas de gestão e características particulares de cada aterro.

Os núcleos populacionais mais próximos do Aterro 1 estão há pouco mais de 1 km. Já no entorno do Aterro 2 identificam-se regiões domiciliares a aproximadamente 0,7 km.

Comparando os locais com as direções predominantes dos ventos, é possível afirmar que as regiões mais afetadas seriam as localizadas ao Sul e a Sudeste dos aterros. No entanto, as concentrações no ar ambiente detectadas neste trabalho não representam efeito significativo à saúde das pessoas, conforme a TABELA 2. Apenas as concentrações dos pontos 2 e 7 estão no limite do odor detectável (Antunes, 2006).

Dessa forma, é possível afirmar que provavelmente ambos os aterros não ofereçam risco ou desconforto à população próxima, visto que as concentrações determinadas nos terrenos dos locais de amostragem são significativamente

pequenas. De fato, não existem registros formais de queixas da população quanto ao odor proveniente dos aterros.

Nos ambientes externos a concentração de sulfeto de hidrogênio encontrada foi próxima aos valores encontrados no aterro de RSU Daegu (Coréia do Sul), onde foram reportadas concentrações de 0 a 0,014 ppm (KO et al., 2015 apud SHON et al., 2004). Em relação a dois aterros ainda na Coréia do Sul, os valores encontrados em Portugal foram equivalentes a mais do que o dobro das concentrações em ar ambiente obtidas na Coréia do Sul (KO et al., 2015 apud SONG et al., 2004). Nos Estados Unidos, um aterro do estado de Ohio registrou concentrações de 0 a 0,178 ppm (KO et al., 2015 apud COLLEDGE, 2008), valores compatíveis com os encontrados no Aterro 1. Porém, em relação a um aterro específico da construção civil na Flórida (KO et al., 2015 apud LEE et al., 2006) os valores estão dentro do intervalo dos dados obtidos, porém em alguns pontos encontram-se 400 vezes maior na Flórida do que no Aterro 1.

4.2.1 Análise de Variância

A ANOVA foi feita para três combinações de variáveis. O primeiro cenário contempla os pontos internos. Neste, o valor-P obtido foi de 0,011 (valor-P<0,05), portanto, revela que a variável “localização dos pontos internos” é estatisticamente significativa. O segundo cenário avalia a interferência da estação do ano para os pontos internos na concentração de sulfeto de hidrogênio detectado, e apresentou valor-P igual a 0,094 (valor-P>0,05). Isso significa que a estação do ano não é uma variável significativa estatisticamente para os pontos internos. Para o terceiro cenário analisou-se a influência do dia da semana em que foram feitas as amostragens, resultando um valor-P de 0,006 (valor-P<0,05), demonstrando então, que o dia da semana não representa uma variável estatisticamente significativa, contrário ao que se observa na análise individual dos valores. Os cálculos e resultados parciais estão descritos no APÊNDICE.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo indicam que o H₂S está presente em praticamente todos os locais de amostragem, com concentrações relevantes especialmente no ambiente interno, e, portanto, merecem atenção de pesquisadores e autoridades. A maior concentração de H₂S encontrada foi 3,36 ppm na 2ª campanha de inverno (ponto A), representando um número mais de 3 vezes maior do que o valor limite descrito na Norma Portuguesa de saúde ocupacional como seguro para trabalhadores. Sugere-se, portanto, que o monitoramento de tais emissões seja realizado continuamente.

Em relação ao efeito do biofiltro instalado no Trommel 1, observou-se que a concentração de H₂S caiu quase 57% no local após a instalação do dispositivo, indicando ser uma eficiente alternativa para a minimização dos potenciais efeitos causados pelo poluente.

No que se refere aos pontos externos, pode-se concluir que no Aterro 1 as concentrações de H₂S não demonstram potencial de gerar impactos alarmantes na qualidade do ar do entorno.

Além destes fatores, a principal conclusão deste trabalho é que o manuseio de resíduos provenientes da coleta seletiva, que deveriam vir livres de contaminação orgânica, é altamente prejudicada por essa contaminação. Os resíduos recebidos pela empresa gestora deveriam ser compostos unicamente por resíduos recicláveis, e a presença de H₂S no ambiente de trabalho deveria ser, portanto, menor.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. Panorama 2017 15ed., 2018. Disponível em: <https://belasites.com.br/clientes/abrelpe/site/wp-content/uploads/2018/09/SITE_grappa_panoramaAbrelpe_ago_v4.pdf>. Acesso em: 21/04/2019.

AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, I. P.; DEPARTAMENTO DE RESÍDUOS; MARÇAL, A.; TEIXEIRA, A. R. Relatório Anual Resíduos Urbanos (RARU) 2017, p. 51, 2018. Disponível em: <[https://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Residuos/Residuos_Urbanos/Relatorio Residuos Urbanos \(RARU 2017\).pdf](https://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Residuos/Residuos_Urbanos/Relatorio_Residuos_Urbanos_(RARU_2017).pdf)>. Acesso em: 25/04/2019.

AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE, Persu 2020+. p. 125, 2018.

ANDREOLI, C. V.; ANDREOLI, F. DE N.; TRINDADE, T. V.; HOPPEN, C. Soluções Para Destinação Final Adequada. p. 531–552, 2003.

ANJOS, A. dos. Capítulo 7: Análise de Variância. Disponível em: <<http://www.est.ufpr.br/ce003/material/cap7.pdf>>. Acesso em: 23/07/2019.

BARCELOS, B. R. Avaliação De Diferentes Inóculos Na Digestão Anaeróbia Da Fração Orgânica De Resíduos Sólidos Domésticos Orientadora: Ariuska Karla Barbosa Amorim Dissertação De Mestrado Em Tecnologia Ambiental E Recursos Hídricos, 2009. Disponível em: <https://ptarh.unb.br/wp-content/uploads/2017/03/Beatriz_Rodrigues_de_Barcelos.pdf>. Acesso em: 12/04/2019.

BONNEAU, A. M. Zero-Waste Chef. Disponível em: <<https://zerowastechef.com/>>. Acesso em: 23/07/2019.

BONNEAU, A. M. Zero-Waste Chef. Disponível em: <<https://www.instagram.com/zerowastechef/>>. Acesso em: 23/07/2019.

BRASIL. LEI Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, v. 147, n. 2 de agosto de 2010, p. 21, 2010. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 28/04/2019.

BRASIL, NBR 8419. NBR 8419 - Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Abnt., p. 1–7, 1992.

BRUNO, P.; CASELLI, M.; DE GENNARO, G.; SOLITO, M.; TUTINO, M. Monitoring

of odor compounds produced by solid waste treatment plants with diffusive samplers. *Waste Management*, v. 27, n. 4, p. 539–544, 2007.

CABEÇAS, A. J., Sistema Integrado de Resíduos Sólidos confinamento técnico: Odores, 2011.

CAMPOS, R. ET AL. Anaeróbio E Disposição Controlada No Solo. , 1999.

CAPELLI, L.; SIRONI, S.; DEL ROSSO, R.; CÉNTOLA, P.; IL GRANDE, M. A comparative and critical evaluation of odour assessment methods on a landfill site. *Atmospheric Environment*, v. 42, n. 30, p. 7050–7058, 2008.

CENTRAL POLLUTION CONTROL BOARD (CPCB). Odour Monitoring & Management in Urban MSW Landfill sites Ministry of Environment, Forests & Climate Change, Control of Urban Pollution Series, p. 231, 2017. Disponível em: <www.cpcb.nic.in>. Acesso em: <04/04/2019>.

CENTRAL POLLUTION CONTROL BOARD (CPCB). “Guidelines on odour pollution & its control Ministry of Environment & Forests, Government of India. Delhi; 2017.

CHERNICHARO, C. A. L. Reatores Anaeróbios - Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v.5, 2ed. 1997.

COELHO, A. F. M. Otimização do consumo de água no pré-tratamento de RSU para a digestão anaeróbia, 2014.

DEUS, A. B. S. DE; DE LUCA, S. J.; CLARKE, R. T. Índice de impacto dos resíduos sólidos urbanos na saúde pública (IIRSP): metodologia e aplicação. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 9, n. 4, p. 329–334, 2006.

EPA VICTORIA. Landfill gas fugitive emissions monitoring guideline. n. February, p. 1–27, 2018. Disponível em: <<https://www.epa.vic.gov.au/~media/Publications/1684.pdf>>. Acesso em: 18/04/2019.

FOGO, J. K.; POPOWSKY, M. Spectrophotometric determination of hydrogen sulfide. *Analytical Chemistry* 21, 1949, p. 731-734.

GALLO, T. T. A GESTÃO DOS RESÍDUOS RECICLÁVEIS EM CURITIBA: uma análise das associações e cooperativas cadastradas no programa ecocidadão, 2018.

GRASEL, A. M. Determinação de sulfeto de hidrogênio nas proximidades de estações de tratamento de esgoto em Curitiba-PR, Brasil, p. 86, 2014. Disponível em: <<http://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/36965>>. Acesso em: 17/04/2019.

GONÇALVES, G. L. F. Biodigestores: Uma alternativa para reduzir a contaminação das águas pelo esgoto. 2012

HARTMANN, H.; AHRING, B. K. Anaerobic digestion of the organic fraction of municipal solid waste: Influence of co-digestion with manure. *Water Research*, v. 39, n. 8, p. 1543–1552, 2005.

JOHNSON, B. Zero Waste Home. Disponível em: <<https://zerowastehome.com/>>. Acesso em: 23/07/2019.

JOHNSON, B. Zero Waste Home. Disponível em: <<https://www.instagram.com/zerowastehome/>>. Acesso em: 23/07/2019.

JOHNSON, B. Zero Waste Home. Disponível em: <<https://www.facebook.com/ZeroWasteHome/>>. Acesso em: 23/07/2019.

JOHNSON, B. Zero Waste Home. Disponível em: <<https://www.youtube.com/user/ZeroWasteHome>>. Acesso em: 23/07/2019.

KINOBE, J. R.; NIWAGABA, C. B.; GEBRESENBET, G.; KOMAKECH, A. J.; VINNERÅS, B. Mapping out the solid waste generation and collection models: The case of Kampala City. *Journal of the Air and Waste Management Association*, v. 65, n. 2, p. 197–205, 2015. Taylor & Francis. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/10962247.2014.984818>>. Acesso em: 09/04/2019.

KO, J. H.; XU, Q.; JANG, Y. C. Emissions and Control of Hydrogen Sulfide at Landfills: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v. 45, n. 19, p. 2043–2083, 2015.

KOOLMEISTER, H. Heading Towards a Zero Waste World. Medium Corporation, n. December 2014, p. 1–15, 2014.

KOURTIDIS, K.; KELESIS, A.; PETRAKAKIS, M. Hydrogen sulfide (H₂S) in urban ambient air. *Atmospheric Environment*, v. 42, n. 32, p. 7476–7482, 2008.

LANGE, L. C. ET; SIMÕES, G. F.; FERREIRA, C. F. A.; SILVA, F. V. B. S. Alternativas de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos para Pequenas Comunidades, 2002.

LOPES, L.F.D. Estatística, 2003.

MELLO, F. C. DE. História - Rio-92. , p. 1–2, 2019.

MENDES, L. R. T., Emissão e Controlo de Odores em Aterros Sanitários, 2012.

MONTEIRO, E. C. M. Recolha seletiva de resíduos urbanos: Caso de estudo de Aveiro, 2013.

MUNIZ, C. Uma vida sem lixo. Disponível em: <<https://umavidasemlixo.com/>>. Acesso em: 25/07/2019.

MUNIZ, C. Uma vida sem lixo. Disponível em: <<https://www.facebook.com/umavidasemlixo>>. Acesso em: 25/07/2019.

MUNIZ, C. Uma vida sem lixo. Disponível em: <<https://www.instagram.com/umavidasemlixo/>>. Acesso em: 25/07/2019.

MUNIZ, C. Uma vida sem lixo. Disponível em: <<https://twitter.com/munizcristal>>. Acesso em: 25/07/2019.

ONU, Organização das Nações Unidas, 2018. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/humanidade-produz-mais-de-2-bilhoes-de-toneladas-de-lixo-por-ano-diz-onu-em-dia-mundial/>>. Acesso em: 10/07/2019.

ONU, World population prospects, 2019.

OPPHARD, K. Alemanha mostra exemplo na gestão de resíduos urbanos , p. 2–4, 2019. Disponível em: <[https://al-sc.jusbrasil.com.br/noticias/2208116/alemanhamostra-exemplo-na-Alemanha mostra exemplo na gestão de resíduos urbanos gestao-de-residuos-urbanos](https://al-sc.jusbrasil.com.br/noticias/2208116/alemanhamostra-exemplo-na-Alemanha-mostra-exemplo-na-gestao-de-residuos-urbanos-gestao-de-residuos-urbanos)> Acesso em: 02/06/2019.

OSHA OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION. US DEPARTMENT OF LABOR. Hydrogen Sulfide OSHA FactSheet. DSG 10/2005, 2005. Disponível em: <https://www.osha.gov/OshDoc/data_Hurricane_Facts/hydrogen_sulfide_fact.pdf>. Acesso em: 17/04/2019.

PARANT, A. World population prospects. 1990.

PEREIRA, A. L.; MAIA, K. M. P. A contribuição da gestão de resíduos sólidos e educação ambiental na durabilidade de aterros sanitários. Sinapse Múltipla, v. 1, n. 2, p. 68–80, 2012.

PERSU 2020+, 2016, p. 1–148, 2020.

PORTUGAL, NORMA PORTUGUESA 1796:2014, 2014.

PORTUGAL, DIRECTIVA 2008/98/CE. Resíduos. Medidas de protecção do ambiente e da saúde humana. Jornal Oficial da União Europeia, L 312, p. 3–30, 2008.

PORTUGAL, Lei nº 19/2014. .Diário da República, p. 2400–2404, 2014. Disponível em: <<http://www.anmp.pt/files/dpeas/Ambiente e Energia/Lei de bases.pdf>>. Acesso em: 10/04/2019.

PORTUGAL, Lei nº 34/2011 de 17 de Junho. Diário da República: Junho de 2011, p. 1–50, 2011.

PORTUGAL, MINISTÉRIO DO AMBIENTE DO ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Decreto lei n.º 183/2009 de 10 de Agosto. Diário da República 1ª Série, v. 153, p. 5170–5198, 2009.

Reichart, N. D. G. Aplicação da digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos: uma revisão. In 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Disponível em: <www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/biogas/file/docs/artigos_disertacoes/reichert.pdf>. Acesso em: <27/07/2019>.

REIS, A. S. Tratamento de Resíduos Sólidos Orgânicos em Biodigestor Anaeróbio, 2012.

RUSSO, M. A. T. Avaliação dos processos de transformação de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário, p. 298, 2005.

SANTOS, Á. C. Geração De Metano Devido À Digestão Anaeróbia De Resíduos Sólidos Urbanos - Estudo De Caso Do Aterro Sanitário Metropolitano Centro, Salvador - BATHesis, 2011.

SINGER, L. Trash is for Tossers. Disponível em: <<http://trashisfortossers.com/>>. Acesso em: 25/07/2019.

SINGER, L. Trash is for Tossers. Disponível em: <<https://www.facebook.com/TrashIsForTossers>>. Acesso em: 25/07/2019.

SINGER, L. Trash is for Tossers. Disponível em: <<https://www.instagram.com/trashisfortossers/>>. Acesso em: 25/07/2019.

SINGER, L. Trash is for Tossers. Disponível em: <<https://twitter.com/Trashis4Tossers>>. Acesso em: 25/07/2019.

SLATER, R. A.; FREDERICKSON, J. Composting municipal waste in the UK: Some

lessons from Europe. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 32, n. 3–4, p. 359–374, 2001.

TAMAIIO, I. Universidade Estadual De Campinas – Unicamp, 2000.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiologia*. 10. ed., 2012.

UNIVERSIDADE DE AVEIRO; CIM REGIÃO DE AVEIRO. *Estratégia De Desenvolvimento Territorial 2014-2020. Estratégia De Desenvolvimento Territorial 2014-2020*, 2014. Disponível em: <http://www.regiaodeaveiro.pt/PageGen.aspx?WMCM_PaginaId=29289&projectId=29%5Cnhttp://www.regiaodeaveiro.pt/Download.aspx?id=35501%5Cnhttp://www.regiaodeaveiro.pt/Download.aspx?id=35502>. Acesso em: 17/04/2019.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Toxicological Review of Hydrogen Sulfide*, 2003.

WHO. *Section II: Understanding the drinking-water catchment*, 2006.

WHO, World Health Organization. *Hydrogen sulfide. Environmental health criteria nº 19*. Geneva, 1981, 35 p. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc019.htm>> Acesso em: 18/06/2019.

WWF, *Relatório Planeta Vivo 2006.*, 2006.

WWF, *Em 2019, Terra entra no cheque especial a partir de 29 de julho*. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/informacoes/noticias_meio_ambiente_e_natureza/?72262/Em-2019-Terra-entra-no-cheque-especial-a-partir-de-29-de-julho> Acesso em: <29/07/19>

ZERO WASTE EUROPE. *From the 3Rs to the Zero Waste hierarchy*. Disponível em: <<https://zerowasteeurope.eu/2013/04/zero-waste-hierarchy/>>. Acesso em: 19/04/2019.

ZERO WASTE. *Zero Waste Europe*. Disponível em: <<https://www.zerowasteeurope.eu/>>. Acesso em: 19/04/2019.

APÊNDICE

Primeiro Cenário

TABELA 1 – VALORES USADOS PARA ANÁLISE DE VARIÂNCIA NO PRIMEIRO CENÁRIO (AMBIENTES INTERNOS)

Ponto de amostragem	3ª	4ª
	campanha	campanha
	Inverno	Verão
trommel 1	3.36	1.94
cabine	0.92	1.12
trommel secundário	1.45	0.74
pulper	3.25	2.32
biofiltro compostagem	1.93	0.07
biofiltro da nave TMB	0.09	0.05
maturação	0.03	0.01

TABELA 2 – VALORES PARCIAIS OBTIDOS COM ANÁLISE DE VARIÂNCIA NO PRIMEIRO CENÁRIO (AMBIENTES INTERNOS)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
trommel 1	2	5.304294242	2.652147	1.012612
cabine	2	2.040636059	1.020318	0.01883
trommel secundário	2	2.197326294	1.098663	0.252583
pulper	2	5.573367142	2.786684	0.42579
biofiltro compostagem	2	1.999339607	0.99967	1.729787
biofiltro da nave TMB	2	0.138334563	0.069167	0.000728
maturação	2	0.037615195	0.018808	0.00013
Inverno	7	11.03389121	1.57627	1.861828
Verão	7	6.257021893	0.89386	0.898058

TABELA 3 – VALORES OBTIDOS COM ANÁLISE DE VARIÂNCIA NO PRIMEIRO CENÁRIO RELATIVO A FONTES DE VARIAÇÃO SIGNIFICATIVA (AMBIENTES INTERNOS)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Linhas	14.74874822	6	2.458125	8.145916	0.011021	4.283866
Colunas	1.629891461	1	1.629891	5.401255	0.059119	5.987378
Erro	1.810569573	6	0.301762			
Total	18.18920926	13				

Segundo Cenário

TABELA 4 – VALORES USADOS PARA ANÁLISE DE VARIÂNCIA NO SEGUNDO CENÁRIO (AMBIENTES INTERNOS E ESTAÇÕES DO ANO)

Ponto de amostragem	Inverno	verão
trommel 1	3.09	1.94
cabine	0.77	1.12
trommel secundário	1.93	0.74
pulper	2.96	2.33

TABELA 5 – VALORES PARCIAIS OBTIDOS COM ANÁLISE DE VARIÂNCIA NO SEGUNDO CENÁRIO (AMBIENTES INTERNOS E ESTAÇÕES DO ANO)

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
trommel 1	2	5.032320165	2.51616	0.66255
cabine	2	1.8912682	0.945634	0.058972
trommel secundário	2	2.672583181	1.336292	0.703306
pulper	2	5.280721673	2.640361	0.198554
Inverno	4	8.750382447	2.187596	1.157414
verão	4	6.126510772	1.531628	0.53008

TABELA 6 – VALORES OBTIDOS COM ANÁLISE DE VARIÂNCIA NO SEGUNDO CENÁRIO RELATIVO A FONTES DE VARIAÇÃO SIGNIFICATIVA (AMBIENTES INTERNOS E ESTAÇÕES DO ANO)

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Linhas	4.299687967	3	1.433229	5.636754	0.094676	9.276628
Colunas	0.860587821	1	0.860588	3.38461	0.163082	10.12796
Erro	0.762795028	3	0.254265			
Total	5.923070817	7				

Terceiro Cenário

TABELA 7 – VALORES USADOS PARA ANÁLISE DE VARIÂNCIA NO TERCEIRO CENÁRIO (DIA DA SEMANA EM AMBIENTES INTERNOS)

Ponto de amostragem	Inverno	Inverno
	2ª campanha	3ª campanha
trommel 1	3.092	3.364
cabine	0.774	0.923
trommel secundário	1.929	1.454
pulper	2.955	3.248

TABELA 8 – VALORES PARCIAIS OBTIDOS COM ANÁLISE DE VARIÂNCIA NO TERCEIRO CENÁRIO (DIA DA SEMANA EM AMBIENTES INTERNOS)

<i>Grupo</i>	<i>Contagem</i>	<i>Soma</i>	<i>Média</i>	<i>Variância</i>
trommel 1	2	6.455424045	3.227712	0.036985
cabine	2	1.697205354	0.848603	0.011155
trommel secundário	2	3.383333264	1.691667	0.112935
pulper	2	6.203532749	3.101766	0.042821
2ª campanha	4	8.750382447	2.187596	1.157414
3ª campanha	4	8.989112965	2.247278	1.5434

TABELA 6 – VALORES OBTIDOS COM ANÁLISE DE VARIÂNCIA NO TERCEIRO CENÁRIO RELATIVO A FONTES DE VARIAÇÃO SIGNIFICATIVA (DIA DA SEMANA EM AMBIENTES INTERNOS)

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Linhas	7.905671896	3	2.635224	40.17691	0.006378	9.276628
Colunas	0.007124032	1	0.007124	0.108614	0.763398	10.12796
Erro	0.196771535	3	0.065591			
Total	8.109567463	7				