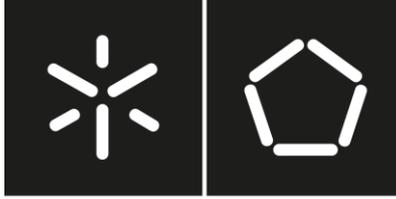


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Tomás Machado de Sousa Vale

Análise ambiental de um Projeto de recolha
seletiva de biorresíduos alimentares
domésticos: Viana Abraça

janeiro de 2022



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Tomás Machado de Sousa Vale

**Análise ambiental de um Projeto de recolha
seletiva de biorresíduos alimentares
domésticos: Viana Abraça**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do

**Professor Doutor Fernando António Portela de Sousa
Castro**

janeiro de 2022

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



Atribuição-NãoComercial-SemDerivações CC BY-NC-ND

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, gostaria de agradecer a toda a gente que fez parte deste trabalho e me acompanhou durante o processo.

Aos Serviços Municipalizados de Viana do Castelo por me acolherem tão bem nas suas instalações e permitirem desenvolver este estudo do Projeto Viana Abraça.

Ao Prof. Dr. Fernando Castro, o meu orientador, pela orientação ao longo do estudo e atenção prestada, assim como as sugestões e conhecimento transmitido.

À Eng. Susana Azevedo, pela constante orientação e disponibilidade, assim como ao Senhor José Barbosa e à Alexandra Costa pelo apoio constante.

Ao Dr. Constantino Azevedo pela confiança e disponibilidade em receber-me nos SMVC, e à Isabel Lima por toda ajuda no processo da conceção do estágio e ajuda prestada.

À Eng. Joana Cunha pela disponibilidade e apoio durante o processo e oportunidade em conhecer mais de perto a Resulima.

Aos técnicos da secção do biogás da Resulima pela disponibilidade e conhecimento transmitido.

À Eng. Júlia Oliveira e à equipa da Lipor pelo conhecimento transmitido e disponibilidade para visitar as instalações da Lipor.

À minha família, à minha namorada, e aos meus amigos que me apoiaram durante o meu percurso académico e tornaram esta jornada mais especial.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

Análise ambiental de um Projeto de recolha seletiva de biorresíduos alimentares domésticos: Viana Abraça

O setor da recolha e tratamento de resíduos representa uma fração significativa das emissões de gases de efeito de estufa a nível nacional, desde o início até ao fim do seu ciclo de vida. Nos últimos anos, assistiu-se a uma evolução das tecnologias de gestão e tratamento de resíduos, tendo sido estabelecidas metas ambiciosas para os próximos anos, de forma a descarbonizar o setor.

O trabalho realizado e desenvolvido nos Serviços Municipalizados de Viana do Castelo teve como objetivo proceder à análise ambiental do Projeto Viana Abraça, um projeto de recolha seletiva de biorresíduos alimentares e domésticos, no contexto da mitigação das alterações climáticas e fazer um balanço para três diferentes cenários, avaliando o possível benefício de uma unidade de compostagem em Viana do Castelo, em vez do encaminhamento dos biorresíduos para a Central de Valorização Orgânica da Lipor, em Baguim do Monte. Para tal, foi realizada uma análise do processo, tendo em conta as metodologias recomendadas pelo *IPCC* e pelo Inventário Nacional de Emissões. Como base foram utilizados valores relativos ao ano de 2019 e projeções para o ano de 2021 no que diz respeito a consumos de combustível e toneladas de biorresíduos recolhidas.

Num cenário de ausência de valorização (passado), o potencial de emissões corresponde a cerca de 192,5 ton CO₂ eq. Para o cenário atual, foi possível determinar um valor de emissões de 119 ton CO₂ eq, correspondendo assim, a uma poupança de 77 ton CO₂ eq. Este benefício traduz-se em cerca de 186 kg CO₂ eq evitados por cada tonelada de biorresíduos alimentares desviada de aterro.

Para uma possível nova fase do Projeto Viana Abraça, foi analisada a possibilidade de fazer a valorização dos biorresíduos recolhidos através de biocompostores situados em posições estratégicas na cidade de Viana do Castelo. Esta opção revelou um potencial de benefício ambiental, ao eliminar as emissões do transporte para a Lipor, além de representar um benefício económico de cerca de 9500 euros anuais. Surgem ainda novas oportunidades na dinamização da economia local ao produzir um composto orgânico, bem como se possibilita um maior envolvimento da população.

Foi, também, sugerida a introdução do benefício ambiental (em ton CO₂ eq) na interface do sistema *SAYT* a ser desenvolvido pelos SMVC, de forma a consciencializar a população para esta problemática.

Palavras-Chave: biorresíduos alimentares, gestão de resíduos, recolha seletiva, impacte ambiental, pegada carbónica

ABSTRACT

Environmental analysis of a Project for the selective collection of domestic food biowaste: Viana Abraça

The waste collection and treatment sector constitutes a significant fraction of greenhouse gas emissions nationwide, from the beginning to the end of its life cycle. In recent years, there has been an evolution in waste management and treatment technologies, and ambitious goals have been set for the coming years, in order to decarbonise the sector.

The work carried out was developed in the Municipal Services of Viana do Castelo and aimed to assess an environmental analysis of Viana Abraça Project, a project for the selective collection of domestic biowaste, in the context of climate change mitigation, as well as evaluate three different scenarios, estimate the possible benefit of a future composting scenario in Viana do Castelo, instead of sending biowaste to Lipor's Organic Recovery Center, in Baguim do Monte.

For that, an analysis of the process was carried out, taking into account the methodologies recommended by the *IPCC* and the National Inventory of Emissions. As a basis, values for the year 2019 and projections for the year 2021 were used in terms of fuel consumption and tons of collected biowaste.

In a scenario of landfill deposition, the potential for emissions corresponds to around 192,5 ton CO₂ equivalent. For the current valorization scenario, it was possible to determine an emissions value of around 119 ton CO₂ equivalent, avoiding 77 ton CO₂ eq in one year. This benefit translates into around 186 kg CO₂ equivalent avoided per ton of biowaste valued.

For a possible new phase of the Viana Abraça Project, the possibility of valuing biowaste collected through biocomposters located in strategic positions in the city of Viana do Castelo was analyzed. This option revealed a potential for environmental benefit, by eliminating transport emissions in Viana do Castelo-Lipor, in addition to representing an economic benefit of around 9,500 euros per year. There are also new opportunities to boost the local economy by producing an organic fertilizer, as well as enabling greater involvement of the population.

It was also suggested the introduction of the environmental benefit (in ton CO₂ eq) in the interface of the *SAYT* system to be developed by the SMVC, in order to make the population aware of this problem.

KEYWORDS: BIOWASTE, WASTE MANAGEMENT, SELECTIVE COLLECTION, AMBIENTAL IMPACT, CARBON FOOTPRINT

ÍNDICE

Agradecimentos.....	iv
Resumo.....	vi
Abstract.....	vii
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos	xvi
1. Introdução.....	xvi
1.1 Enquadramento e Motivação	1
1.1.1 Sistema de Gestão de Resíduos em Portugal.....	3
1.1.2 Implicações ambientais associadas à gestão de biorresíduos.....	4
1.2 Caraterização do local de estágio.....	6
1.3 Objetivos.....	7
1.4 Estrutura da dissertação.....	7
2. Revisão Bibliográfica	9
2.1 Aquecimento Global e Gases de Efeito de Estufa.....	9
2.2 Emissões de gases de efeito de estufa em Portugal	13
2.3 Biorresíduos.....	14
2.3.1 Potencial dos biorresíduos	18
2.4 Recolha de biorresíduos	20
2.4.1 Tipos de sistemas de recolha.....	21
2.4.2 Gestão de Resíduos no Município de Viana do Castelo.....	23
2.5 Destinos dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	24
2.6 Emissões na Gestão de Resíduos	30
2.6.1 Carbono biogénico.....	31
2.6.2 Emissões Diretas, Emissões Indiretas, Emissões evitadas	31
2.7 Enquadramento legal e estratégico	33
2.8 Panorama Europeu / Panorama nacional de biorresíduos.....	35
2.9 PERSU 2020 e PERSU 2020+.....	37
2.10 Projeto Viana Abraça	39

2.10.1	Projeto/memória descritiva da operação	41
2.10.2	Compostagem doméstica	43
2.10.3	Estado de Cumprimento de Metas e Objetivos.....	44
2.10.4	Análise SWOT do Projeto Viana Abraça.....	46
3.	Metodologia	48
3.1	Impacte ambiental da recolha e transporte: pegada carbónica	48
3.1.1	Caraterização dos veículos afetos à recolha e transporte dos biorresíduos	52
3.1.2	Consumos de combustível das viaturas.....	55
3.1.3	Caraterização dos trajetos e respetivos fatores de emissão	55
3.2	Impacte ambiental da deposição em aterro	60
3.2.1	Deposição em aterro na Resulima.....	62
3.2.2	Potencial de geração de metano e biogás no aterro.....	64
3.3	Impacte ambiental da valorização orgânica	67
3.3.1	Valorização Orgânica na LIPOR	68
3.3.2	Emissões de GEE da CVO	70
3.4	Impacte ambiental resultante da utilização de composto.....	72
4.	Análise de Resultados	74
4.1	Transportes.....	74
4.2	Potencial de emissões em Aterro.....	78
4.3	Compostagem.....	79
4.4	Pegada carbónica dos funcionários das instalações	80
4.5	Emissões evitadas pela utilização de um corretivo orgânico	81
4.6	Quantificação da pegada carbónica atual	81
4.7	Balanço final dos 3 cenários do projeto Viana Abraça.....	82
4.8	Vantagem económica na compostagem local.....	85
5.	Considerações Finais	86
5.1	Conclusões	86
5.2	Trabalhos Futuros	87
	Bibliografia	88

Anexo A – Documentação do <i>EMEP</i> e <i>NIR</i> para cálculo da pegada carbónica nos transportes.....	91
Anexo B – Folha de Cálculo da Produção de CH ₄ em aterro.....	96
Anexo C – Circuitos de Recolha e Exemplo de Biocompostores	98
Anexo D – Cálculos Auxiliares	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Produção de resíduos municipais nos países da OCDE, no ano de 2019 (OECD, 2021).....	1
Figura 2 - Resíduos Municipais produzidos por tipo de tratamento nos países da OCDE no ano de 2019 (OECD, 2021)	2
Figura 3 - Mapa dos sistemas de gestão de resíduos urbanos em Portugal Continental adaptado de (Fernandes et al., 2019)	4
Figura 4 - Fração dos biorresíduos na União Europeia	5
Figura 5 - Evolução do tratamento de RU em Portugal Continental (APA, 2021)	6
Figura 6 - Identidade Visual dos SMVC (SMVC, 2020b).....	7
Figura 7 - Concentrações de GEE durante mais de 2000 anos	9
Figura 8 - A diferença entre o efeito de estufa e o efeito de estufa ampliado por atividades humanas (APA, 2021)	10
Figura 9 - Emissões nacionais por gás no ano de 2019 (APA, 2020)	13
Figura 10 - Evolução das emissões nacionais de Gases com Efeito de Estufa (APA, 2020)	13
Figura 11 - Emissões setoriais em CO ₂ eq relativas ao ano de 2019 (APA, 2020).....	14
Figura 12 - Caracterização de biorresíduos (adaptado de (Fernandes et al., 2019))	15
Figura 13 - Caracterização física dos RU produzidos em Portugal, 2019 (APA)	16
Figura 14 - Hierarquia de Gestão de Resíduos.....	17
Figura 15 - Hierarquia dos resíduos aplicada ao fluxo específico dos biorresíduos (adaptado de (Fernandes et al., 2019)).....	18
Figura 16 - Sistema de recolha porta-a-porta de resíduos orgânicos em Barcelona (ENT, 2021)	21
Figura 17 - Exemplo de contentor de proximidade para resíduos orgânicos em Viana do Castelo (SMVC, 2019).....	22
Figura 18 - Destino final dos RU no ano de 2019 (Marçal & Ferreira, 2020)	25
Figura 19 - Esquema do circuito da CVE da LIPOR (LIPOR, 2009)	27
Figura 20 - Esquema representativo da comparação entre compostagem e digestão anaeróbia	29
Figura 21 - Geração de biogás em condições anaeróbias (IPCC, 2006b).....	30
Figura 22 - Evolução do carbono orgânico com o tempo (Entreprises pour l'Environnement, 2010)....	31
Figura 23 – Exemplo de um cartaz promocional do projeto Viana Abraça (SMVC, 2019).....	40
Figura 24 - Kit de compostagem distribuído à população da zona rural (SMVC, 2019)	43

Figura 25 - Distribuição geográfica dos utilizadores da compostagem doméstica do Projeto Viana Abraça (SMVC, 2020a)	44
Figura 26 - Estado de cumprimento de metas PERSU2020 para a Resulima (Resulima, 2020)	45
Figura 27 - Recolha seletiva dos RUB pelos SMVC (SMVC, 2019)	45
Figura 28 - Eficiência de transporte entre julho de 2019 e novembro de 2020 (Formato Verde, 2021).....	46
Figura 29 - Diagrama de fluxo de emissões no transporte rodoviário (adaptado de (Keller, 2010)).....	48
Figura 30 - Esquema de hipótese a testar numa análise de ciclo de vida relativamente aos impactes gerados num cenário atual de recolha indiferenciada e num cenário de recolha seletiva de biorresíduos (Fernandes et al., 2019)	49
Figura 31 - Emissões de CO ₂ de veículos pesados na Europa dos países EU-28 (EEA, 2020)	51
Figura 32 - Esquema simplificado da tipologia de transporte de biorresíduos desde a fonte à valorização	53
Figura 33 - Efeito AdBlue (TotalEnergies, 2020)	54
Figura 34 - Viatura de carga lateral para recolha seletiva dos biorresíduos alimentares domésticos (Alto Minho TV, 2020)	54
Figura 35 - Painel de controlo do software <i>COPERT</i>	57
Figura 36 - Categorias de variáveis introduzidas no software <i>Copert</i>	58
Figura 37 - Dados obtidos após simulação no software Copert	59
Figura 38 - Contribuição de cada GEE para as emissões nacionais do setor dos resíduos em 2019 (APA, 2021c).....	60
Figura 39 - Célula do aterro e condutas de condução do biogás	62
Figura 40 - CVEB composta por 2 motogeradores (à esquerda) e rede de captura de biogás (à direita)	63
Figura 41 - Aparelho de medição do biogás (à esquerda) e medições registadas manualmente.....	64
Figura 42 - Projeção das emissões de biogás, metano, dióxido de carbono e monóxido de carbono, utilizando o <i>LandGem</i>	66
Figura 43 - Plataforma de depósito de orgânicos (à esquerda) e pilhas de composto em primeira fase de produção (à direita)	69
Figura 44 - Pilha de resíduos verdes (à esquerda) e pilha de resíduos verdes após trituração (à direita)	70
Figura 45 - Emissões de GEE da Lipor (Lipor, 2020)	71
Figura 46 - Emissões evitadas por tipo de material (AG, 2008)	73

Figura 47 - Evolução das emissões na recolha em 2021	76
Figura 48 - Distribuição da pegada carbónica no processo	81
Figura 49 - Balanço Final dos 3 cenários.....	83
Figura 50 - Comparação dos 3 cenários face ao potencial de CH ₄ em aterro sem valorização e emissões evitadas pela compostagem doméstica.....	84
Figura 51 - Métodos de cálculo recomendados para diferentes classes de veículo e poluente (Ntziachristos & Samaras, 2019)	91
Figura 52 - Fatores de emissão de metano para diferentes categorias de veículos (Ntziachristos & Samaras, 2019)	92
Figura 53 - Fatores de emissão de N ₂ O para veículos pesados (Ntziachristos & Samaras, 2019)	93
Figura 54 - Fatores de correção de emissão de CH ₄ para diferentes categorias de veículos (Ntziachristos & Samaras, 2019).....	94
Figura 55 - Categorias de veículos pesados (Ntziachristos & Samaras, 2019)	95
Figura 56 - Fatores de emissão para transporte rodoviário, no ano de 2019, em Portugal (APA, 2021c)	95
Figura 57 - <i>Inputs</i> na folha de cálculo <i>Landgem</i>	96
Figura 58 - <i>Inputs</i> de toneladas depositadas em aterro, na folha de cálculo <i>Landgem</i>	97
Figura 59 - Exemplo 1 de circuito de recolha de biorresíduos em Viana do Castelo	98
Figura 60 - Exemplo 2 de circuito de recolha de biorresíduos em Viana do Castelo	98
Figura 61 - Exemplo 3 de circuito de recolha de biorresíduos em Viana do Castelo	99
Figura 62 - Figura de catálogo do exemplo de um biocompostor estudado para implementação.....	100
Figura 63 - Características das viaturas	101
Figura 64 - Velocidades das viaturas nas diferentes tipologias de trajeto	101
Figura 65 - Percentagem de cada tipologia de percurso.....	101
Figura 66 - Inputs de temperatura mínima, máxima e humidade relativa em Viana do Castelo (Portal do Clima, 2021)	101
Figura 67 - Fatores de emissão para Euro V e VI com correção do fator de emissão de CH ₄	102
Figura 68 - Cálculo das emissões totais de CH ₄ e N ₂ O para cada tipo de viatura.....	102
Figura 69 - Emissões anuais de CH ₄ e N ₂ O para cada tipo de tecnologia de motor	103
Figura 70 - Cálculo da média das emissões difusas em aterro.....	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Potencial de aquecimento global para os principais gases de efeito de estufa	12
Tabela 2 - Variáveis de caracterização do potencial de biorresíduos em Viana do Castelo.....	20
Tabela 3 - Casos de estudo de recolha seletiva de biorresíduos na Europa (adaptado de (Fernandes et al., 2019)).....	22
Tabela 4 - Evolução prevista da TGR de acordo com o DL 102-D/2020 (Presidência do Conselho de Ministros, 2020).....	23
Tabela 5 - Relatório de indicadores dos SMVC no ano de 2019 (adaptado de (RASARP, 2020))	24
Tabela 6 - Relatório de indicadores da Resulima em 2019 (adaptado de (RASARP, 2020)).....	24
Tabela 7 - Valores típicos de humidade de certos materiais (ARCADIS and EUNOMIA, 2010)	27
Tabela 8 - Síntese das fontes diretas e indiretas nas atividades de gestão de resíduos (adaptado de (Entreprises pour l'Environnement, 2010)).....	32
Tabela 9 - Evolução da legislação até 2020.....	34
Tabela 10 - Medidas no que diz respeito aos biorresíduos (adaptado de (APA, 2018) (Comissão Europeia, 2018))	35
Tabela 11 - Novas medidas no que respeita os biorresíduos (APA, 2018)	38
Tabela 12 - Infraestruturas e equipamentos dos SMVC em 2014 (Formato Verde, 2021).....	41
Tabela 13 - Síntese das componentes e ações da operação (SMSBVC, 2016a).....	42
Tabela 14 - Análise SWOT ao projeto Viana Abraça.....	47
Tabela 15 - Principais poluentes emitidos por veículos (Ntziachristos & Samaras, 2019).....	50
Tabela 16 - Classificação da tecnologia de motor para veículos pesados segundo a norma Europeia (adptado de (Ntziachristos & Samaras, 2019)).....	50
Tabela 17 - Metodologias de cálculo para cada categoria de poluente (adaptado de (Ntziachristos & Samaras, 2019))	52
Tabela 18 - Características das viaturas afetas ao transporte completo.....	53
Tabela 19 - Consumos reais das viaturas de transporte e recolha.....	55
Tabela 20 - Valores médios dos trajetos considerados para diferentes países (adptado de (Keller, 2010))	56
Tabela 21 - Tipologia de percurso referente aos 2 trajetos.....	58
Tabela 22 - Comparação dos dados obtidos no software <i>Copert</i> com a metodologia do <i>EMEP</i>	59

Tabela 23 - Percentagem de carbono biológico e potencial de geração de metano nos biorresíduos (adaptado de (ARCADIS and EUNOMIA, 2010)).....	61
Tabela 24 – Condições de entrega na Central de Valorização da Lipor.....	68
Tabela 25 - Balanço da pegada carbónica anual da recolha e transporte anual.....	74
Tabela 26 - Balanço da pegada carbónica por circuito e por km para os dois tipos de percursos.....	75
Tabela 27 - Avaliação da qualidade de serviço de recolha seletiva (adaptado de (RASARP, 2020))	77
Tabela 28 - Avaliação do parâmetro RU16 para a recolha seletiva	77
Tabela 29 - Resultados dos parâmetros calculados de potencial de emissão em aterro.....	78
Tabela 30 - Pegada carbónica dos funcionários para cada instalação	80
Tabela 31 - Quilómetros e percentagem de percurso para cada tipo de viatura	102
Tabela 32 - Comparação dos fatores recomendados e os valores obtidos através do software <i>Copert</i>	103
Tabela 33 - Pressupostos de caracterização dos resíduos	104
Tabela 34 - Comparação de geração de metano em aterro para presença e ausência de biorresíduos alimentares	104
Tabela 35 - Impacte ambiental na CVO da Lipor.....	104
Tabela 36 - Variáveis para cálculo do impacte ambiental dos funcionários nas instalações.....	105
Tabela 37 - Gastos económicos no transporte até à Lipor.....	105

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

ACB – Análise Custo Benefício

CHP – Combined Heat and Power

CVEB – Central de Valorização Energética do Biogás

CVO – Central de Valorização Orgânica

DQR – Diretiva Quadro Resíduos

EMEP – European Monitoring and Evaluation Programme

EP D – Equipamento de Proximidade (Doméstico)

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos

GEE – Gases de Efeito de Estufa

GPL – Gás de Petróleo Liquefeito

GVW – Gross Vehicle Weight

HFC - Hidrofluorcarbonetos

HORECA – Hotelaria, Restaurantes, Cafés

INE – Instituto Nacional de Estatística

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

LULUCF – Land Use and Land Use Change and Forestry

NMVOG - Non-Methane Volatile Organic Compounds

PaP – Porta a Porta

PaP ND – Porta a Porta Não Doméstica

PAYT – Pay As You Throw

PEAD – POLIETILENO DE ALTA DENSIDADE

ppb – partes por bilhão

REEE – Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos

RI – Resíduos Indiferenciados

RU – Resíduos Urbanos

RUB – Resíduos Urbanos Biodegradáveis

SAR - Second Assessment Report

SAYT – Save As You Throw

1. INTRODUÇÃO

No presente capítulo faz-se um enquadramento ao tema da dissertação, assim como a caracterização do local de estágio onde esta foi desenvolvida. De seguida, são apresentados os objetivos e a estrutura da dissertação.

1.1 Enquadramento e Motivação

A produção de resíduos urbanos (RU) cresceu com o aumento da população mundial, o que traz consigo consequências ambientais e de saúde humana. Com isto, tornou-se necessário desenvolver sistemas, tecnologias e processos no que diz respeito à gestão de resíduos urbanos, de modo a caminhar para uma economia mais circular.

Na figura abaixo é possível verificar o ponto de situação, segundo dados de 2019, em que se encontra Portugal no que diz respeito a produção de resíduos municipais per capita. (OECD, 2021)

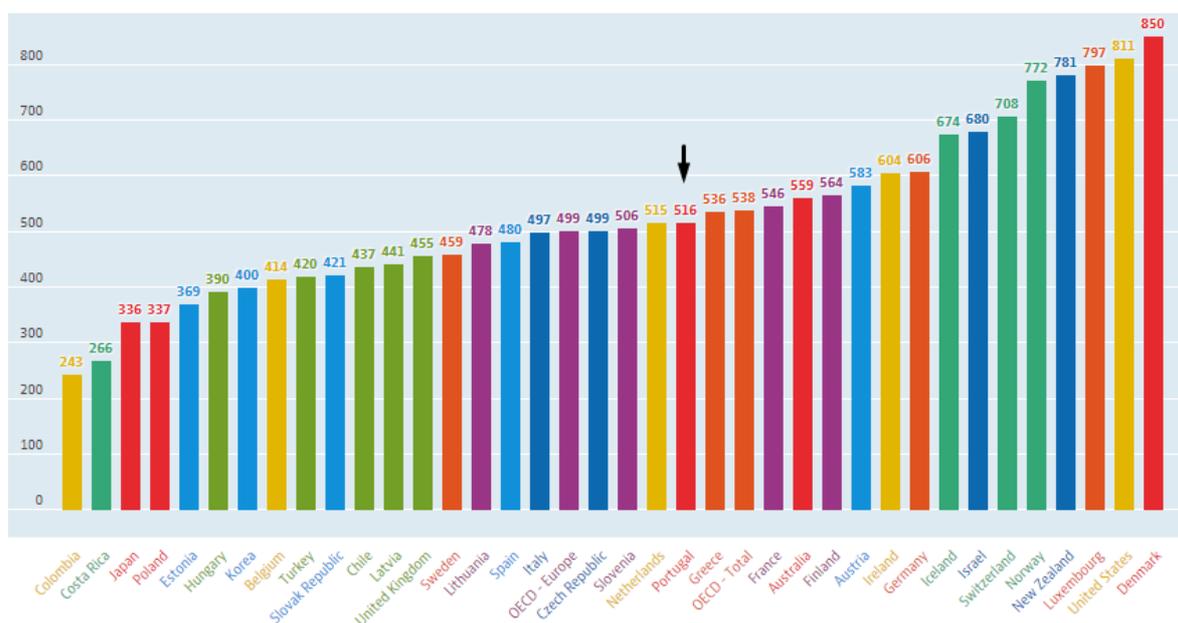


Figura 1 – Produção de resíduos municipais nos países da OCDE, no ano de 2019 (OECD, 2021)

Embora se assista a grandes progressos na área, em Portugal, ainda é notável uma dependência de sistemas de eliminação de resíduos, como os aterros sanitários e processos de incineração, embora haja valorização energética em algumas destas instalações.

Na Figura 2 é possível comparar, ainda, o tipo de tratamento dado aos resíduos. Comparativamente a outros países, nota-se a elevada percentagem de deposição em aterro, face à valorização orgânica e reciclagem.

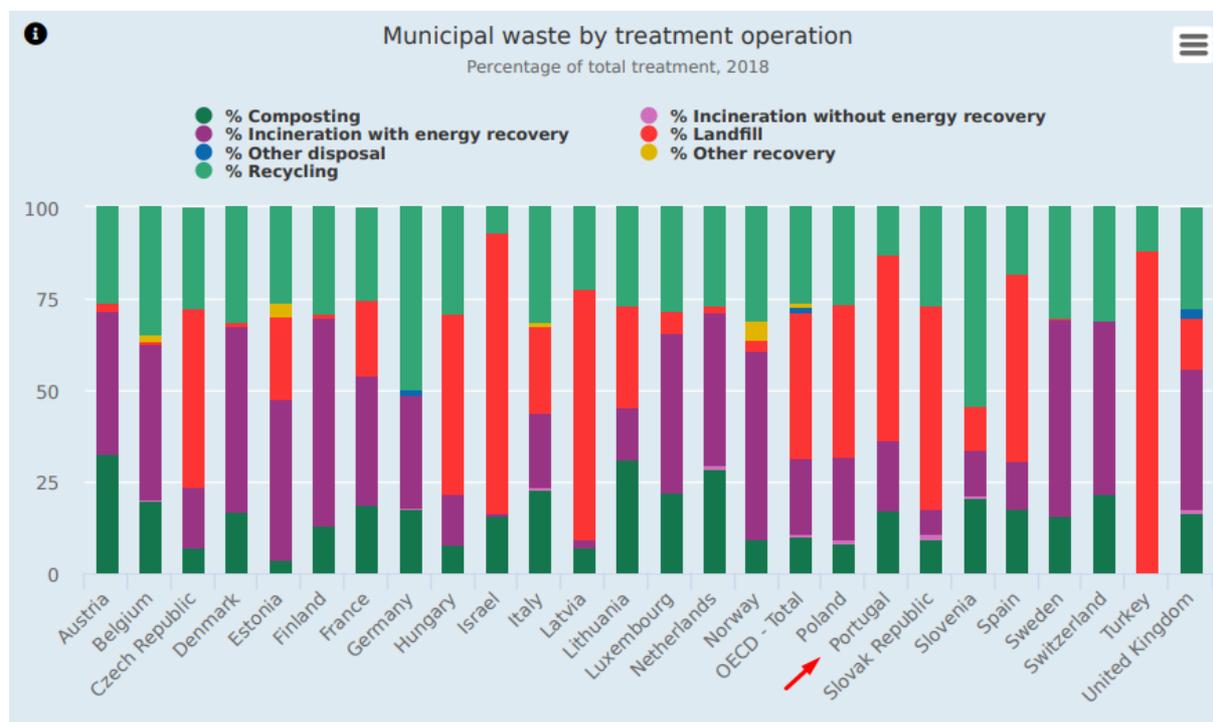


Figura 2 - Resíduos Municipais produzidos por tipo de tratamento nos países da OCDE no ano de 2019 (OECD, 2021)

Ainda é notável uma grande utilização de aterro como destino final dos resíduos urbanos em Portugal e, sendo este o principal contribuidor para emissões de gases de efeito de estufa no setor dos resíduos, é importante que este paradigma se altere, através da implementação de estratégias a nível europeu e nacional.

Desde 1997 que Portugal dispõe de planos de gestão de resíduos urbanos, que levaram a graus de concretização distintos. São identificáveis sucessos, tais como o encerramento das lixeiras e a estruturação do setor num curto espaço de tempo, embora tenham ocorrido dificuldades associadas como as reduzidas taxas de valorização de resíduos de embalagens e, a maior utilização do aterro sanitário como principal opção de tratamento. (APA, 2018)

O setor dos resíduos constitui um elemento significativo nas emissões de gases com efeito de estufa. A nível mundial, a contribuição do setor dos resíduos para a emissão de GEE é de cerca de 1300 Mt CO₂ eq (cerca de 5% das emissões totais de GEE). Por outro lado, a nível nacional, corresponde a uma percentagem de 8% das emissões nacionais. (Governo Português, 2019)

Atualmente a elevada produção de resíduos, torna necessária a adoção de políticas que minimizem o impacto destes fluxos no ambiente. É fundamental, assim, a definição de políticas de gestão fundamentadas no desenvolvimento sustentável.

A evolução de um setor “gestor de resíduos” para um setor “gestor de materiais”, irá implicar uma transformação e inovações cruciais, empurradas não só por metas de reciclagem, mas também por metas para a redução de resíduos de fluxos específicos que, combinadas, exigem maior segregação de fluxos de materiais, nomeadamente os biorresíduos, e a substituição eficaz e proativa de matérias-primas na produção e manufatura. (Ambiente & Ação Climática, 2020)

1.1.1 Sistema de Gestão de Resíduos em Portugal

Um Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos (SGRU) é uma estrutura composta por meios humanos, logísticos, equipamentos e infraestruturas, estabelecida para levar a cabo as operações inerentes à gestão dos Resíduos Urbanos (RU). A sua função é definir a estratégia ideal de encaminhamento dos resíduos para o destino final adequado, sendo responsáveis por projetar, dimensionar e gerir as suas infraestruturas de valorização e/ou destino final dos resíduos, assim como, de sensibilizar os cidadãos para que estes adotem as melhores práticas de separação e acondicionamento dos resíduos, garantindo deste modo o bom funcionamento do sistema de gestão estabelecido. (APA, 2021d)

Em Portugal Continental existem 23 Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos (SGRU), 12 Multimunicipais e 11 Intermunicipais. Estes sistemas possuem características diferenciadas, quer em número de municípios que os integram, quer em área, população e dispersão abrangida, quer nas condições socioeconómicas da população que integram. Esta diferenciação, que se reflete no fluxo e produção de resíduos, suporta as opções adotadas em termos da recolha seletiva, tratamento e valorização, assim como nos equipamentos e infraestruturas implementados. (APA, 2018)

No que respeita às operações de gestão de RU, existem dois sistemas: em baixa e em alta. O sistema em baixa é gerido diretamente pelas autarquias ou indiretamente por empresas privadas contratadas por estas e compreendem as operações de recolha e transporte até à estação de transferência caso exista, ou diretamente da recolha até ao destino final dos RU. O sistema em alta é habitualmente gerido pelos SGRU e compreende as operações de transporte da estação de transferência até ao local de tratamento dos RU. (Oliveira, 2012)

A responsabilidade da gestão de resíduos urbanos está dependente da quantidade diária produzida por produtor. Se a produção diária de resíduos urbanos for superior a 1100L, a responsabilidade da gestão de resíduos cabe ao produtor. Esta situação verifica-se nas grandes superfícies comerciais, estabelecimentos de comércio alimentar ou saúde, por exemplo. Caso não exceda os 1100 L, a gestão de resíduos é da responsabilidade dos municípios. É da responsabilidade de cada SGRU, a definição de estratégias para cumprimento de metas e objetivos estabelecidos a nível nacional e comunitário. Na Figura 3 é possível verificar a distribuição dos SGRU em Portugal Continental, sendo estas as entidades em alta. (Fernandes et al., 2019)

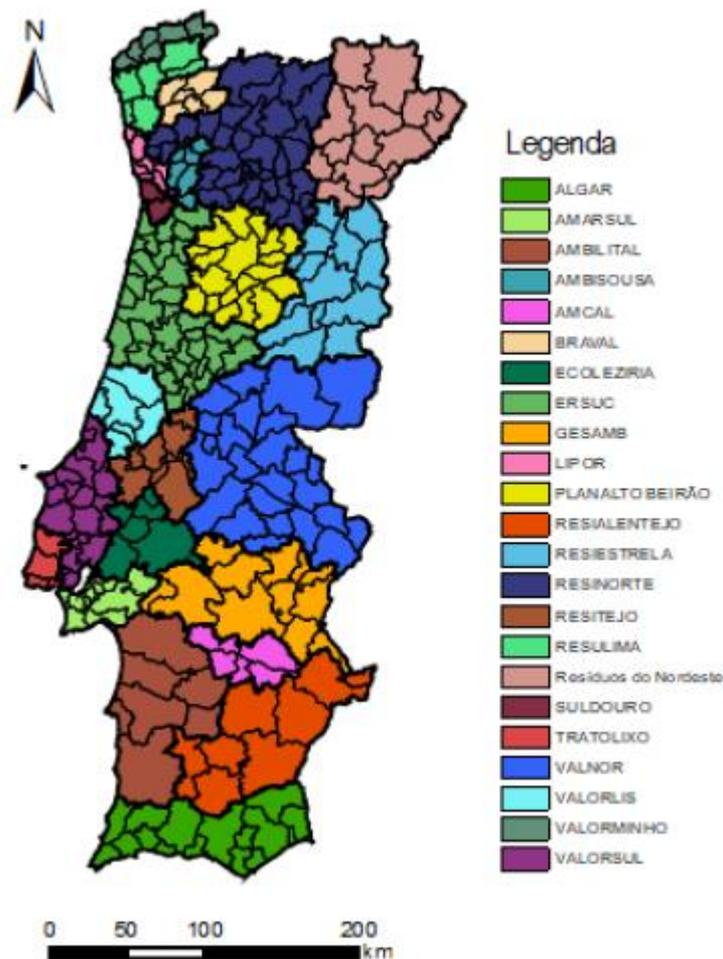


Figura 3 - Mapa dos sistemas de gestão de resíduos urbanos em Portugal Continental adaptado de (Fernandes et al., 2019)

1.1.2 Implicações ambientais associadas à gestão de biorresíduos

Nos países da União Europeia, os biorresíduos alimentares representam 60% dos biorresíduos municipais, sendo 35% resíduos verdes e os restantes 5% classificados como outros. (European Environment Agency, 2020)

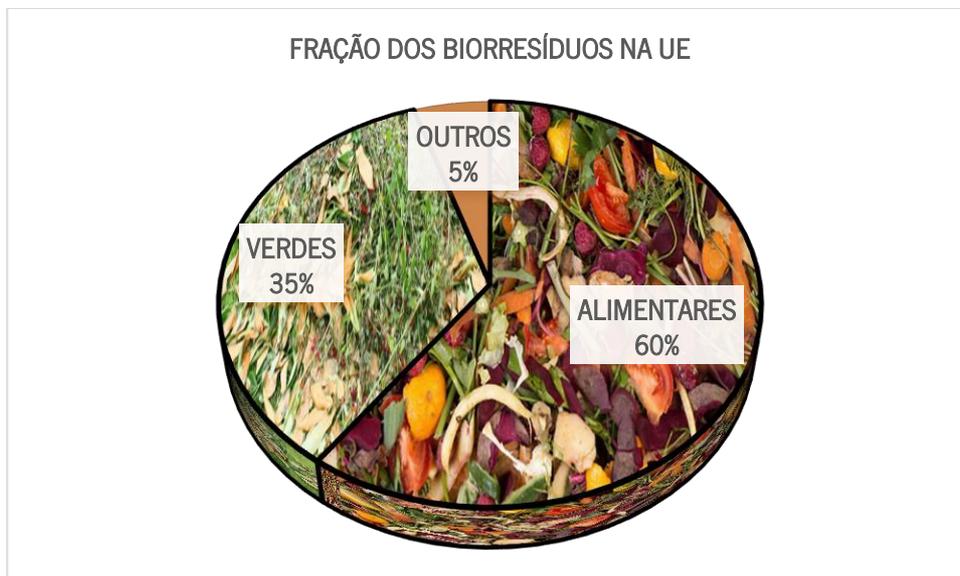


Figura 4 - Fração dos biorresíduos na União Europeia

A geração e gestão de biorresíduos alimentares (principal constituinte dos biorresíduos) tem vários impactes ambientais, sociais e económicos. A produção de comida necessita de recursos como solos, água, combustível e matérias-primas. A aplicação de fertilizantes e criação de gado são as maiores fontes de impacte ambiental pela geração de gases de efeito de estufa, devido à libertação de nutrientes. Além disso, outros passos na cadeia de valor dos alimentos, como armazenamento, transporte e preparação, contribuem para o impacte ambiental. (European Environment Agency, 2020)

A gestão de biorresíduos torna-se importante, uma vez que uma má gestão implica um recuo no que diz respeito à preparação para uma economia mais circular. Uma gestão incorreta implica deposição em aterro de resíduos orgânicos, e uma falta de aproveitamento do seu potencial para valorização. Todos estes fatores aliados à gestão de biorresíduos contribuem para um aumento nas emissões de gases de estufa e, conseqüentemente, aumento do potencial de aquecimento global.

Os principais impactes ambientais considerados nas avaliações de opções de gestão de biorresíduos estão relacionados com a emissão de gases de efeito de estufa (GEE) e emissões de poluentes atmosféricos. Em termos quantitativos, no setor da gestão de resíduos, os aterros são o maior emissor de GEE, seguido da incineração, da compostagem e da digestão anaeróbia.

No que diz respeito aos impactes ambientais relacionados com a recolha de resíduos, estão relacionados aspetos como o ruído, poluição do ar e as alterações climáticas. (Fernandes et al., 2019)

Na Figura 5 é possível verificar a evolução do tipo de tratamento dos RU em Portugal Continental, desde 2010, notando-se um aumento gradual do Tratamento Mecânico e Biológico, e uma diminuição da deposição em aterro.

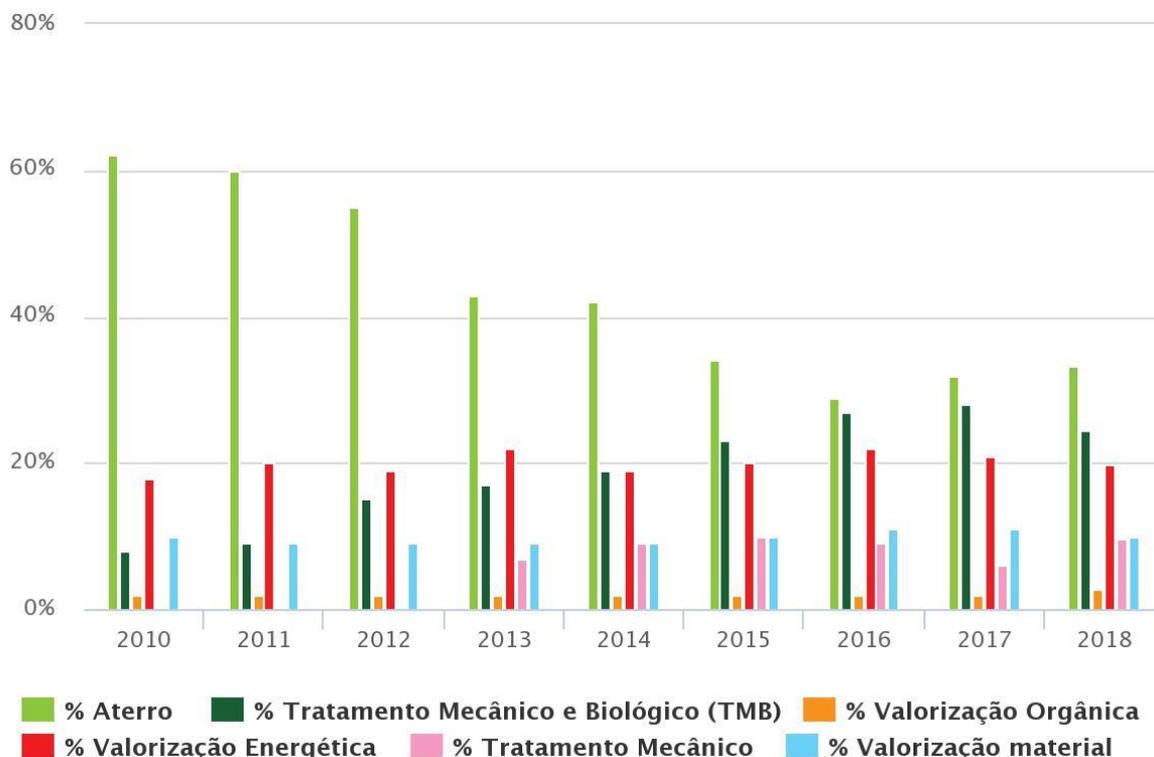


Figura 5 - Evolução do tratamento de RU em Portugal Continental (APA, 2021)

1.2 Caracterização do local de estágio

A presente dissertação foi desenvolvida nos Serviços Municipalizados de Viana do Castelo (SMVC).

No que respeita à gestão de resíduos, desde 1991, o serviço de recolha e tratamento de resíduos passou a ser da responsabilidade dos Serviços Municipalizados de Saneamento Básico de Viana do Castelo (SMSBVC), sendo atualmente responsáveis por planear, programar, executar e controlar todas as operações de gestão de resíduos urbanos, com exceção das operações de valorização e eliminação, constituindo, portanto, a entidade gestora responsável pelo sistema de gestão “em baixa”.

Realiza um “serviço público de interesse local, dotado de autonomia administrativa e financeira, que visam contribuir de forma sustentada para a qualidade de vida dos cidadãos do Concelho de Viana do Castelo”, sendo as suas atividades enquadradas pelos instrumentos de planeamento municipal bem como pelas deliberações da Câmara Municipal.

Em 2020, a atividade empresarial dos Serviços Municipalizados de Viana do Castelo restringe-se à Gestão de Resíduos Urbanos e a Gestão de Atividade de Limpeza Pública, ficando assim o abastecimento de água e recolha de águas residuais a cargo das Águas do Alto Minho (ADAM). (SMVC, 2020b)



Figura 6 - Identidade Visual dos SMVC (SMVC, 2020b)

1.3 Objetivos

A presente dissertação foi desenvolvida em contexto de estágio curricular nos Serviços Municipalizados de Viana do Castelo. Foi proposta uma análise do projeto Viana Abraça de recolha seletiva de biorresíduos alimentares domésticos na cidade de Viana do Castelo, de modo a fazer uma análise do impacte ambiental do projeto, no contexto das alterações climáticas.

Através dessa análise, é possível verificar o impacte ambiental que tem a recolha de biorresíduos alimentares domésticos através do acréscimo de circuitos de recolha e respetivas viaturas, assim como o seu encaminhamento para valorização orgânica, ao invés de deposição em aterro. Além disso, através deste tipo de análise, espera-se fazer uma comparação entre 3 cenários do Projeto Viana Abraça de valorização de biorresíduos em Viana do Castelo: anterior, atual e futuro.

1.4 Estrutura da dissertação

Inicialmente, faz-se uma introdução ao documento, explicando o contexto e os objetivos do presente trabalho. De seguida é feita uma revisão bibliográfica dos conceitos associados ao contexto do trabalho, de forma a aprofundar o conhecimento sobre o mesmo, assim como explicar no que consiste o Projeto

Viana Abraça. No capítulo 3, é explicada a metodologia adotada para o cálculo do impacto ambiental presente nas diferentes fases do projeto, recorrendo às fontes recomendadas pelas entidades certificadas. No capítulo 4, são apresentados os resultados obtidos para cada fase do projeto, assim como um balanço final da pegada ambiental do Projeto Final, e comparação de três diferentes cenários do projeto. Por fim, no capítulo 5, são tecidas considerações finais sobre a análise realizada ao longo do trabalho, assim como apresentação de sugestões futuras para o Projeto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é feita uma revisão bibliográfica dos conceitos subjacentes a esta dissertação, assim como apresentação do Projeto Viana Abraça. É explicado o enquadramento legal relacionado à recolha de biorresíduos, assim como as metas propostas a nível europeu e nacional para mitigação das alterações climáticas no setor dos resíduos.

2.1 Aquecimento Global e Gases de Efeito de Estufa

A atividade humana contribui para as alterações climáticas na atmosfera do planeta Terra. Com a revolução industrial, no séc XVIII e XIX, a percentagem de CO₂ na atmosfera aumentou significativamente, devido à queima de combustíveis fósseis e atividade industrial.

Na Figura 7, encontra-se apresentada a evolução da concentração de Gases de Efeito de Estufa (em ppb) no planeta Terra ao longo de 2000 anos. Deu-se um aumento considerável desde 1750, devido ao aumento da atividade humana na era industrial. (Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, 2007)

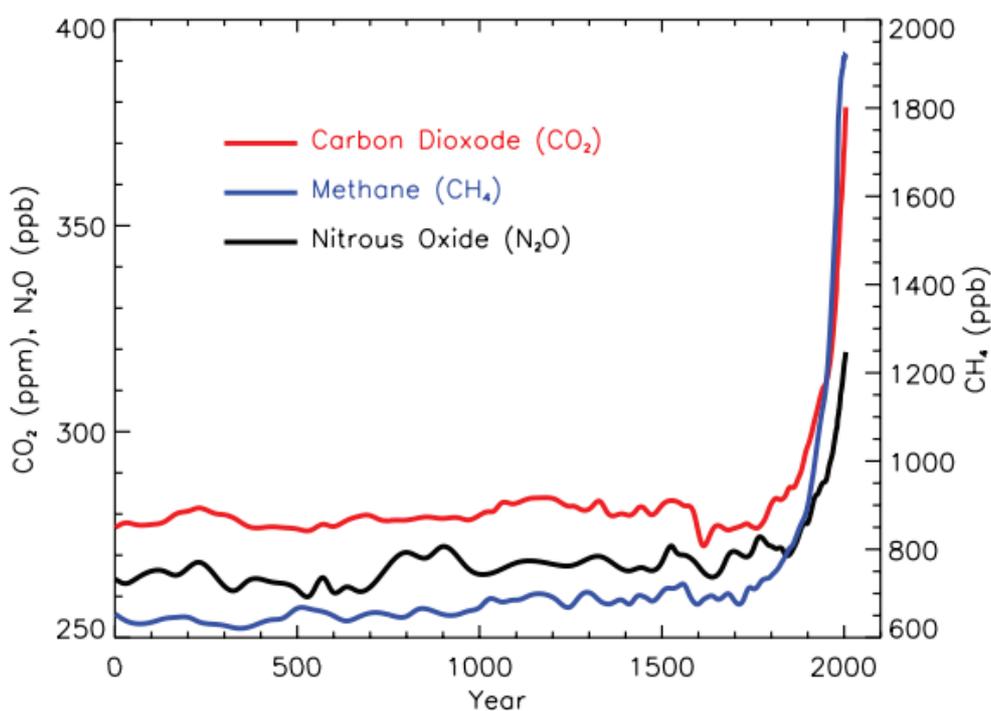


Figura 7 - Concentrações de GEE durante mais de 2000 anos

O efeito de estufa é um fenómeno natural no planeta Terra, que mantém a temperatura da Terra. A energia vinda do Sol, contribui para esse efeito. A Terra intercepta a radiação solar (incluindo a radiação visível) e, cerca de 1/3 refletida, o resto é absorvida por vários componentes: oceano, solo, atmosfera, gelo. Da energia refletida pela superfície terrestre, parte dela é absorvida e re-emitida para a superfície terrestre através da presença de certos gases na atmosfera acima (gases de efeito de estufa), aumentando assim a temperatura global. Um aumento desta camada e concentração de gases de efeito de estufa na atmosfera, funciona como barreira, aumentando a re-emissão da radiação para a superfície terrestre, o que resultará no aumento da temperatura da superfície terrestre, o chamado aquecimento global.(IPCC, 1990)

Na Figura 8 é possível entender o aumento do efeito de estufa devido à atividade industrial.

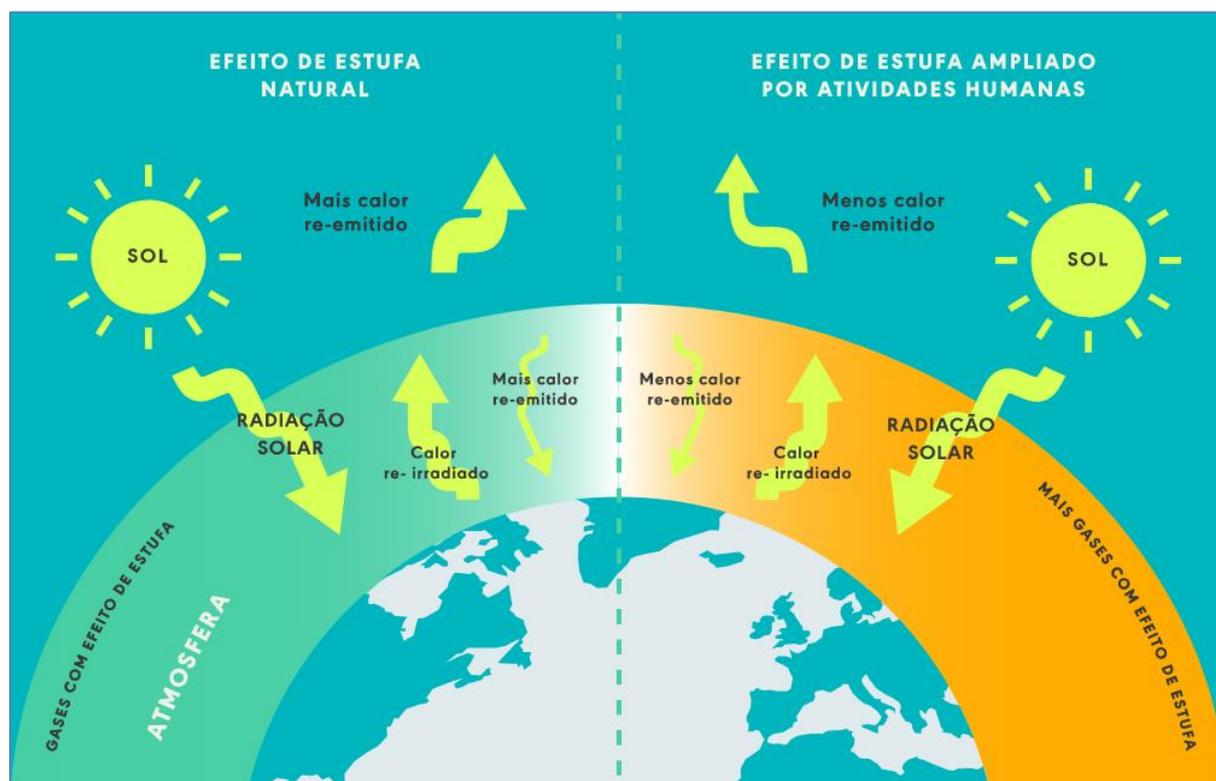


Figura 8 - A diferença entre o efeito de estufa e o efeito de estufa ampliado por atividades humanas (APA, 2021)

Resultante da atividade humana, são emitidos 4 principais gases de efeito de estufa que se acumulam na atmosfera com o tempo: dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) e ainda os halocarbonetos. (Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, 2007)

- O dióxido de carbono aumentou com o uso de combustíveis fósseis, nomeadamente, nos transportes, unidades de aquecimento e refrigeração, e manufatura de cimento e outras matérias-primas. Além disso, a deflorestação liberta dióxido de carbono e reduz a absorção por partes das plantas. O dióxido de carbono é ainda emitido através de processos naturais, como a degradação da matéria orgânica.
- A libertação de metano aumentou com a atividade humana, relacionada à atividade na agricultura, distribuição de gás natural e os aterros.
- Os óxidos nitrosos são emitidos também na queima de combustíveis fósseis, e através do uso de fertilizante em terrenos agrícolas. Processos naturais ocorridos nos solos e nos oceanos também libertam N_2O .
- A emissão de halocarbonetos aumentou também com a atividade humana, e processos naturais, em parte. Os principais halocarbonetos são os clorofluorcarbonetos, usados como agentes de refrigeração e outros processos industriais. (APA, 2020)

Salienta-se ainda o vapor de água que também é considerado um gás de efeito de estufa e o maior contribuidor para esse mecanismo, dada a sua concentração. O vapor de água, ao contrário do dióxido de carbono ou o metano, mantém-se na atmosfera por um período de tempo inferior, falando de uma escala de dias para anos, respetivamente. O aumento da concentração de vapor de água na atmosfera não é uma consequência da atividade humana, mas sim um efeito de “feedback”. Com o aumento da concentração de CO_2 e gases de efeito de estufa, a radiação solar re-emitada para a superfície terrestre aumenta. O aumento da temperatura implica um ar mais húmido, maior evaporação nos solos e água. Como o vapor de água também absorve radiação solar, este efeito “feedback” resulta num aquecimento adicional do clima. Foi estudado que este efeito amplifica o potencial de aquecimento global de $1,2^\circ C$ para $1,9^\circ C$, um factor de 1,6. (A.Raval, 1989) (IPCC, 1990)

É necessário perceber qual a sua contribuição relativa para o problema, por forma a melhor desenharmos a nossa resposta. Para tal foram desenvolvidas várias métricas que permitem comparar o efeito do aquecimento global nos diferentes gases. É preciso notar também que o efeito de uma determinada emissão de GEE depende da sua capacidade de absorver energia (a sua “eficiência radiativa”) e da sua permanência na atmosfera. Este último fator é crítico: um gás que fosse muito potente, mas rapidamente absorvido por processos naturais seria menos importante de outro que tivesse uma emissão menos potente em termos de afetação do clima, mas que permanecesse muitos mais anos.

Assim, a métrica que a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Alterações Climáticas decidiu utilizar, e que se tornou a referência internacional, é o Potencial de Aquecimento Global (PAG) a 100 anos. O PAG é uma medida da energia que será absorvida por 1 tonelada de um gás, em relação à emissão de 1 tonelada de dióxido de carbono (CO₂). O PAG permite-nos por isso dizer que uma emissão de 1 tonelada de metano (CH₄) equivale, para efeitos do impacto sobre o aquecimento global, à emissão de 25 toneladas de CO₂, ou seja, o PAG do metano é 25. Para efeitos da contabilidade dos Estados, a Convenção estipula valores fixos. Estes valores são revistos à luz de novos avanços científicos. (RNC2050, 2020)

Na Tabela 1, estão representados os potenciais de aquecimento global (PAG) específicos para 3 principais gases de efeito de estufa. Os valores são apresentados segundo 2 metodologias, AR4 e SAR, sendo que AR4 reflete valores aprimorados da SAR, que ainda é amplamente citada. (Hull, 2009)

Durante o presente trabalho, serão utilizados valores segundo o método AR4, dado que é a metodologia adotado no Relatório do Inventário Nacional.

Tabela 1 - Potencial de aquecimento global para os principais gases de efeito de estufa

Caso	Fórmula Química	PAG 100 anos (método SAR)	PAG 100 anos (método AR4)	Onde é Emitido
Dióxido de Carbono	CO ₂	1	1	Combustíveis fósseis, produção de energia elétrica, transportes e processos industriais
Metano	CH ₄	21	25	Agricultura e pecuária, resíduos sólidos
Óxido Nitroso	N ₂ O	310	298	Transportes, resíduos

De acordo com os valores de 2019 presentes no Inventário Nacional de Emissões, o CO₂ representa cerca de 75% das emissões de gases de efeito de estufa, como se pode ver na Figura 9. O N₂O e CH₄ representam 5% e 15%, respetivamente. Por fim, os gases fluorados (representados na Figura 9 como F-gases) somam 5% do total de emissões nacionais.

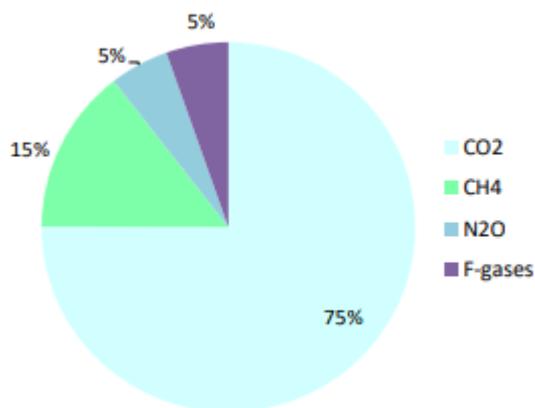


Figura 9 - Emissões nacionais por gás no ano de 2019 (APA, 2020)

2.2 Emissões de gases de efeito de estufa em Portugal

No âmbito dos compromissos comunitários e internacionais assumidos relativamente à Convenção Quadro das Nações Unidas sobre as Alterações Climáticas (UNFCCC), à Convenção sobre Poluição Atmosférica Transfronteira de Longo Alcance (UNECE) e à Diretiva relativa aos Tetos Nacionais de Emissões (UE), Portugal submete anualmente o inventário dos gases com efeito de estufa (GEE) e outros poluentes atmosféricos, desde então. (APA, 2021b)i

Dados das emissões de gases de Efeito de Estufa nacionais, relativos ao ano de 2018, incluindo CO₂ indireto e sem *LULUCF* (alteração do uso do solo e florestas), foram estimados em 67,4 Mt CO₂eq, que representam um aumento de 15% relativamente a 1990, e um decréscimo de 4,6% relativamente a 2017, como se pode ver na Figura 10. (APA, 2020)

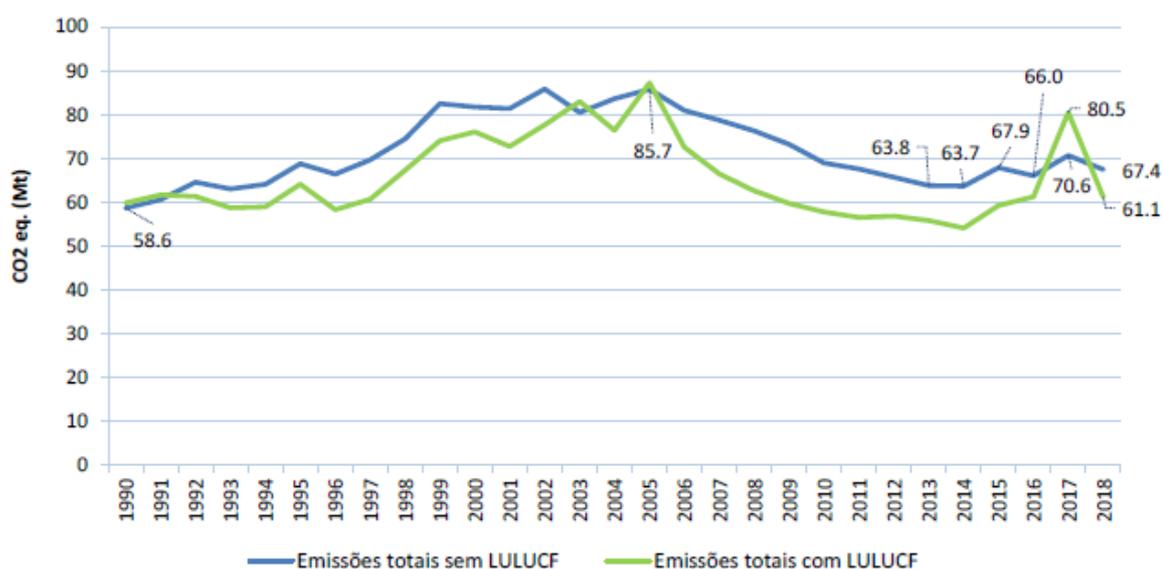


Figura 10 - Evolução das emissões nacionais de Gases com Efeito de Estufa (APA, 2020)

A Figura 11 mostra as emissões por setor e a preponderância do setor da energia no total das emissões nacionais. Com efeito, este setor, que inclui os transportes, é, para toda a série temporal, o principal responsável pelas emissões nacionais de gases com efeito de estufa, determinando a sua evolução ao longo dos anos. (APA, 2020)

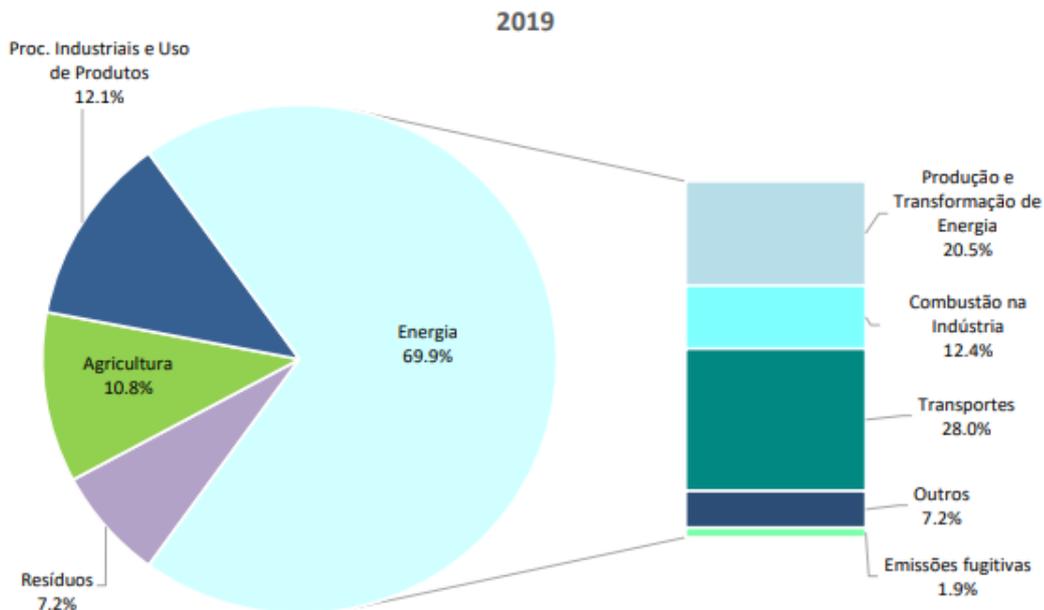


Figura 11 - Emissões setoriais em CO₂ eq relativas ao ano de 2019 (APA, 2020)

É possível ainda verificar que, o setor dos resíduos, em Portugal, apresenta uma percentagem de 7,2% das emissões totais (excluindo *LULUCF*), valor que tem vindo a diminuir pela implementação de sistemas de tratamento de resíduos e aproveitamento energético de biogás, assim como a aposta em unidades de Tratamento Mecânico e Biológico, que visam desviar resíduos urbanos de aterro. No entanto, é importante referir que os 7,2% são limitados aos processos de tratamento dos resíduos, não incluindo assim todo o processo de recolha e transporte.

2.3 Biorresíduos

Os biorresíduos são resíduos biodegradáveis de espaços verdes, nomeadamente os de jardins, parques, campos desportivos, bem como os resíduos biodegradáveis alimentares e de cozinha das habitações, das unidades de fornecimento de refeições e de retalho e os resíduos similares das unidades de transformações de alimentos, como se pode verificar na Figura 12. (Fernandes et al., 2019)

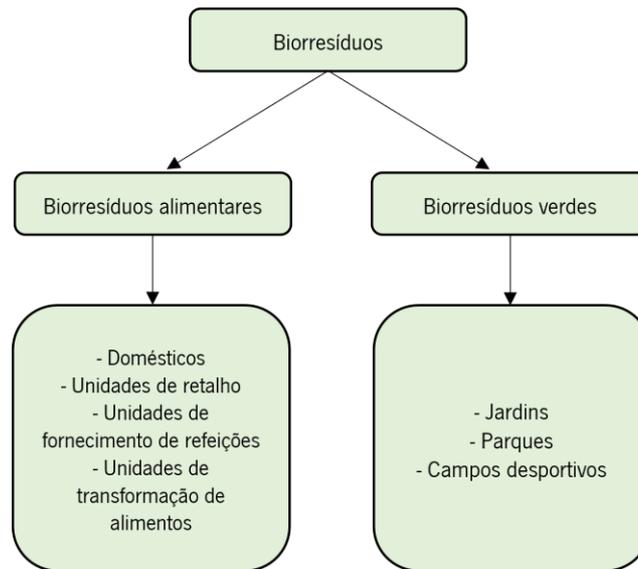


Figura 12 - Caracterização de biorresíduos (adaptado de (Fernandes et al., 2019))

Os biorresíduos representam uma grande quantidade de recursos que podem ser utilizados em novas aplicações. Numa bioeconomia circular, a reciclagem dos biorresíduos é uma estratégia crucial para otimizar o uso de biomassa existente, através, por um lado, dos processos eficientes de compostagem que produzem o composto que enriquece os solos com nutrientes e atua como um repositório de carbono e, por outro, a digestão anaeróbia que pode ser utilizada para a produção de energia. É por isso crucial a transição para uma recolha seletiva de biorresíduos, pois só desta forma será conseguida a recuperação dos produtos que resultam do seu tratamento. (D. República, 2020)

Os biorresíduos são o tipo de resíduo com maior taxa de degradação em aterro, isto é, é um tipo de matéria com alto índice de biodegradabilidade. Além disso, contém alto teor de carbono biológico, que, ao ser degradado, gera metano (CH_4) e dióxido carbono (CO_2) para atmosfera, ambos gases contribuidores para o efeito de estufa. (ARCADIS and EUNOMIA, 2010)

Em Portugal, de acordo com dados de 2019, os biorresíduos constituem cerca de 38% dos resíduos urbanos produzidos no continente, como se pode verificar na Figura 13.

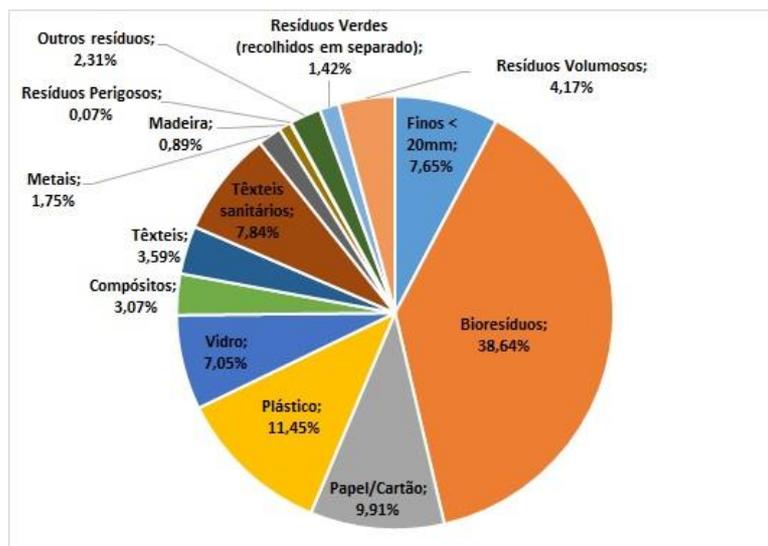


Figura 13 - Caracterização física dos RU produzidos em Portugal, 2019 (APA)

De forma simplificada, pode-se considerar que os biorresíduos compõem, em média, mais de um terço do “lixo comum” que tem como destino principal, como visto anteriormente, na Figura 2, o aterro.

Estudos recentes têm vindo a demonstrar que a gestão de resíduos orgânicos domésticos recolhidos separadamente e tratados por digestão anaeróbia, quando comparado com incineração ou o aterro, tem melhor desempenho ambiental e, apesar do custo/tonelada não ser o mais baixo, é a solução com maiores poupanças anuais. De facto, quando os biorresíduos são recolhidos de forma seletiva, e devidamente encaminhados para tratamento e valorização, podem ser geridos para aproveitar todo o potencial positivo, ambiental e económico. As razões são simples: (Ambiente & Ação Climática, 2020)

- Ao retirar os biorresíduos do lixo comum estamos a retirar a componente causadora dos gases de efeito de estufa pelos aterros, e a canalizar todo o seu potencial (material e gasoso) para sistemas totalmente independentes e fechados. Apesar de ser possível recolher o biogás do aterro, o potencial de valorização de uma instalação dedicada é muito superior;
- Desse tratamento podem ser extraídos vários produtos, sendo os mais importantes: 1) composto orgânico de qualidade superior; 2) biogás, que pode ser afinado para substituição direta de gás natural, servir como combustível para veículos a gás, ou para produção de eletricidade.

Na Figura 14 apresenta-se a Hierarquia de Resíduos, princípio a ter em conta no contexto da gestão dos biorresíduos. No topo, como comportamento prioritário encontra-se a Prevenção e Redução da produção de resíduos. De seguida, a Preparação para a Reutilização do resíduo, seguida da

Reciclagem, Outros Tipos de Valorização e, como menos prioritário, a Eliminação do resíduo. (APA, 2011)

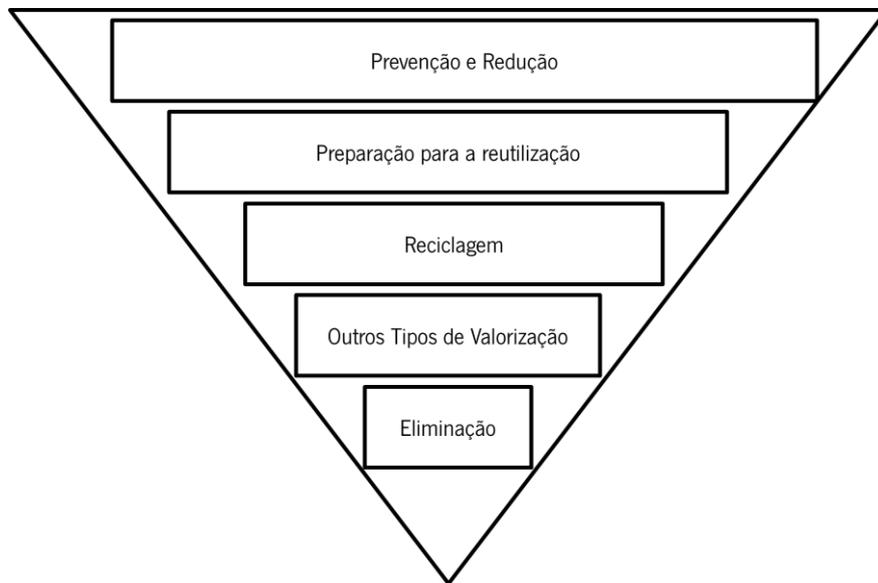


Figura 14 - Hierarquia de Gestão de Resíduos

Aplicado ao fluxo e gestão de biorresíduos, alinhado com as políticas da União Europeia (compostagem e digestão anaeróbia), a Figura 15 representa a Hierarquia de Gestão de Resíduos adaptada ao caso concreto dos biorresíduos.

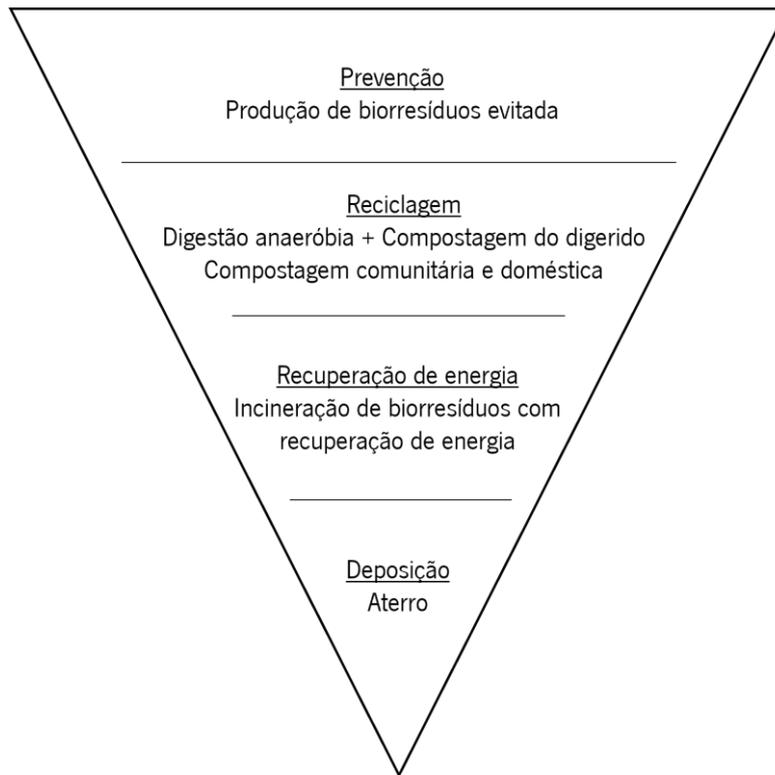


Figura 15 - Hierarquia dos resíduos aplicada ao fluxo específico dos biorresíduos (adaptado de (Fernandes et al., 2019))

2.3.1 Potencial dos biorresíduos

Estima-se que 39% dos resíduos urbanos produzidos sejam biorresíduos, incluindo os biorresíduos verdes recolhidos seletivamente. No entanto, em 2017, apenas 5% do potencial de biorresíduos (não inclui os resíduos verdes recolhidos seletivamente) foram objeto de recolha seletiva. (APA, 2018)

Devido às características urbanas dos territórios e de distribuição geográfica da população, cada região apresenta resultados distintos em relação ao modelo de potencial técnico de implementação de recolha seletiva de biorresíduos. (Fernandes et al., 2019)

Dado que os biorresíduos constituem um conceito novo na legislação, a maioria dos estudos diz respeito à gestão dos resíduos biodegradáveis. A diferença é que os biorresíduos não incluem o papel e apresentam um maior teor de humidade, que pode ter repercussões especialmente na comparação de opções que incluam o tratamento térmico dos resíduos. Na gestão dos resíduos biodegradáveis que são desviados dos aterros, parece não haver uma solução única que represente a melhor opção do ponto de vista ambiental. O balanço ambiental das várias opções disponíveis para a gestão destes resíduos depende de uma série de fatores locais, nomeadamente dos sistemas de recolha, da composição e qualidade dos resíduos, das condições climáticas e do potencial para a utilização de

vários produtos derivados dos resíduos, como a electricidade, o calor, o gás rico em metano ou o composto.

Foram realizados vários estudos baseados na avaliação do ciclo de vida, à escala nacional e regional, e, embora com resultados diferentes em função das condições locais, as constatações destes estudos têm em geral um denominador comum, nomeadamente que os benefícios do sistema de gestão de resíduos escolhido para os biorresíduos dependem significativamente dos seguintes aspectos:

- Quantidade de energia que pode ser recuperada;
- Fonte da energia que é substituída pela energia recuperada;
- Quantidade, qualidade e aplicação do composto reciclado e dos produtos que são substituídos pela utilização de composto;
- Perfil de emissão das instalações de tratamento biológico (Comissão das Comunidades Europeias, 2008)

Os biorresíduos alimentares, salvo exceções em alguns municípios, são recolhidos misturados com os resíduos indiferenciados. Por isso, a quantificação do potencial de biorresíduos para a recolha seletiva é feita com base na produção anual de resíduos indiferenciados e na composição física destes resíduos. (Silveira et al., 2021)

Para cada município deve ser feita uma análise técnica. O mapeamento do potencial de recolha seletiva de biorresíduos permite identificar os municípios, onde ser implementada uma estratégia de recolha se mostra viável. Para isso, deve ser tido em conta as seguintes variáveis:

- Biorresíduos recolhidos por via indiferenciada;
- Biorresíduos recolhidos por via indiferenciada à escala do concelho;
- Biorresíduos recolhidos por via indiferenciada à escala da freguesia;

A Tabela 2 mostra as variáveis tidas em conta para o desenvolvimento desse modelo, e apresentação do valor de algumas variáveis para o distrito de Viana do Castelo. Considerando a avaliação das variáveis (após implementação de recolha seletiva de biorresíduos alimentares), é possível estimar o potencial de recolha, tendo em conta a taxa de captura e utilizadores incorporados.

A projeção de 414 toneladas é conservadora e é o equivalente a cerca de 16% do potencial de biorresíduos alimentares produzidos nas áreas de abrangência do projeto de recolha seletiva em Viana do Castelo. (Formato Verde, 2021)(Fernandes et al., 2019)

Tabela 2 - Variáveis de caracterização do potencial de biorresíduos em Viana do Castelo

Variáveis Seleccionadas	Fonte	Escala	Ano de Referência	Unidade	Valor
Resíduos urbanos recolhidos por via indiferenciada	INE	Concelho	2019	ton/ano	33251
Caraterização física dos RI (% biorresíduos em RI)	SMVC	SGRU	2019	%	26,44
População residente	INE	Concelho	2019	Nº hab	84417
Potencial de biorresíduos alimentares domésticos	SMVC	Concelho	2019	ton/ano	2518
Recolha anual em 2020	SMVC	Concelho	2020	ton/ano	489
Projeção da recolha anual para 2021	SMVC	Concelho	2020	ton/ano	414

Considerando os valores projetados para 2021 e a capitação atual dos biorresíduos alimentares domésticos no âmbito do Projeto Viana Abraça (Recolha Seletiva), o valor de 414 toneladas foi utilizado para os cálculos de emissões projetadas para o ano de 2021.

2.4 Recolha de biorresíduos

Sendo a separação e reciclagem na origem e a recolha seletiva de biorresíduos uma responsabilidade municipal, compete aos municípios definir, seguindo critérios de custo eficazes, a melhor forma de os gerir, seja por si, ou contratando terceiros. É importante a realização de estudos para avaliar as melhores soluções e assegurar a racionalidade dos investimentos a realizar. (D. República, 2020)

Dado que os biorresíduos constituem um conceito novo na legislação, a maioria dos estudos diz respeito à gestão dos resíduos biodegradáveis. A diferença é que os biorresíduos não incluem o papel e apresentam um maior teor de humidade, que pode ter repercussões especialmente na comparação de opções que incluam o tratamento térmico dos resíduos. (Comissão das Comunidades Europeias, 2008)

Para isso, deve-se proceder a uma alteração de paradigma no que diz respeito à recolha seletiva de biorresíduos, de modo a desviar resíduos de aterro, e privilegiar a separação na fonte, surgindo assim novos sistemas de recolha seletiva alternativos.

Além disso, deve-se ter em atenção que a ausência de recolha seletiva dos biorresíduos alimentares constitui um modo de atuação que terá consequências: os biorresíduos, ao degradarem-se, causam maus-cheiros; a mistura com outros materiais (p.ex. embalagens, papel e cartão, têxteis), que muitos ainda colocam no lixo comum, contaminam e dificultam a separação nas linhas de triagem; e, acima de tudo, representam a perda de um recurso importante – nutrientes – que podiam ser encaminhados para os solos agrícolas e florestais nacionais. (Ambiente & Ação Climática, 2020)

2.4.1 Tipos de sistemas de recolha

Para os biorresíduos, os sistemas de recolha de biorresíduos podem ser implementados em sistemas de recolha conjunta ou separada, ou seja, recolha de resíduos verdes e/ou resíduos alimentares. Os modelos de recolha são normalmente classificados como sistemas de recolha porta-a-porta ou sistema de deposição em contentor de proximidade.

- Porta-a-porta: Modelo em que a recolha de resíduos é efetuada junto das habitações ou estabelecimentos comerciais. Com a implementação deste modelo, geralmente observa-se maior quantidade de biorresíduos recolhidos, menor grau de contaminação, menos espaço ocupado na via pública, horário mais restrito, e ainda a possibilidade de um controlo direto da qualidade a recolher. A Figura 16 mostra um exemplo de recolha porta-a-porta em Barcelona;



Figura 16 - Sistema de recolha porta-a-porta de resíduos orgânicos em Barcelona (ENT, 2021)

- Deposição em contentor de proximidade: Modelo em que a deposição de resíduos é feita em equipamentos de proximidade, situados na via pública, em pontos fixos e normalmente em zonas de fácil acesso. Através da implementação deste sistema, geralmente observa-se que a fração de biorresíduos recolhida é variável, maior contaminação, menor responsabilização/envolvimento do cidadão, horário mais flexível, e ainda que o controlo da

qualidade é feito indiretamente. Na Figura 17 está representado um contentor de proximidade do projeto Viana Abraça; (Fernandes et al., 2019)



Figura 17 - Exemplo de contentor de proximidade para resíduos orgânicos em Viana do Castelo (SMVC, 2019)

Para a implementação de cada um destes modelos de recolha, devem ser tidas em conta informações sobre a localidade, de modo a perceber qual é o modelo mais viável do ponto de vista económico, técnico e ambiental.

De seguida, na Tabela 3, são apresentados dois casos de estudo, um para cada modelo, referentes a países da Europa cujas características demográficas, climáticas e culturais são semelhantes às de Portugal. O sistema implementado na Catalunha (Espanha), de recolha seletiva de resíduos orgânicos é feita através de contentores da via pública ou através de recolha porta-a-porta, assim como, o sistema implementado em Milão (Itália), através da recolha porta-porta nas residências e estabelecimentos comerciais.

Tabela 3 - Casos de estudo de recolha seletiva de biorresíduos na Europa (adaptado de (Fernandes et al., 2019))

Caso de Estudo	Descrição	Taxa de captura de biorresíduos (%)
Milão (Itália)	Sistema de recolha porta-a-porta de biorresíduos domésticos na totalidade da área da cidade.	86% (2014) (apenas biorresíduos alimentares)
Catalunha (Espanha)	Sistema de contentores na via pública e recolha porta-a-a-porta.	51 % (2012)

Os sistemas de recolha porta-a-porta demonstram uma boa taxa de captura de biorresíduos, superior a um sistema misto, no entanto, devem ser enquadrados com sistemas *PAYT* ou *SAYT*.

2.4.2 Gestão de Resíduos no Município de Viana do Castelo

Integrado na NUT III Minho Lima, o Município de Viana do Castelo estende-se por uma superfície de 319,02 km², sendo constituído por 27 freguesias e uniões de freguesia. Com uma população de 87243 habitantes o Município apresenta uma densidade populacional relativamente elevada, de 279 habitantes/km², quando comparada com a densidade populacional média, de 108 hab/km², registada na sub-região Minho Lima, segundo dados do *INE*, para o período de referência 2013.

Enquanto entidade gestora em baixa, os SMVC garantem a recolha diária indiferenciada e o transporte de resíduos sólidos a 100% da população vianense, cobrindo a área total do Município e dessa forma perfazendo um total de cerca de 40 000 clientes no que respeita à gestão de resíduos urbanos.

Os RU e equiparados, recolhidos e transportados pelos SMVC, são posteriormente entregues à Resulima (entidade gestora em alta) mediante o pagamento de uma tarifa de gestão de resíduos pela deposição dos RU indiferenciados em aterro (7,88 €/tonelada), acrescida da taxa de gestão de resíduos (22 euros/tonelada), valores estes definidos para 2021. No entanto, conforme descrito no Decreto-Lei 102-D/2020, prevê-se um aumento gradual da taxa de gestão de resíduos nos próximos anos, de acordo com a seguinte Tabela 4. (Presidência do Conselho de Ministros, 2020)

Tabela 4 - Evolução prevista da TGR de acordo com o DL 102-D/2020 (Presidência do Conselho de Ministros, 2020)

Ano	2021	2022	2023	2024	2025
Valor da TGR (euros/tonelada de resíduos)	22,00	22,00	25,00	30,00	35,00

Os SMVC disponibilizam também aos munícipes um serviço auxiliar gratuito de recolha ao domicílio de REEE (Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrónicos), de “monstros” (objetos de grande volume) e de biorresíduos de espaços verdes. Uma má gestão dos RSU pode provocar malefícios na saúde pública através de agentes naturais, químicos e biológicos, bem como degradação e poluição do espaço público. (SMSBVC, 2016b)

Dados mais recentes, referentes ao ano de atividade de 2019, reportados à entidade reguladora, mostram os seguintes valores apresentados na Tabela 5. O ano 2019 coincidiu com o início do projeto Viana Abraça de recolha seletiva de biorresíduos alimentares.

Tabela 5 - Relatório de indicadores dos SMVC no ano de 2019 (adaptado de (RASARP, 2020))

	População	Resíduos urbanos recolhidos (ton/ano)	Contentores para deposição indiferenciada (nº)	RUB recolhidos seletivamente (ton/ano)
SMVC	84527	38944	1864	1122

Enquanto entidade em alta, a Resulima é responsável pelo tratamento dos resíduos urbanos do município de Viana do Castelo (entre outros) e responsável pela recolha seletiva multimaterial. Em 2019, registou os seguintes dados, apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Relatório de indicadores da Resulima em 2019 (adaptado de (RASARP, 2020))

	População (habitantes)	Resíduos urbanos recolhidos (ton/ano)	Resíduos urbanos depositados em aterro (ton/ano)	Energia vendida obtida por valorização energética (MWh)
Resulima	308553	140859	124996	11624

2.5 Destinos dos Resíduos Sólidos Urbanos

Os resíduos sólidos urbanos que são recolhidos nos municípios podem ter vários destinos e tipos de tratamento. A valorização orgânica dos resíduos é o melhor destino para resíduos recolhidos de forma seletiva, uma vez que o risco de contaminação da fração orgânica do lixo indiferenciado é elevado. Os principais aspetos a ter em conta são:

- Eliminação: qualquer operação que não seja de valorização, ainda que se verifique como consequência secundária a recuperação de substâncias ou de energia. Exemplos: deposição em aterro;
- Valorização: qualquer operação, cujo resultado principal seja a transformação dos resíduos de modo a servirem um fim útil, substituindo outros materiais que, caso contrário, teriam sido utilizados para um fim específico ou a preparação dos resíduos para esse fim na instalação ou conjunto da economia. Exemplos: compostagem, incineração quando a eficiência da instalação é superior a 60%;

- Tratamento: qualquer operação de valorização ou de eliminação de resíduos, incluindo a preparação prévia à valorização ou eliminação. (Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, 2011)

Em 2019, a deposição em aterro representa a maior fatia no que diz respeito ao destino final dos resíduos, seguido do tratamento mecânico e biológico, como pode ser visto na Figura 18.



Figura 18 - Destino final dos RU no ano de 2019 (Marçal & Ferreira, 2020)

Os destinos dos resíduos urbanos podem ser divididos em: valorização multimaterial, valorização energética, valorização orgânica e confinamento técnico (deposição em aterro).

Valorização multimaterial

Também conhecido por reciclagem, a valorização multimaterial consiste num processo de triagem e tratamento mecânico efetuado aos resíduos sólidos que são separados na origem, nos ecopontos destinados.

Após recolha seletiva, a unidade operacional receciona os resíduos devidamente separados nos ecopontos pela população. Na estação de receção é feita a triagem dos materiais, de modo a preparar para unidades de reciclagem. Por exemplo, a triagem das embalagens consiste na separação mais

rigorosa dos diferentes plásticos: PVC, PET, PEAD, filme plástico, tetrapack, EPS, entre outros, e pela separação do aço e alumínio. O papel e cartão são separados em cartão embalagem e papel não embalagem. No final, todo o material é prensado, enfardado e encaminhado para as respectivas indústrias recicladoras onde é devidamente processado e transformado em novos produtos.

O vidro é o único material que é entregue diretamente às indústrias, não sendo submetido a nenhum processo de triagem. Completa-se assim o ciclo da reciclagem, em que materiais usados vão ser utilizados para fabricar novos produtos a colocar no mercado. Este destino não se aplica ao caso concreto dos biorresíduos.

Valorização Energética

A valorização energética pode acontecer através de incineração dos resíduos, aproveitamento do biogás em aterro ou após tratamento biológico.

A incineração consiste na combustão controlada dos resíduos, ou seja, na recuperação da energia contida nos resíduos, mediante um processo térmico controlado, e na sua transformação em energia eléctrica. Esta operação é destinada aos resíduos sólidos urbanos que não apresentem potencialidades de valorização pelos processos de reciclagem orgânica e multimaterial. (LIPOR, 2009)

No caso concreto da Central de Valorização Energética da Lipor, conforme representado na Figura 19, os resíduos são depositados numa fossa de receção (A), transportados para linhas de tratamento (C) onde são queimados a elevadas temperaturas (1000 °C a 1200 °C). Deste processo de combustão, são libertados gases a elevadas temperaturas que passam por uma caldeira de recuperação de energia, onde o seu calor é aproveitado para a produção de vapor de água, posteriormente transformado em energia eléctrica. A central está ainda equipada com sistema de tratamento dos gases de combustão e unidade de inertização de cinzas.

Esquema do circuito da CVE



Figura 19 - Esquema do circuito da CVE da LIPOR (LIPOR, 2009)

A incineração de resíduos emite, maioritariamente, dióxido de carbono, fruto da presença de carbono de origem não biogénica nos resíduos incinerados (ex. fileiras de plásticos e têxteis sintéticos) e também, pequenas quantidades de metano e óxido nítrico. (INE, 2014)

No caso dos biorresíduos, a incineração não é o destino mais favorável, uma vez que, a eficiência na incineração está diretamente relacionada ao poder calorífico e humidade dos resíduos que são incinerados. Por sua vez, a percentagem de humidade dos biorresíduos é muito superior a outro tipo de resíduos, como se pode ver na Tabela 7, embora o carbono contido seja de origem não fóssil.

Tabela 7 - Valores típicos de humidade de certos materiais (ARCADIS and EUNOMIA, 2010)

	Papel	Têxteis	Plásticos densos	Biorresíduos alimentares
Percentagem de humidade (%)	10	19	10	70

A valorização energética está ainda presente em processos de digestão anaeróbia ou em aterro, onde é realizada a recuperação do biogás para produção de energia elétrica. Nos processos de digestão anaeróbia, normalmente efetuados em centrais de tratamento mecânico e biológico, os resíduos sólidos são pré-tratados e digeridos. Durante o processo, é produzido um composto e é gerado biogás, que é posteriormente e injetado na rede elétrica (ou utilizado também em auto-consumo).

Em aterro, a degradação da matéria orgânica atua da mesma maneira, sendo que, o biogás libertado (composto principalmente por CH₄ e CO₂) é, em parte, aproveitado para valorização energética, através da colocação de poços de captação de biogás dispostos pelo aterro. Esse biogás é sujeito a um pré-tratamento, antes de ser encaminhado para motores/motogeradores e ser produzida energia elétrica.

Valorização orgânica

A Valorização Orgânica consiste na utilização da fração orgânica contida nos resíduos para produção de composto (por via aeróbia – compostagem) ou para produção de biogás e composto (por via anaeróbia – digestão anaeróbia). Resultante do aproveitamento e tratamento da fração orgânica dos resíduos é produzido um composto orgânico para aplicação na agricultura. A valorização orgânica, além de possibilitar o aproveitamento material dos resíduos, permite incrementar a utilização de fertilizantes naturais em substituição dos fertilizantes químicos. (LIPOR, 2009)

A compostagem é um processo de tratamento de resíduos, onde a matéria é degradada biologicamente, com o fim de produzir um composto de alta qualidade. Durante a produção deste composto, são emitidos gases de efeito de estufa, tanto na degradação da matéria orgânica (CH₄), como no uso de eletricidade e combustível para a operação de maquinaria. Estas emissões no processo de compostagem dependem ainda da tecnologia utilizada (processo estático ou dinâmico, sistemas abertos ou fechados, presença de unidades de tratamento de gases. CO₂, CH₄, N₂O e amoníaco são exemplos dos gases emitidos durante a compostagem. Embora o amoníaco não seja considerado um gás de efeito de estufa, contribui para a formação de chuvas ácidas. Parte destes gases podem ser minimizados através de tecnologias de filtragem, como biofiltros, particularmente eficientes para redução dos níveis de amoníaco.

As centrais de compostagem são, por norma, constituídas por túneis de compostagem, estações de maturação, sistemas de digestão anaeróbia e estações de tratamento. Estas centrais de compostagem podem ser sistemas abertos ou fechados. Em sistemas abertos, os gases emitidos não são tratados, enquanto num sistema fechado, são tratados, levando a uma menor emissão de gases de efeito de estufa destas instalações.

As emissões geradas em instalações de tratamento biológico estão relacionadas com o tipo de tecnologia utilizada, tipo de resíduo tratado e condições operacionais da instalação.

A compostagem doméstica/comunitária é também uma ação de valorização orgânica, e é considerada a forma ecologicamente mais benéfica de tratamento dos resíduos biodegradáveis

domésticos, dado que permite poupanças nas emissões e nos custos de transporte, assegura o controlo cuidadoso dos consumos e aumenta a consciência ambiental dos utilizadores.

A Figura 20 revela a comparação entre os processos de digestão anaeróbia e compostagem industrial. Num processo de digestão anaeróbia, além da valorização energética do biogás emitido durante o processo, é também produzido um composto orgânico para aplicação nos solos.

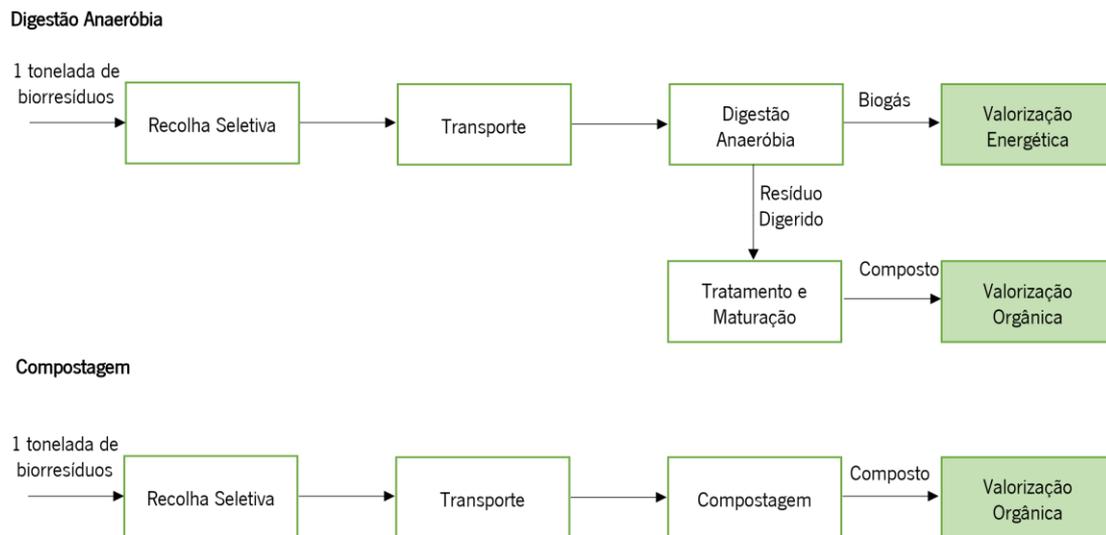


Figura 20 - Esquema representativo da comparação entre compostagem e digestão anaeróbia

Confinamento técnico (aterro sanitário)

O metano (CH_4) produzido em aterro contribui, aproximadamente, com 3 a 4% da percentagem anual de emissões de gases de efeito de estufa. No entanto, a recuperação de biogás em aterro contribui para redução de emissão de CH_4 . A Figura 21 mostra a evolução da composição do biogás em condições anaeróbias padrão, notando-se que o metano não é gerado logo após deposição dos resíduos em aterro. A decomposição de material orgânico derivado de biomassa (madeira e derivados) é a principal fonte de emissão de CO_2 (*carbon dioxide* na Figura 21) emitida pelos RSU. No entanto, estas emissões de CO_2 não são consideradas, uma vez que têm origem biogénica.

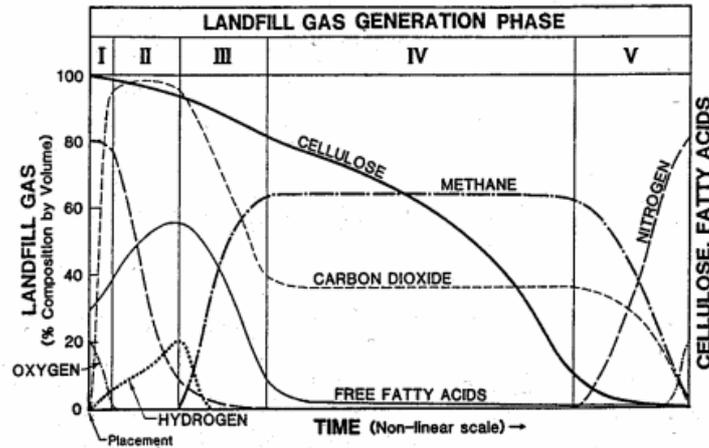


Figura 21 - Geração de biogás em condições anaeróbias (IPCC, 2006b)

Os resíduos biodegradáveis decompõem-se em aterros produzindo gases e lixiviados. O gás dos aterros, se não for captado, contribui consideravelmente para o efeito de estufa, dado ser principalmente constituído por metano. Antes da adoção da Diretiva Aterros, as emissões de metano dos aterros representavam 30% das emissões antropogénicas globais de metano para a atmosfera.

O lixiviado, se não for recolhido em conformidade com o estabelecido na Diretiva Aterros, pode contaminar as águas subterrâneas e os solos. Os aterros podem igualmente ser uma fonte de perturbações para as áreas limítrofes, dado gerarem bioaerossóis, odores e perturbações visuais. Contudo, outro impacto negativo da deposição em aterro é a superfície de terreno utilizada, que é maior que a necessária para outros métodos de gestão dos resíduos. (Conselho da União Europeia, 1999)

Não há praticamente nenhum aspeto positivo na deposição em aterro de resíduos biodegradáveis, com a possível exceção da produção de energia a partir do biogás gerado nos aterros. Além disso, a deposição em aterro significa a perda irrecuperável de recursos, pelo que, de médio a longo prazo, não deve ser considerada uma solução sustentável de gestão dos resíduos e não é a opção privilegiada. (Comissão das Comunidades Europeias, 2008)

2.6 Emissões na Gestão de Resíduos

A gestão de resíduos, desde a recolha até ao tratamento, implica a utilização de recursos humanos e recursos materiais. A recolha faz uso de viaturas movidas a combustível fóssil (gasóleo), o que implica emissões de gases de efeito de estufa durante a sua utilização. Após a recolha e transporte dos resíduos, a deposição em aterro e valorização orgânica implicam também emissões de gases de efeito

de estufa, principalmente CH_4 e CO_2 . O consumo de eletricidade das instalações administrativas das entidades responsáveis pela gestão de resíduos é também contabilizado como um fator contribuidor para emissão de gases de efeito de estufa.

Para além das emissões de GEE, são emitidos outros tipos de poluentes que contribuem com um impacto ambiental, eutrofização dos solos, saúde pública, entre outros. No entanto, apenas os gases de efeito de estufa são considerados para a vertente do aquecimento global, pelo que, os gases de efeito de estufa constituem o principal foco nesta análise.

2.6.1 Carbono biogénico

Um elemento-chave das emissões de gases de efeito de estufa proveniente das tecnologias de tratamento de resíduos é o CO_2 (fóssil e não-fóssil).

De acordo o *IPCC*, o CO_2 não-fóssil é considerado parte neutra do balanço carbónico, e, por consequência, não é considerado um contribuidor para as concentrações atmosféricas de CO_2 . Isto porque, o carbono não-fóssil é removido da atmosfera via fotossíntese e, em condições naturais, esse carbono seria re-circulado para a atmosfera enquanto CO_2 devido ao processo de degradação da matéria, como sugere a Figura 22 (European Environment Agency, 2020)

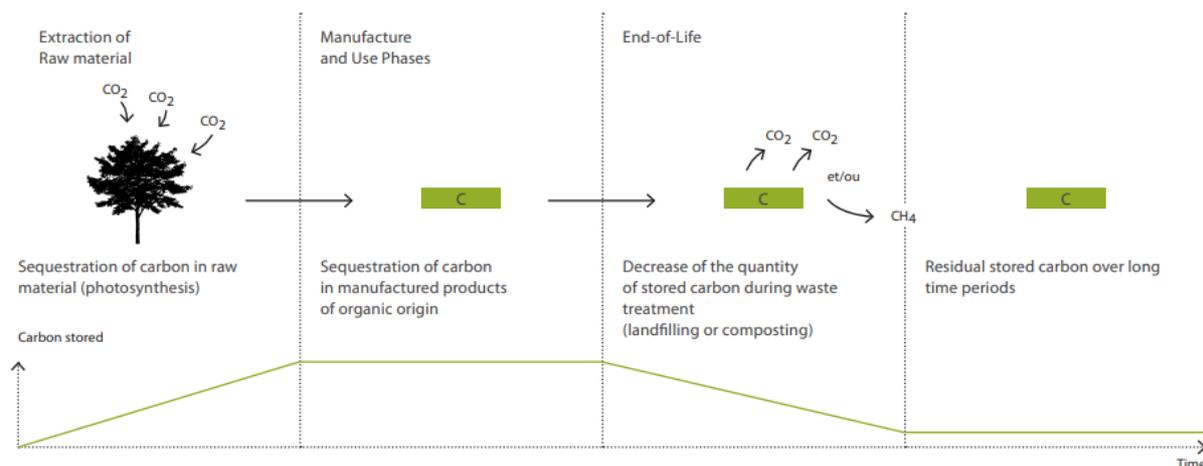


Figura 22 - Evolução do carbono orgânico com o tempo (Entreprises pour l'Environnement, 2010)

2.6.2 Emissões Diretas, Emissões Indiretas, Emissões evitadas

Emissões diretas de gases de efeito de estufa resultam dos processos ou equipamentos controlados pela entidade, como é o exemplo na frota relativa à recolha de resíduos, emissões difusas em aterro, ou instalações que utilizam combustão enquanto fonte de energia.

Emissões indiretas são emissões que são consequência de atividade das entidades de gestão de resíduos, no entanto, controladas por outra organização. Por exemplo, emissões relativas a consumos de eletricidade ou unidades de aquecimento. Emissões evitadas correspondem às atividades de tratamento de resíduos que recuperam matéria-prima ou combustível (biogás por exemplo), ou aplicação do fertilizante nos solos. Uma síntese destas emissões é feita na Tabela 8.

Tabela 8 - Síntese das fontes diretas e indiretas nas atividades de gestão de resíduos (adaptado de (Entreprises pour l'Environnement, 2010))

Atividade	Fonte de emissões diretas	Fonte de emissões indiretas	Emissões evitadas	Fonte de emissão de CO ₂ biogénico
Transporte e Recolha	- CO ₂ da combustão - HFC presente na fuga de ar condicionados	- CO ₂ de veículos elétricos e transportes externos	N.A	- CO ₂ proveniente de biomassa (bio-combustíveis)
Transferência	- CO ₂ da combustão	- CO ₂ de consumo de eletricidade	N.A	- CO ₂ proveniente de biomassa (bio-combustíveis)
Tratamento mecânico	- CO ₂ da combustão	- CO ₂ de consumo de eletricidade	N.A	- CO ₂ proveniente de biomassa (bio-combustíveis)
Reciclagem	- CO ₂ da combustão - HFC vindo do desmantelamento de REEE	- CO ₂ de consumo de eletricidade	- GEE evitados na reciclagem	- CO ₂ proveniente de biomassa (bio-combustíveis)
Tratamento físico químico	- CO ₂ da combustão	- CO ₂ de consumo de eletricidade	- GEE evitados pelo uso de combustível alternativo	- CO ₂ proveniente de biomassa (bio-combustíveis)
Tratamento biológico (compostagem)	- CO ₂ da combustão - CH ₄ e N ₂ O durante o processo	- CO ₂ de consumo de eletricidade	- GEE evitados pelo uso de combustível alternativo	- CO ₂ proveniente de biomassa (bio-combustíveis) - CO ₂ durante processo
Tratamento biológico (digestão anaeróbia)	- CO ₂ da combustão - CH ₄ e N ₂ O durante o processo	- CO ₂ de consumo de eletricidade	- GEE evitados pela recuperação de biogás e produção de energia	- CO ₂ proveniente de biomassa (bio-combustíveis) - CO ₂ durante processo - CO ₂ da combustão do biogás
Aterro	- CO ₂ da combustão - Emissões difusas de CH ₄ - CH ₄ da combustão incompleta do biogás	- CO ₂ de consumo de eletricidade	- GEE evitados pela recuperação de biogás e produção de energia	- CO ₂ proveniente de biomassa (bio-combustíveis) - Emissões difusas de CO ₂ e oxidação de CH ₄ - CO ₂ da combustão do biogás
Tratamento térmico	- CO ₂ da combustão - N ₂ O durante o processo - CO ₂ no processo (percentagem de carbono fóssil dos resíduos)	- CO ₂ de consumo de eletricidade	- GEE evitados pela recuperação de biogás e produção de energia - GEE evitados na reutilização dos resíduos	- CO ₂ proveniente de biomassa (bio-combustíveis) - CO ₂ durante processo (percentagem de carbono biogénico)
Tratamento Mecânico e Biológico	- CO ₂ da combustão - CH ₄ e N ₂ O durante o processo	- CO ₂ de consumo de eletricidade	- GEE evitados pela recuperação de biogás e produção de energia - GEE evitados na reutilização dos resíduos	- CO ₂ proveniente de biomassa (bio-combustíveis) - CO ₂ durante processo

Por análise da tabela anterior, é possível perceber quais os gases de efeito de estufa presentes em cada fase do processo de recolha, transporte e tratamento dos resíduos urbanos. É possível ainda destacar oportunidades nas diferentes alternativas de tratamento de resíduos, como as centrais de tratamento biológico, quer por compostagem industrial, quer por digestão anaeróbia e produção de um composto aplicável aos solos.

2.7 Enquadramento legal e estratégico

Portugal aderiu à União Europeia em 1986, enquadrando leis no que diz respeito a várias áreas, tal como o ambiente, de modo a cumprir metas estabelecidas pela EU.

Em 26 de abril de 1999, surge a primeira peça legislativa, a Diretiva 1999/31/CE (Diretiva Aterro), a lidar diretamente com o desafio da gestão dos resíduos biodegradáveis, tendo como principais objetivos a redução da deposição dos resíduos em aterro a fim de reduzir a produção de metano e, conseqüentemente, o efeito do aquecimento global. (Fernandes et al., 2019) (Conselho da União Europeia, 1999)

Em 2003, foi publicada a Estratégia Nacional para a Redução dos Resíduos Urbanos Biodegradáveis Destinados aos Aterros (ENRRUBDA) que promovia a reciclagem de resíduos orgânicos e definia metas de recolha seletiva de resíduos alimentares e de jardim de modo a dar cumprimento à meta prevista na Diretiva Aterros de 1999. Esta estratégia apontava para a construção de novas unidades de valorização orgânica e otimização de unidades já existentes e produção gradual de compostos a partir de resíduos biodegradáveis recolhidos seletivamente, de forma a garantir a qualidade do composto. No entanto, a ENRRUBDA teve uma fraca implementação dados os custos necessários para a sua implementação, que seriam demasiado elevados face à situação económica do país, tendo-se evoluído para um modelo baseado em unidades de Tratamento Mecânico e Biológico (TMB). (Fernandes et al., 2019)

Em 2008, surge a Diretiva Quadro de Resíduos (DQR), reforçando assim a política de resíduos, assim como reduzir os impactos adversos decorrentes da produção e gestão de resíduos. Em 2009, o Decreto-Lei n.º 183/2009 introduz alterações e atualizações, fixando-se assim os seguintes objetivos:

- a) Até julho de 2013 os resíduos urbanos biodegradáveis destinados a aterro devem ser reduzidos para 50% da quantidade total, em peso, dos resíduos urbanos biodegradáveis produzidos em 1995;

- b) Até julho de 2020 os resíduos urbanos biodegradáveis destinados a aterro devem ser reduzidos para 35% da quantidade total, em peso, dos resíduos urbanos biodegradáveis produzidos em 1995. (Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, 2009)

A 17 de junho, o Decreto-Lei nº 73/2011 transpõe a DQR e estabelece o Regime Geral de Gestão de Resíduos em Portugal. Estabelece a definição dos diferentes tipos de fluxos de resíduos e quais as operações intrínsecas à gestão de resíduos (recolha, transporte, valorização e eliminação). Na Tabela 9 mostra a evolução da legislação desde 1997. (Fernandes et al., 2019)

Tabela 9 - Evolução da legislação até 2020

Legislação	Ano
Decreto-Lei nº239/97	1997
Diretiva Aterros 1999/31/CE	1999
ENRRUBDA	2003
Decreto-Lei nº178/2006	2006
Diretiva Quadro de Resíduos	2008
Decreto-Lei nº183/2009	2009
Decreto-Lei nº73/2011	2011
Decreto-Lei nº103/2015	2015
Diretiva 2018/851	2018
Decreto-Lei nº 102-D/2020	2020

O Decreto-Lei nº102-D/2020 entra em vigor a 15 de dezembro de 2020, no entanto, apenas passa a produzir efeitos a 1 de julho de 2021. O documento atualiza o regime de gestão de fluxos específicos de resíduos e aprova o Novo Regime Geral da Gestão de Resíduos (RGGR), assim como o Novo Regime da Deposição de Resíduos em Aterro. Impõe ainda a separação na origem de biorresíduos provenientes de atividades da restauração e industrial. São impostas ainda obrigações de desvio de aterro de resíduos urbanos biodegradáveis, proibindo-se a deposição em aterro de quaisquer resíduos biodegradáveis a partir de 2026; (Presidência do Conselho de Ministros, 2020)

Foi objeto de apreciação a 10 de agosto de 2021, estabelecendo novas diretrizes, inclusive para o caso dos biorresíduos. (A. da República, 2021)

2.8 Panorama Europeu / Panorama nacional de biorresíduos

A nível europeu, Portugal, compromete-se com a Comissão Europeia, a cumprir as novas regras de gestão de resíduos, entre elas, a obrigatoriedade de recolha seletiva de biorresíduos (a partir de 2024) e outros objetivos estabelecidos para a reciclagem, visando a promoção da hierarquia de resíduos e a redução da quantidade de resíduos urbanos a depositar em aterro. (APA, 2018)

Foram ainda estabelecidos requisitos mínimos aplicáveis a todos os regimes de Responsabilidade Alargada do Produtor (RAP), definindo novas responsabilidades.(APA, 2018)

Até junho de 2021, a Comissão pretende analisar e reavaliar todos os instrumentos políticos relacionados com a adaptação e mitigação das alterações climáticas, também com o propósito de traduzir, de modo claro, justo e efetivo, o verdadeiro custo do carbono na economia, nomeadamente pela internalização dessa externalidade ambiental no preço dos produtos.

Até ao final de 2021 é urgente desenvolver as medidas necessárias para assegurar que os biorresíduos são objeto de valorização, incluindo o âmbito material e geográfico abrangido pela recolha seletiva, e as eventuais derrogações que sejam necessárias, para que no final de 2023 Portugal cumpra o objetivo de uma rede de recolha seletiva de biorresíduos de forma abrangente. (Ambiente & Ação Climática, 2020)

Em suma, sendo Portugal um Estado Membro, vê-se obrigado a cumprir as alterações realizadas resultantes da Diretiva (UE) 2018/851 do Parlamento Europeu. Essas medidas encontram-se descritas na Tabela 10.

Tabela 10 - Medidas no que diz respeito aos biorresíduos (adaptado de (APA, 2018) (Comissão Europeia, 2018))

A Nível Europeu	
Estados Membros devem assegurar que os biorresíduos são separados e reciclados na origem, ou são recolhidos seletivamente e não são misturados com outros tipos de resíduos.	Até 31 de dezembro de 2023
Estados Membros devem tomar medidas para incentivar a reciclagem, incluindo a compostagem e a digestão de biorresíduos de modo a satisfazer um elevado nível de proteção ambiental e a obter como resultado um produto que cumpra os elevados padrões de qualidade aplicáveis e incentivar a compostagem doméstica.	-
Estados Membros devem assegurar que os biorresíduos que foram recolhidos seletivamente não são incinerados.	-

Só são contabilizados como reciclados os biorresíduos urbanos que entram no tratamento aeróbio ou anaeróbio se tiverem sido objeto de recolha seletiva ou de separação na fonte.	A partir de 1 de janeiro de 2027
A Nível Nacional	
Alargamento dos sistemas de recolha porta-a-porta de biorresíduos	2019-2023
Promoção de novos processos de tratamento para os biorresíduos que estimulem o desenvolvimento de novos mercados	2019-2023
Avaliação e definição dos termos em que a gestão dos biorresíduos urbanos contribui para a Estratégia do Biometano	2019
Promoção de soluções locais (de compostagem doméstica e comunitária)	2019-2023
Adequação das infraestruturas de tratamento à recolha seletiva de biorresíduos, incluindo a adaptação tecnológica das TM e TMB existentes	2024-2027
Promoção de acordos voluntários com Associações representativas do setor HORECA estabelecendo medidas prioritárias de recolha seletiva de biorresíduos	2019-2020
Apoio a medidas de promoção da Estratégia de redução do desperdício alimentar	2019-2021
Elaboração de Plano nacional de comunicação e sensibilização	Anualmente

Foi ainda criada uma Estratégia para os Biorresíduos que se intercala com as medidas na Tabela 10, levada a cabo pela Secretaria de Estado do Ambiente e o Ministério do Ambiente e da Ação Climática. Esta estratégia tem como objetivos garantir a transição para a recolha seletiva de biorresíduos e a utilização da capacidade instalada de compostagem e de digestão anaeróbia, substituindo-se progressivamente as origens de recolha indiferenciada; promover a utilização do composto resultante da valorização de biorresíduos; promover a instalação de equipamentos que permitam a recuperação do biogás proveniente das instalações de digestão anaeróbia. (Ambiente & Ação Climática, 2020)

Inclui medidas orientadas para assegurar a recolha e o tratamento dos biorresíduos, para melhorar o quadro regulamentar e para garantir incentivos à sua implementação.

O salto quantitativo e qualitativo exigido pela recolha seletiva de biorresíduos, valorização e uso dos produtos gerados é um desafio substancial com um prazo muito curto, mas com vários impactos positivos, diretos e indiretos:

- Redução de quantidades de resíduos depositados em aterro por via indireta;
- Redução dos odores nos aterros
- Melhoria da qualidade dos materiais triados nas linhas mecânicas;
- Produtos com alto valor acrescentado (composto, corretor orgânico, gás);
- Empregos verdes;
- Envolvimento da comunidade (compostagem doméstica e comunitária, agricultura familiar);
- Redução da importação de matérias-primas para a agricultura;
- Melhoria da qualidade do solo (retenção de água, nutrientes, carbono).

2.9 PERSU 2020 e PERSU 2020+

PERSU é a sigla para Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos e foi aprovado (PERSU I) em 1997, configurando um instrumento de planeamento de referência na área dos resíduos urbanos (RU), que proporcionou a implementação de um conjunto de ações que se revelaram fundamentais na concretização da política de resíduos urbanos na altura preconizada. (APA, 2021a)

Para o período de 2007-2016 foi aprovado o PERSU II, que reviu a Estratégia Nacional de Redução dos Resíduos Urbanos Biodegradáveis destinados aos aterros e teve como principais objetivos a diminuição de deposição dos resíduos em aterro e o aumento da reciclagem.

Para o período de 2014-2020, foi aprovado o PERSU 2020, que mantém o objetivo de garantir um alto nível de proteção ambiental e da saúde através do uso de processos, tecnologias e infraestruturas adequadas. O PERSU define a política, orientações e prioridades para os resíduos urbanos, geridos no âmbito dos sistemas de gestão de resíduos urbanos.

No PERSU 2020, foram definidas as seguintes metas nacionais a cumprir até 2020: (Ministério do Ambiente, 2014)

- Prevenção de resíduos: Até 31 de dezembro de 2020, alcançar uma redução mínima da produção de resíduos por habitante de 10%, em peso, relativamente ao valor verificado em 2012 (456 kg/(hab.ano));

- Preparação para reutilização e reciclagem: Até 31 de dezembro de 2020, aumentar para um mínimo global de 50%, em peso, a preparação para a reutilização e reciclagem de resíduos urbanos incluindo o papel, o cartão, o plástico, o vidro, o metal, a madeira e os resíduos urbanos biodegradáveis;
- Reciclagem de resíduos de embalagens: Até 31 de dezembro de 2020 deverá ser garantida, a nível nacional, a reciclagem de, no mínimo, 70%, em peso dos resíduos de embalagens;
- Redução da deposição de RUB em aterro: Até julho de 2020, os resíduos urbanos biodegradáveis destinados a aterro devem ser reduzidos para 35% da quantidade total, em peso, dos resíduos urbanos biodegradáveis produzidos em 1995.

Além disso, foram aprovadas algumas medidas:

- Prevenção da produção e perigosidade dos RU;
- Aumento da preparação para reutilização, da reciclagem e da qualidade dos recicláveis;
- Redução da deposição de RU em aterro;
- Valorização económica e escoamento dos recicláveis e outros materiais do tratamento dos RU;
- Reforço dos instrumentos económico-financeiros;
- Incremento da eficácia e capacidade institucional e operacional do setor;
- Reforço da investigação, do desenvolvimento tecnológico, da inovação e da internacionalização do setor;
- Aumento do contributo do setor para outras estratégias e planos nacionais

Para o horizonte temporal até 2025, foi criado o PERSU 2020+, que apresenta novas medidas no que diz respeito aos resíduos urbanos, apresentado na Tabela 11. (APA, 2018)

Tabela 11 - Novas medidas no que respeita os biorresíduos (APA, 2018)

Tema	Prazo de Implementação	Entidade Responsável
Alargamento dos sistemas de recolha porta-a-porta de biorresíduos	2019-2023	Municípios
Promoção de novos processos de tratamento para os biorresíduos que estimulem o desenvolvimento de novos mercados	2019-2023	APA

Avaliação e definição dos termos em que a gestão dos biorresíduos urbanos contribui para a Estratégia do Biometano	2019	APA
Promoção de soluções locais (de compostagem doméstica e comunitária)	2019-2023	Municípios
Adequação das infraestruturas de tratamento à recolha seletiva de biorresíduos, incluindo a adaptação tecnológica das TM e TMB existentes	2024-2027	SGRU
Promoção de acordos voluntários com Associações representativas do setor HORECA estabelecendo medidas prioritárias de recolha seletiva de biorresíduos	2019-2020	Municípios
Apoio a medidas de promoção da Estratégia de redução do desperdício alimentar	2019-2021	SGRU
Elaboração de Plano nacional de comunicação e sensibilização	Anualmente	APA

O PERSU2020+ apresenta as linhas gerais do alinhamento que é necessário introduzir ao Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos 2020 com vista a corrigir a presente trajetória e projetar o esforço na concretização das novas metas estabelecidas, no período até 2025.

2.10 Projeto Viana Abraça

Entre 2009 e 2013, registou-se uma redução da quantidade de resíduos urbanos (RU) produzidos no Município de Viana do Castelo, à semelhança do cenário evolutivo nacional (referido anteriormente). Em 2013, com base na população residente no mesmo ano, calcula-se que a capitação de RU produzidos no município foram de 431 kg/hab.ano, face aos 439 kg/hab.ano de Portugal Continental. (SMSBVC, 2016a)

No ano de 2014, verificou-se um agravamento das quantidades produzidas, assim como a quantidade de RU depositados em aterro (um acréscimo de 125 toneladas). (SMSBVC, 2016a)

Posto isto, os SMVC, entidade responsável pela recolha e transporte de resíduos, constituiu uma candidatura ao Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (POSEUR), com o objetivo de incrementar a valorização orgânica de resíduos no município de Viana do Castelo, com início no ano de 2016. (SMVC, 2021b)

A Figura 23 mostra um exemplo de um cartaz do projeto Viana Abraça, ainda com a denominação dos SMBVC.



Figura 23 – Exemplo de um cartaz promocional do projeto Viana Abraça (SMVC, 2019)

O projeto, além do objetivo de incrementar a valorização orgânica de resíduos, tem constituídos objetivos concretos:

- Constituição da rede urbana de 480 unidades de deposição coletiva de biorresíduos alimentares;
- Distribuição de 22000 contentores domésticos para biorresíduos alimentares com sensor RFID;
- Aquisição de 2 viaturas de carga lateral para a recolha de biorresíduos alimentares;
- Distribuição de 7500 kits de compostagem doméstica;
- Implementação da tecnologia de utilização e gestão da rede urbana de biorresíduos alimentares no quadro do PAYT.

Como objetivos imateriais da operação, constituem:

- Estudo e definição do modelo PAYT e de outras políticas de incentivo;
- Sensibilização e educação ambiental para a separação de biorresíduos alimentares no perímetro urbano;

- Sensibilização e educação ambiental para a adesão à compostagem doméstica no perímetro extraurbano. (SMVC, 2021a)

A Tabela 12 refere as infraestruturas e equipamentos dos Serviços Municipais, no que diz respeito à recolha, transporte e deposição de resíduos, à data de 2014, antes do início do projeto.

Tabela 12 - Infraestruturas e equipamentos dos SMVC em 2014 (Formato Verde, 2021)

Infraestruturas e equipamentos associados à gestão de RU (2014)	
Infraestruturas de descarga de RU (contentores)	1898
Infraestruturas de descarga de RU (ecopontos)	448
Circuitos de recolha e transporte de RU	10
Circuitos de recolha e transporte de RU para valorização	3
Viaturas de recolha e transporte	12

Os RUB seletivamente recolhidos são encaminhados para valorização, (i) no âmbito de parceria estabelecida com um operador licenciado - LIPOR (na Central de Valorização Orgânica situada em Baguim do Monte) -, como tem vindo a suceder desde 2010 no quadro do desenvolvimento do projeto de recolha seletiva de RUB alimentares em grandes produtores do perímetro urbano do Município.

A RESULIMA também coopera neste sentido, tendo um acordo de parceria assinado. Estaria prevista para 2017 a entrada em funcionamento da Unidade de Confinamento, Preparação e Tratamento (UCPT) de Paradela, a construir no concelho de Barcelos pela RESULIMA, onde, na unidade de Tratamento Mecânico e Biológico (TMB) se procederia à referida valorização orgânica (com produção de composto) e (estima-se) energética do biogás produzido na digestão anaeróbia da linha de tratamento biológico. No entanto, a unidade de Paradela, só iniciará atividade em 2022. Posto isto, a Resulima coopera com o projeto, dispondo de um contentor para deposição temporária dos biorresíduos alimentares no aterro de Vila Fria, para posterior reencaminhamento para a Lipor (por parte dos SMVC), como é feito desde o início da recolha seletiva dos biorresíduos alimentares ligados ao canal HORECA.

2.10.1 Projeto/memória descritiva da operação

A operação vertida na candidatura referente ao Projeto Viana Abraça configura um investimento que objetiva o incremento da valorização orgânica de resíduos, através da (i) implementação de um sistema de recolha seletiva PAYT de biorresíduos alimentares (RUB alimentares), no perímetro urbano do

Município, e da (ii) promoção da compostagem doméstica, no perímetro extraurbano. Assim, a designação da operação consiste na “Implementação de um sistema de recolha seletiva PAYT de RUB e promoção da compostagem doméstica”. (SMSBVC, 2016a)

A Tabela 13 configura uma síntese dos recursos alocados à operação.

Tabela 13 - Síntese das componentes e ações da operação (SMSBVC, 2016a)

Síntese das componentes e ações da operação	
Ação 1	Equipamentos de deposição seletiva de RUB (2200 lts)
Ação 2	Viatura de recolha RSU por carga lateral (25 m³)
Ação 3	Kits Compostagem com impressão incluída
Ação 4	Implementação do sistema Gestão RUB
Ação 5	Contentor doméstico para RUB de 10 l com impressão incluída
Ação 6	Ação de sensibilização e educação ambiental para a separação de RUB Campanha de comunicação e sensibilização Organização, gestão e acompanhamento da ação "comemoração dia da compostagem".
Ação 7	Ação de sensibilização e educação ambiental para a separação de RUB na zona Rural
Ação 8	Acompanhamento do sistema PAYT (<i>Software Payt Management System</i> ; Assistência técnica e Comunicações)
Ação 9	Cálculo dos indicadores de realização e de resultado
Ação 10	NUDGE resíduos alimentares
Ação 11	Análise Financeira (EVEF) + ACB
Ação 12	Estudo Mecanismo Financeiro PAYT
Ação 13	Plano de Comunicação

A Operação congrega, desta forma, investimentos dirigidos a montante da cadeia de valor da gestão de resíduos, desonerando as tecnologias de fim de linha do sistema de gestão de resíduos em alta e em baixa quanto a operações de recolha e tratamento, respetivamente; bem como investimentos em tecnologias de captação seletiva do fluxo de resíduos valorizável com a fração mais representativa dos RI atualmente destinados a aterro: RUB. A Operação preconiza, assim, os três níveis fundamentais da hierarquia da gestão de resíduos definida na DQR: prevenir, reciclar, valorizar. (SMSBVC, 2016b)

Em 2014, verificou-se ainda a consolidação da recolha de RUB, no âmbito de uma parceria iniciada em 2010 com os estabelecimentos de ensino (31), instituições sem fins lucrativos (9) e posteriormente alargada aos estabelecimentos de restauração e bebidas e frutarias (75), que permitiu o desvio de aterro de 563,88 toneladas de resíduos biodegradáveis, e posterior encaminhamento para valorização orgânica.

2.10.2 Compostagem doméstica

Como referido no capítulo 2.10.1, o Projeto Viana Abraça possui dois eixos de intervenção: Zona Rural e Zona Urbana. A zona urbana diz respeito à rede de recolha seletiva de biorresíduos alimentares, através da colocação de contentores na via pública e distribuição de equipamentos domésticos à população. Por outro lado, na zona rural foram distribuídos e instalados kits de compostagem doméstica à população, representado na Figura 24.



Figura 24 - Kit de compostagem distribuído à população da zona rural (SMVC, 2019)

A compostagem doméstica registou uma taxa global de adesão de 83% ao projeto, sendo que os utilizadores captados são acompanhados por uma equipa de monitorização, de modo a fomentar o compromisso com as práticas de compostagem doméstica, assim como garantir a sua eficácia. Os compostores domésticos foram distribuídos com um maior foco na zona rural da cidade (como se pode verificar na Figura 25), ou em vivendas, consoante a preferência do utilizador, durante a ação de sensibilização.

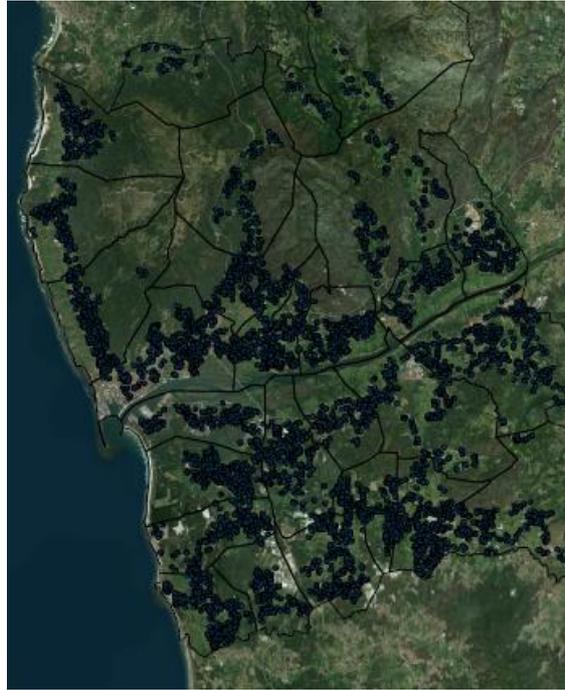


Figura 25 - Distribuição geográfica dos utilizadores da compostagem doméstica do Projeto Viana Abraça (SMVC, 2020a)

O potencial de reciclagem na fonte instalado com o projeto Viana Abraça – Compostagem Doméstica permite captar entre 1510 e 2151 toneladas de biorresíduos por ano, e consequentemente, desviar de aterro essa quantidade de biorresíduos. O estudo da eficiência da captação de biorresíduos introduzido com o projeto sustenta uma taxa de captura de 50 a 72% dos biorresíduos produzidos, tratando-se de uma eficiência enquadrada no intervalo de resultados obtidos em programas semelhantes, segundo a literatura existente. (SMVC, 2020a)

2.10.3 Estado de Cumprimento de Metas e Objetivos

No que diz respeito ao cumprimento das metas e objetivos definidos no PERSU2020 para o município de Viana do Castelo, através da estratégia municipal de gestão de resíduos sólidos urbanos, vertida no PAPERSU para o período de 2015-2020 e publicação do Despacho n.º 3350/2015 foram estabelecidas metas para 2020, para cada SGRU de Portugal.

No que diz respeito à deposição de RUB em aterro, a meta para 2020 para a Resulima, situava-se nos 10%. Como meta mínima de preparação para reutilização e reciclagem, para a Resulima, foi estabelecido o valor de 80%. Por fim, como meta de retomas de recolha seletiva, o valor de 45 (kg per capita por ano). (Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e Energia, 2015)

Como se pode verificar na Figura 26, apenas a meta de retomas de embalagens de recolha seletiva se encontra em estado de cumprimento, ficando 1% aquém da meta em questão. A Preparação para

Reutilização e Reciclagem, bem como RUB depositados em Aterro, demonstram valores bem inferiores às metas em vigor, para o ano de 2020. No entanto, em 2021, com a entrada em funcionamento da Unidade de Confinamento, Preparação e Tratamento de Parabela, a Resulima refere estar preparada para cumprir esses dois objetivos. (Resulima, 2020)

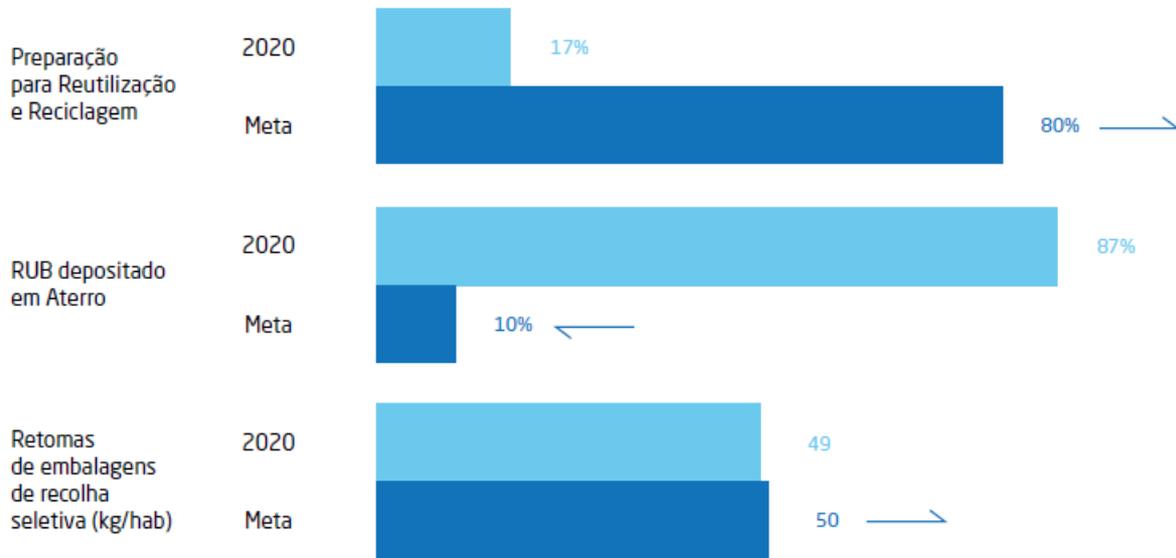


Figura 26 - Estado de cumprimento de metas PERSU2020 para a Resulima (Resulima, 2020)

Relativamente à recolha de resíduos no município de Viana do Castelo, como se pode verificar na figura 27, desde 2009, registou-se o início da recolha seletiva de biorresíduos (alimentares e verdes), justificado pelo estabelecimento de contratos de recolha de biorresíduos alimentares no canal HORECA, e recolha seletiva de resíduos verdes, por parte dos SMVC. Em 2018, iniciou-se a recolha porta-a-porta de biorresíduos alimentares (PaP) através do Projeto Viana Abraça. Em 2020, registou-se uma quebra devido à pandemia do covid-19, como é indicado na Figura 27.

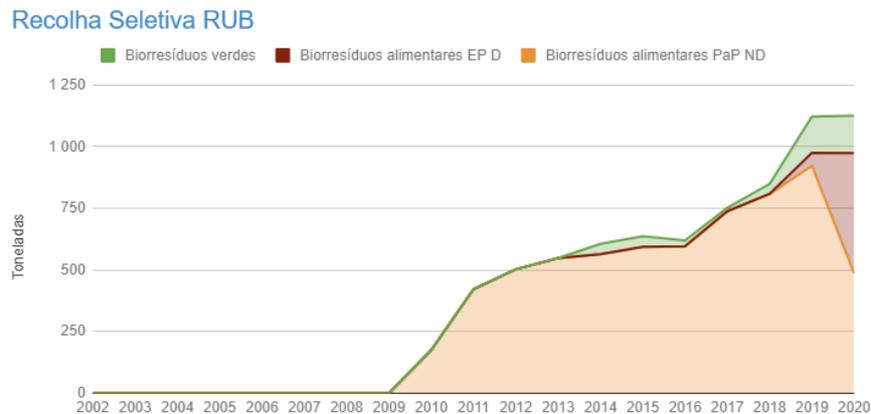


Figura 27 - Recolha seletiva dos RUB pelos SMVC (SMVC, 2019)

Um outro dado indicador presente no Relatório Final da Atividade do Projeto Viana Abraça, no que diz respeito à vertente da recolha seletiva, é possível perceber a eficiência do transporte na recolha dos biorresíduos face aos quilómetros percorridos, como se pode ver na Figura 28.

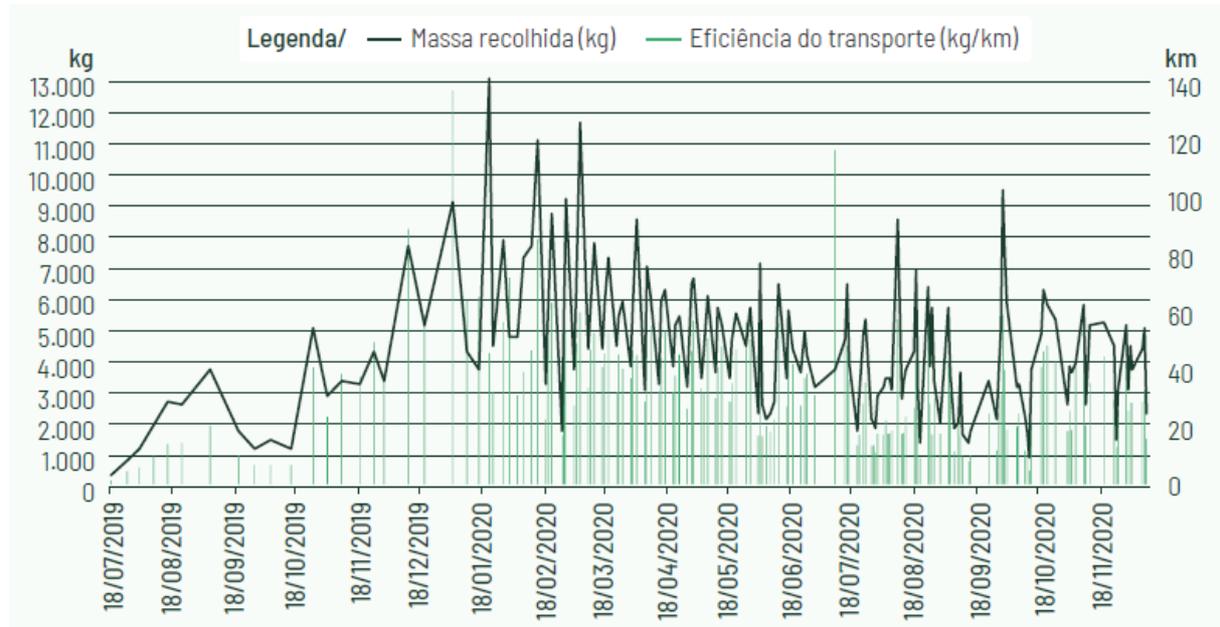


Figura 28 - Eficiência de transporte entre julho de 2019 e novembro de 2020 (Formato Verde, 2021)

Nota-se picos de eficiência, correspondente aos circuitos do centro da cidade, com maior concentração de contentores por quilómetro, resultando num maior número de contentores recolhidos e, conseqüentemente, biorresíduos transportados.

2.10.4 Análise SWOT do Projeto Viana Abraça

Uma análise SWOT permite identificar as principais forças e oportunidades do projeto, bem como principais fraquezas e ameaças. Na Tabela 14 é possível identificar as 4 categorias de avaliação da análise SWOT:

- Forças: a introdução da recolha dos biorresíduos alimentares domésticos permite que haja um desvio dessa fração orgânica dos resíduos indiferenciados depositados em aterro e conseqüentes emissões de gases de efeito de estufa. Esta recolha e encaminhamento para valorização orgânica permite ainda a produção de um composto de alta qualidade, que contribua para uma maior fertilização e melhoria da qualidade dos solos;

- Fraquezas: de momento são identificados como fraquezas o odor presente em alguns contentores devido à elevada utilização, bem como a necessidade de transporte para as instalações da Lipor para valorização dos biorresíduos.
- Oportunidades: a produção de composto em Viana do Castelo através de biocompostores permite uma redução de custos. Enquadramento de sacos compostáveis compatíveis com os processos de compostagem, de modo a reduzir odores nos contentores. Introdução de um sistema SAYT de recompensa ao cidadão pelo uso dos contentores.
- Ameaças: a falta de educação ambiental da população é um processo que pode ser considerado uma ameaça, bem como a sazonalidade que implica um incremento dos circuitos de recolha e lavagem dos contentores (devido a maiores odores).

Tabela 14 - Análise SWOT ao projeto Viana Abraça

Forças	Fraquezas
- Valorização de biorresíduos alimentares domésticos	- Odores nos contentores comunitários
- Desvio de resíduos orgânicos de aterro	- Necessidade de transporte para LIPOR
- Produção de composto de alta qualidade	- Educação e sensibilização ambiental dos cidadãos
Oportunidades	Ameaças
- Produção de composto centralizada	- Educação ambiental
- Utilização de sacos compostáveis	- Sazonalidade
- Introdução de sistema SAYT	

Nos relatórios de atividade dos SMVC, revelou-se ainda que, para além de odores nos contentores de proximidade, registam-se avarias nos sensores RFID dos contentores. Como consequência, os utilizadores que se confrontam com esta situação, depositam os biorresíduos alimentares domésticos no contentor comum mais próximo. Embora não seja a principal dificuldade dos utilizadores, é algo que deve ser fiscalizado regularmente, de forma a garantir as melhores condições aos utilizadores e, consequentemente, uma maior captação dos biorresíduos alimentares domésticos.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a metodologia adotada na análise do sistema. Para isso, a análise foi dividida em diferentes secções, de modo a obter resultados de impacto ambiental por cada fase: transporte, deposição em aterro, valorização orgânica dos biorresíduos alimentares domésticos.

3.1 Impacte ambiental da recolha e transporte: pegada carbónica

A emissão de gases de efeito de estufa do setor de transportes em Portugal foi estimado, em 2017, em 16338 kton CO₂ eq, um aumento de 71% relativamente a 1990. Desses gases de efeito de estufa, o CO₂ fóssil representa 98.96%, enquanto o CH₄ representa 0.14% e o N₂O 0,90%. (Pereira et al., 2019)

Na Figura 29 está representado um esquema dos *inputs* e *outputs* nos veículos de transporte rodoviário.

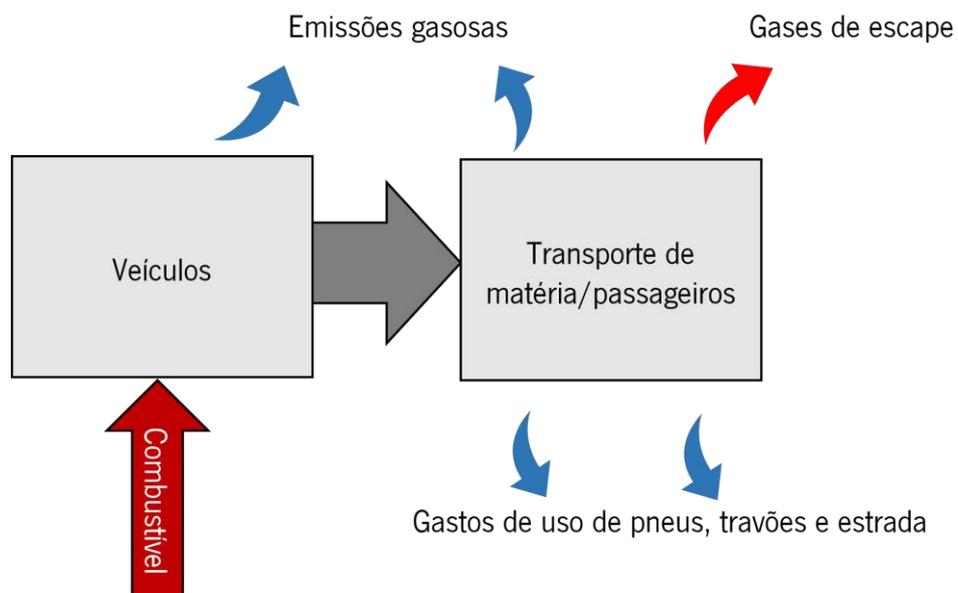


Figura 29 - Diagrama de fluxo de emissões no transporte rodoviário (adaptado de (Keller, 2010))

As viaturas de recolha e transporte de resíduos urbanos são essenciais para a limpeza urbana e saúde pública. Cada município deve ser dotado de uma entidade responsável pela operação e manutenção dos circuitos de recolha, bem como infraestruturas destinadas à deposição de resíduos sólidos urbanos.

Um aproveitamento dos resíduos urbanos e a reutilização e reciclagem de materiais, é um fator positivo na saúde pública. No entanto, a recolha e transporte realizado pelas viaturas, tem um impacto ambiental, através do uso de combustíveis fósseis, manutenção e utilização dos equipamentos.

Por sua vez, segundo estudos da APA, representado na Figura 30, estima-se que os valores de impacto ambiental na recolha de resíduos, comparativamente ao potencial de aquecimento global dos biorresíduos em aterro, é um valor pouco significativo. (Fernandes et al., 2019)

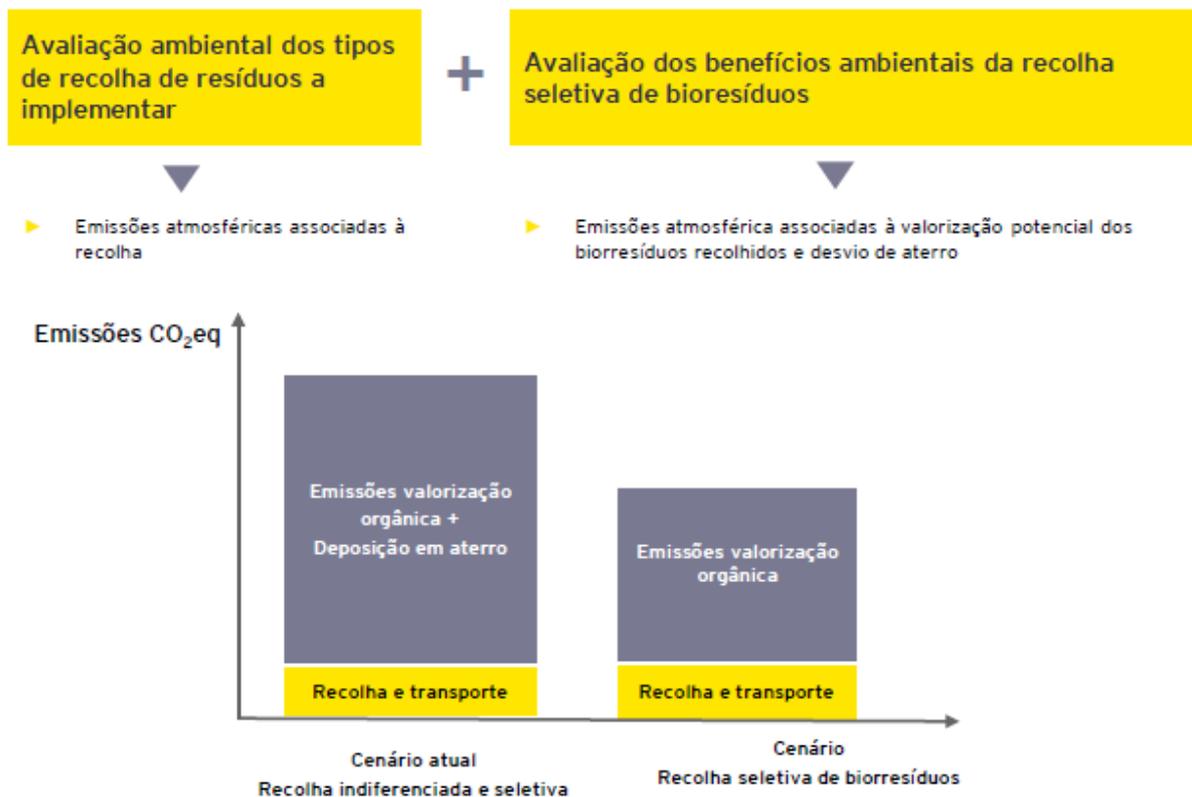


Figura 30 - Esquema de hipótese a testar numa análise de ciclo de vida relativamente aos impactes gerados num cenário atual de recolha indiferenciada e num cenário de recolha seletiva de biorresíduos (Fernandes et al., 2019)

Este impacto ambiental resulta da reação de combustão dos combustíveis fósseis nas viaturas, podendo ser movidas a gasolina, gasóleo, gás natural ou GPL. O processo de combustão produz CO₂ e H₂O como principais produtos, segundo a equação (1.1):



No entanto, a combustão também produz outros sub-produtos, resultante da oxidação incompleta do combustível, como hidrocarbonetos e partículas. Outros sub-produtos são espécies não-combustíveis

presentes na câmara de combustão, como NO_x ou SO_x. A Tabela 15 apresenta os principais poluentes emitidos durante o transporte rodoviário.

Tabela 15 - Principais poluentes emitidos por veículos (Ntziachristos & Samaras, 2019)

Família de poluentes	Exemplos
Precusores de ozono	CO, NO _x , NMVOC
Gases de Efeitos de Estufa	CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O
Substâncias acidificantes	NH ₃ , SO ₂
Partículas	PM, BC, OC
Espécies cancerígenas	PAH, POP
Substâncias tóxicas	Dioxinas, furanos
Metais pesados	Cobre, crómio, mercúrio, níquel, selénio, zinco

De modo a cumprir as legislações relativas às emissões gasosas, os fabricantes de viaturas instalaram tecnologias, como filtros de partículas e catalisadores para reduzir emissão de poluentes. Embora haja uma redução, a utilização dessas tecnologias produz ainda pequenas quantidades de poluentes como NH₃ e N₂O. As tecnologias dos motores são denominadas pela categoria Euro, de acordo com a data de matrícula da viatura, para o caso de viaturas de transporte pesado. Na Tabela 16, são apresentadas as diferentes categorias e respetivos anos de matrícula.

Tabela 16 - Classificação da tecnologia de motor para veículos pesados segundo a norma Europeia (adptado de (Ntziachristos & Samaras, 2019))

Categoria	Combustível	Tecnologia de motor	Data de matrícula (intervalo)	
Veículos Pesados (<i>Heavy Duty Trucks</i>)	Gasóleo (<i>Diesel</i>)	Euro I	1992	1995
		Euro II	1996	2000
		Euro III	2000	2005
		Euro IV	2005	2008
		Euro V	2008	2013
		Euro VI A/B/C	2013	2019
		Euro VI D/E	2019 e posterior	

Nos *Heavy Duty Trucks* (transporte rodoviário pesado) estão incluídas diversas categorias de viaturas com capacidades desde as 3,5 toneladas até às 60 toneladas de peso bruto. A Figura 31 representa a evolução e perspetiva de evolução das emissões de CO₂ dos veículos pesados na Europa, onde se deu uma subida de 25% até 2005 (face a 1990). No entanto, prevê-se uma diminuição dessas emissões, devido à evolução da tecnologia dos motores e possível eletrificação de alguma percentagem da frota.

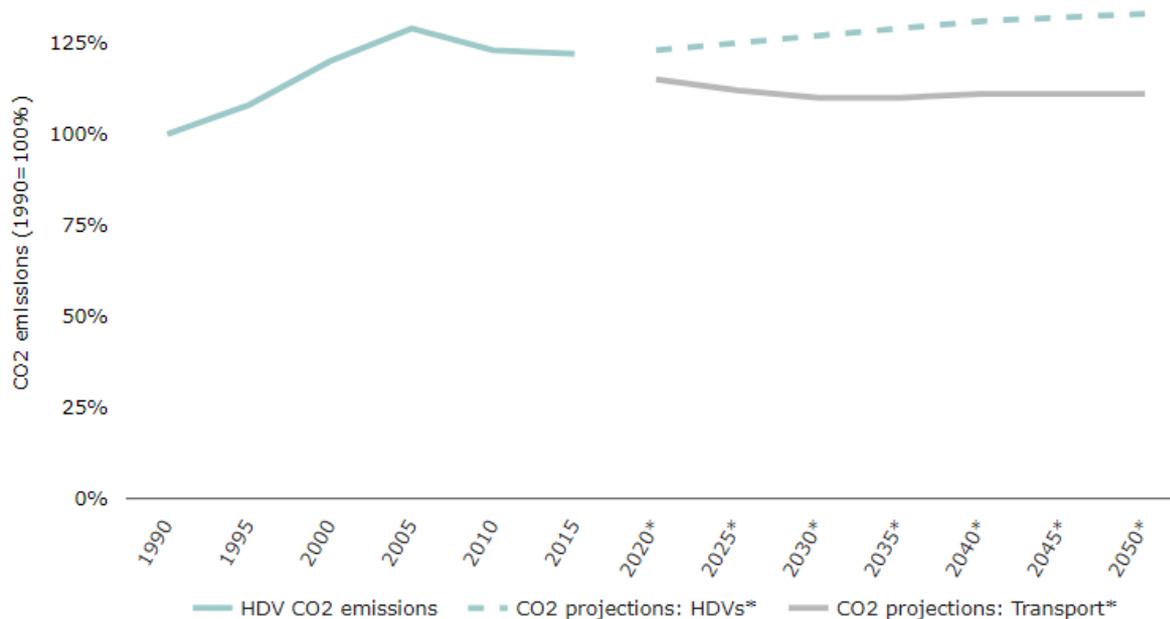


Figura 31 - Emissões de CO₂ de veículos pesados na Europa dos países EU-28 (EEA, 2020)

De acordo com o nível de detalhe disponível, a abordagem adotada para o cálculo de emissões e poluentes pode ser dividido em diferentes grupos, dependendo do poluente e dados disponíveis. (Ntziachristos & Samaras, 2019)

A metodologia adotada para medição das emissões relativas a veículos, segue de acordo com as linhas diretrizes do Guia do Inventário Nacional de Gases de Efeito de Estufa do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (*IPCC*), bem como os Inventários da Agência Europeia do Ambiente.

Para a recolha e transporte, é importante notar que, neste estudo é analisado o impacte ambiental baseado na pegada carbónica, sendo que são considerados os poluentes: dióxido de carbono, metano e óxido nitroso. Para efetuar esse cálculo, existem três tipos de métodos de cálculo (*tier 1*, *tier 2*, *tier 3*), que correspondem a um nível de “afinamento de dados” crescente. (Ntziachristos & Samaras, 2019)

- Nível 1: metodologia usada com base nos consumos de combustível dos veículos;
- Nível 2: são utilizados fatores em g/km para cada tecnologia de veículo. Fatores esses que são determinados usando valores típicos de temperatura ambiente, velocidades, modos de condução, tempo de trajeto, tipo de trajeto;
- Nível 3: são combinados dados técnicos com dados de atividade do veículo.

De acordo com a metodologia presente no Anexo A, são recomendados métodos de cálculo para cada categoria de veículo e poluente. Foram destacados, assim, os poluentes CO₂, CH₄, N₂O, para a categoria de veículo pesados do projeto (*Heavy-duty vehicles > 3,5 t – Diesel Euro I to Euro VI*) e representadas na Tabela 17 as metodologias recomendadas.

Tabela 17 - Metodologias de cálculo para cada categoria de poluente (adaptado de (Ntziachristos & Samaras, 2019))

Poluente	Metodologia	Variáveis
CO ₂	D	Consumo anual de combustível da viatura Fatores de emissão relacionados com o consumo de combustível
N ₂ O	C	Quilómetros percorridos pelo veículo anualmente Porcentagem de quilómetros percorridos, por tipo de trajeto (urbano, rural, auto estrada)
CH ₄	C	

Desta maneira, as emissões de CO₂ são calculadas tendo em conta os consumos anuais de combustível de cada viatura, de acordo com os registos de abastecimento de combustível dos SMVC. De seguida, são utilizados fatores de emissão recomendados pelo *IPCC*, correspondentes à tecnologia do motor do veículo.

Para o cálculo das emissões de CH₄ e N₂O, são considerados os quilómetros percorridos pelo veículo e a tipologia do percurso. Os fatores de emissão a utilizar estão tabelados de acordo com a tipologia de percurso. Nos capítulos seguintes, estarão discriminados os fatores e cálculos referentes a cada tipo de poluente.

3.1.1 Caracterização dos veículos afetos à recolha e transporte dos biorresíduos

O Projeto Viana Abraça permite a recolha seletiva na origem de biorresíduos no concelho de Viana do Castelo, sendo assim, adicionados circuitos de recolha e viaturas em funcionamento, o que permite a

posterior valorização orgânica de biorresíduos alimentares. Por outro lado, implica também um maior número de emissões por parte das viaturas dos SMVC, e consequente impacte ambiental.

Desde a origem até à sua valorização, são realizados dois trajetos: transporte desde o contentor de rua até à Resulima (estação de transferência); transporte da Resulima para a CVO da Lipor.

A estes dois trajetos estão afetos 2 tipos de viaturas, que serão devidamente caracterizadas no capítulo 3.1.2, e pode ser visto de forma esquemática na Figura 32.

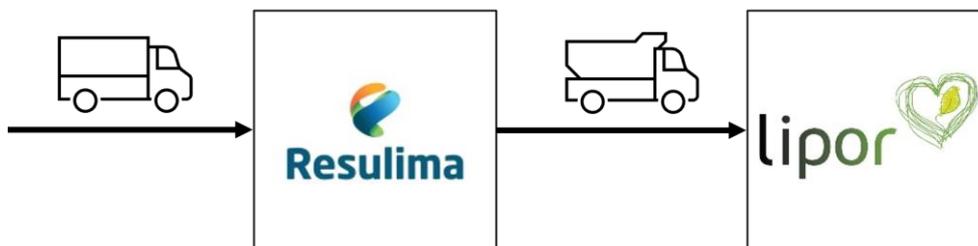


Figura 32 - Esquema simplificado da tipologia de transporte de biorresíduos desde a fonte à valorização

Para a recolha seletiva de biorresíduos domésticos alimentares, os SMVC dispõem de 2 viaturas da marca Volvo, equipados com a tecnologia Euro VI, e de 1 viatura Volvo para lavagem dos contentores. Para o transporte dos biorresíduos desde a Resulima até à Lipor, os SMVC dispõem de 1 viatura Mercedes Ampliroll. Na Tabela 18, estão referidas as principais características das viaturas.

Tabela 18 - Características das viaturas afetas ao transporte completo

Viatura \ Características	422 Recolha	423 Recolha	425 Lavagem	454 Ampliroll
Data da matrícula	07/07/2017	09/08/2018	03/04/2020	2009
Marca	Volvo FM	Volvo FM	Volvo FM	Mercedes Benz
Combustível	Gasóleo	Gasóleo	Gasóleo	Gasóleo
Cilindrada (cm ³)	10837	12777	10837	11947
Peso bruto (kg)	26000	26000	19000	26500
Tecnologia do motor	Euro VI - C	Euro VI - C	Euro VI - D	Euro V

As viaturas que cumprem com a tecnologia de motor Euro IV, Euro V, Euro VI utilizam a tecnologia AdBlue, uma solução de ureia de elevada pureza em água desmineralizada, não tóxica, utilizada nos sistemas de escape, de modo a reduzir as emissões de óxidos de azoto (NO_x). (Galp, 2012)

O AdBlue utiliza um depósito independente junto ao depósito de combustível, que é injetado no sistema de escape do motor. Contém, aproximadamente, uma solução de aquosa com uma percentagem de ureia de 32,5%. A Figura 33 representa um esquema do efeito do AdBlue no processo de combustão.

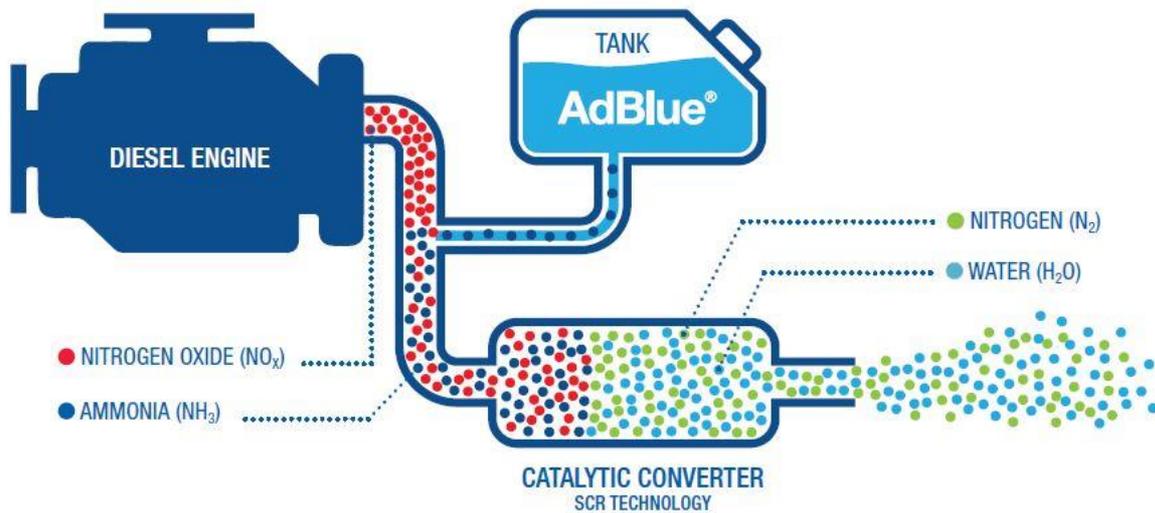


Figura 33 - Efeito AdBlue (TotalEnergies, 2020)

Sendo viaturas de recolha de resíduos, são acoplados sistemas óleo hidráulicos para a elevação de contentores, por meio de tomadas de força. As ações de elevação e recolha de contentores são, dessa forma, alimentadas pelo motor e conseqüentemente combustível. Na Figura 34, está representada uma das viaturas de carga lateral para recolha dos biorresíduos domésticos.



Figura 34 - Viatura de carga lateral para recolha seletiva dos biorresíduos alimentares domésticos (Alto Minho TV, 2020)

Com isto, é possível concluir que, durante a recolha de contentores, ainda que a viatura esteja imobilizada, existem consumos de combustível altos neste tipo de viaturas e trajetos, justificando os valores de consumos discriminados no capítulo seguinte.

3.1.2 Consumos de combustível das viaturas

Os trajetos realizados no serviço de recolha são variados, à exceção do trajeto efetuado no transporte para a Lipor (viatura 454) que é uma distância e trajeto fixo. Através do registo de abastecimento de combustível das viaturas dos SMVC, é possível retirar os valores de consumo de combustível de cada viatura de recolha, para posterior cálculo de emissões, através da seguinte equação (1.2):

$$\text{Consumo de combustível (l.100 km}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Combustível abastecido (l)}}{\text{Quilómetros percorridos (km)}} * 100 \quad (1.2)$$

Os cálculos dos consumos são, dessa forma realizados, com base nos dados de operação regulares de 6 meses consecutivos disponibilizados pelos SMVC, de forma a chegar a valores médios reais para a atividade realizada por cada viatura. Foi ainda possível comparar os valores reais com os valores demonstrados no computador de bordo, bem como no catálogo da marca das viaturas, representado no Anexo D. Na Tabela 19 estão representados os valores dos consumos reais das viaturas em litros por cada 100 quilómetros.

Tabela 19 - Consumos reais das viaturas de transporte e recolha

Viatura	422	423	425	454
Consumos	Recolha	Recolha	Lavagem	Ampliroll
Consumo real (l/100 km)	70.90	74.16	71.39	23.84
Consumo médio (l/100 km)	72.15			23.84

Os dados revelam consumos altos para a categoria, justificados pela tipologia de trajeto citadino e, ao mesmo tempo, rural. Comparando as viaturas de recolha e lavagem com a viatura Ampliroll, esta apresenta valores aproximadamente 3 vezes inferiores, uma vez que o transporte é maioritariamente em registo de autoestrada, evitando assim a utilização das tomadas de força constantes, assim como a frequência de arranques do motor.

3.1.3 Caracterização dos trajetos e respetivos fatores de emissão

Para o cálculo de emissões de CO₂, como referido anteriormente na Tabela 17, é aconselhado o uso dos valores de consumos de combustível e fatores de emissão relacionados. Por outro lado, para cálculo de emissões de CH₄ e N₂O, é necessário contabilizar os quilómetros realizados pela viatura,

tecnologia do motor, bem como, características do trajeto da viatura. Além disso, adotar os fatores de emissão correspondentes a cada tipologia de trajeto.

Inicialmente, é necessário referir que, para as viaturas de recolha e lavagem (que percorrem o mesmo trajeto), os circuitos de recolha não são fixos. Isto é, à data do presente estudo, os circuitos de recolha não são definidos de forma fixa, mas sim de acordo com a necessidade, pelo que não há um trajeto fixo. Esses trajetos são distribuídos, por norma, por freguesias e, iniciam-se e terminam sempre no armazém dos Serviços Municipalizados. O percurso é maioritariamente urbano, tendo ainda uma parte do percurso considerada rural, e, por fim, uma pequena percentagem de autoestrada (correspondente ao percurso até a Resulima onde são depositados os biorresíduos). A diferente tipologia de trajeto influencia o desempenho da viatura e, conseqüentemente, os valores de gases poluentes emitidos. No Anexo C, estão representados 3 tipos de circuitos de recolha efetuados no mês de maio de 2021.

No cálculo das emissões rodoviárias presentes no Relatório Nacional de Emissões, são considerados valores médios nos trajetos, resultando daí, valores médios para os fatores de emissão a considerar, como é demonstrado na Tabela 20, um valor médio de viagem de 10 km.

Tabela 20 - Valores médios dos trajetos considerados para diferentes países (adptado de (Keller, 2010))

País	Distância de trajeto (km)
Áustria	12
Bélgica	12
Dinamarca	9
Alemanha	14
Espanha	12
França	12
Finlândia	17
Grécia	12
Hungria	12
Irlanda	14
Itália	12
Luxemburgo	15
Holanda	13.1
Portugal	10

Segundo os registos de atividade dos Serviços Municipalizados de Viana do Castelo, a média de distância dos percursos de recolha de biorresíduos, é de, aproximadamente, 51 km, distante dos 10 km considerados nesta metodologia.

Desta forma, recorrendo ao software *Copert*, recomendado pelo *EMEP*, onde estão compiladas bases de dados referentes às emissões de transporte rodoviário, é possível chegar a valores mais próximos da realidade, introduzindo os valores relativos a este caso de estudo específico. A Figura 35 representa o painel de controlo do *software*, destacando-se acima os *inputs* como tipologia de veículo, propriedades, ano, combustível, e o painel de resultados.

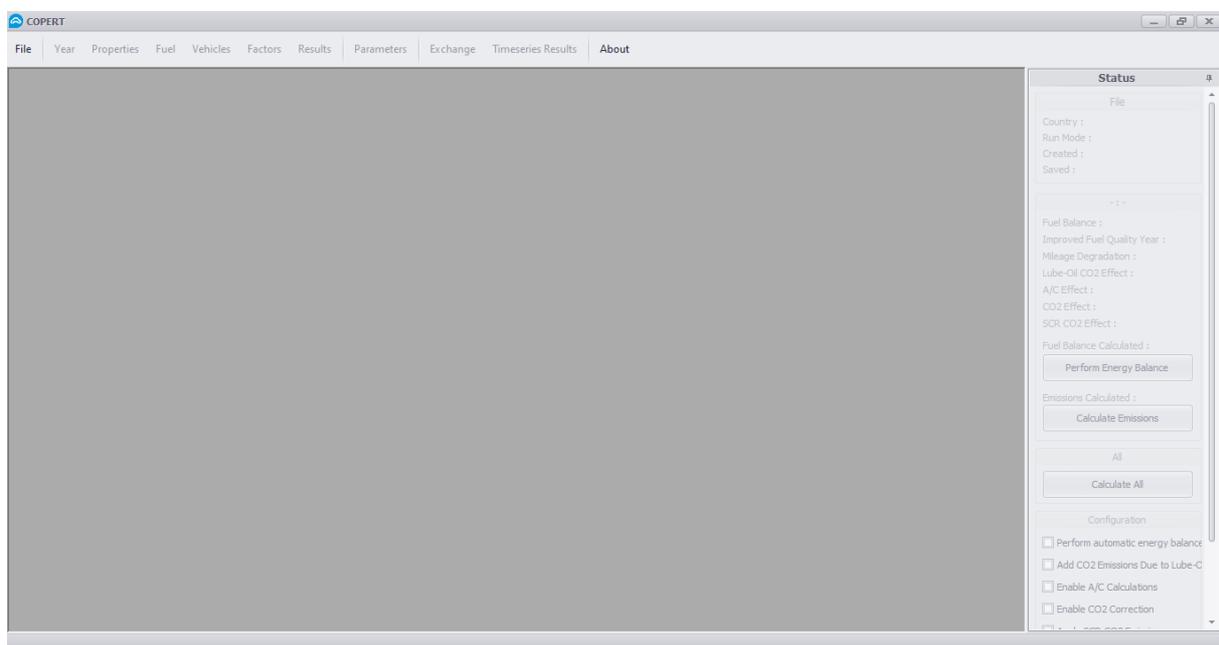


Figura 35 - Painel de controlo do software *COPERT*

Foram introduzidos, desta forma, valores concretos para este caso de estudo, explicado no Anexo D.

Foram utilizados os valores mais aproximados da realidade do trajeto de recolha de biorresíduos.

Na Figura 36, estão apresentados alguns dos dados mais relevantes inseridos no software.

CATEGORIA	UNIDADE	FONTE
<u>QUANTIDADE DE VIATURAS</u>	[n]	RELATÓRIOS DE ATIVIDADE SMVC
<u>DISTÂNCIA MÉDIA DE PERCURSO</u>	[km]	RELATÓRIOS DE ATIVIDADE SMVC
<u>DISTÂNCIA TOTAL</u>	[km]	RELATÓRIOS DE ATIVIDADE SMVC
<u>DISTÂNCIA TOTAL ACUMULADA</u>	[km]	RELATÓRIOS DE ATIVIDADE SMVC
<u>% TRAJETO URBANO S/TRÂNSITO</u>	[%]	RELATÓRIOS DE ATIVIDADE SMVC
<u>% TRAJETO URBANO</u>	[%]	RELATÓRIOS DE ATIVIDADE SMVC
<u>% TRAJETO RURAL</u>	[%]	RELATÓRIOS DE ATIVIDADE SMVC
<u>% TRAJETO AUTO-ESTRADA</u>	[%]	RELATÓRIOS DE ATIVIDADE SMVC
<u>TEMPERATURA MÍNIMA (AMB)</u>	[°C]	PORTAL DO CLIMA
<u>TEMPERATURA MÁXIMA (AMB)</u>	[°C]	PORTAL DO CLIMA
<u>HUMIDADE</u>	[%]	PORTAL DO CLIMA
<u>DISTÂNCIA DE TRAJETO</u>	[km]	RELATÓRIOS DE ATIVIDADE SMVC
<u>DURAÇÃO DE TRAJETO</u>	[hour]	RELATÓRIOS DE ATIVIDADE SMVC

Figura 36 - Categorias de variáveis introduzidas no software *Copert*

Desta maneira, é possível retirar com maior exatidão, os fatores de emissão a considerar para os poluentes CH₄ e N₂O, ao invés dos fatores de emissão gerais para Portugal, que podem ser consultados no Anexo A. De seguida, os fatores de emissão calculados a partir do software *Copert* e os fatores de emissão “gerais” considerados no documento do *EMEP* serão devidamente comparados.

Na Tabela 21 estão apresentados os valores considerados para cada trajeto, ponderados consoante o número médio de quilómetros definidos em cada trajeto. Importante ainda referir que, o Percurso 1 é feito por viaturas com tecnologia de motor Euro VI, e o Percurso 2, por uma viatura equipada com a tecnologia de motor Euro V.

Tabela 21 - Tipologia de percurso referente aos 2 trajetos

Tipologia de percurso	Urbano	Urbano (sem trânsito)	Rural	Autoestrada
Percurso 1 (Recolha)	30%	30%	30%	10%
Percurso 2 (Transporte até Lipor)	4%	4%	0%	92%

Introduzindo estes valores no software *Copert*, considerando velocidades médias pré-definidas para cada tipologia de percurso, é possível retirar com maior exatidão os fatores de emissão de CH₄ e N₂O para se considerar no cálculo do impacte ambiental, como mostra a Figura 37.

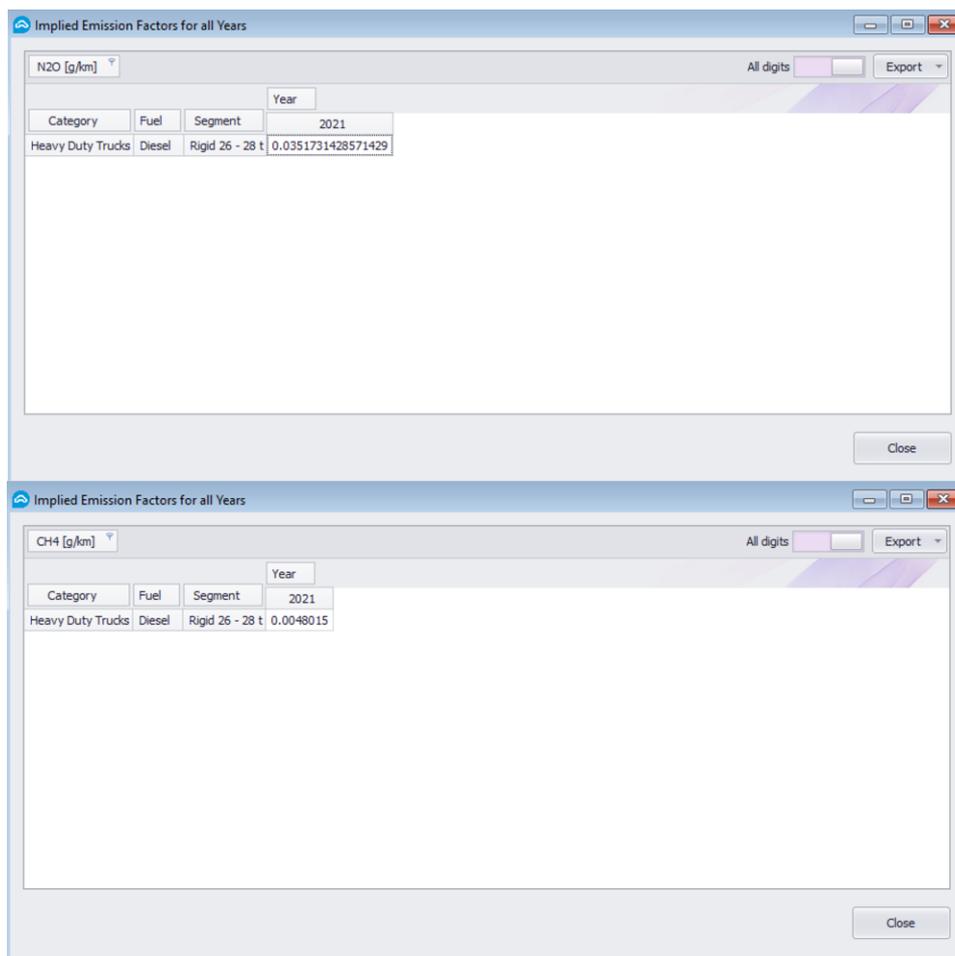


Figura 37 - Dados obtidos após simulação no software Copert

A Tabela 22, por sua vez, apresenta os valores obtidos no software *Copert* (específicos para o caso em estudo), em comparação com os valores referidos na metodologia do *EMEP* (valores gerais para veículos pesados).

Tabela 22 - Comparação dos dados obtidos no software *Copert* com a metodologia do *EMEP*

Poluente	Fator de emissão (g/km)						
	<i>Copert</i>	<i>EMEP</i>					
		Euro VI			Euro V		
		Urbano	Rural	Auto-estrada	Urbano	Rural	Auto-estrada
N ₂ O	0.0351	0.0370	0.0390	0.0290	0.0298	0.0402	0.0336
CH ₄	0.0048	0.1750	0.0800	0.0700	0.1750	0.0800	0.0700
CH ₄ corrigido	-	0.0053	0.0056	0.0042	0.0053	0.0056	0.0042

Os valores dos fatores de emissão, em média, não apresentam grande discrepância comparando as duas metodologias, à exceção dos fatores de emissão de CH₄. Esta diferença deve-se ao facto do fator de emissão proposto pela metodologia do *EMEP* considerar um parâmetro que corresponde à correção do fator de emissão de CH₄, que é considerado para viaturas com tecnologia de motor superior a Euro I. Dessa correção, surgem os fatores de emissão corrigidos, apresentados na linha inferior da Tabela 22.

3.2 Impacte ambiental da deposição em aterro

O setor dos resíduos, como é possível ver na Figura 11, representa 7,2% das emissões nacionais de gases de efeito de estufa. Dessa percentagem, aproximadamente 78,4% é proveniente da deposição em aterro. O gás produzido mais importante, neste caso, é o CH₄, gerado a partir da degradação da matéria orgânica dos resíduos. Juntamente com este, o N₂O também tem uma pequena representação, perto de 1/8 das emissões de CH₄, como sugere a Figura 38.

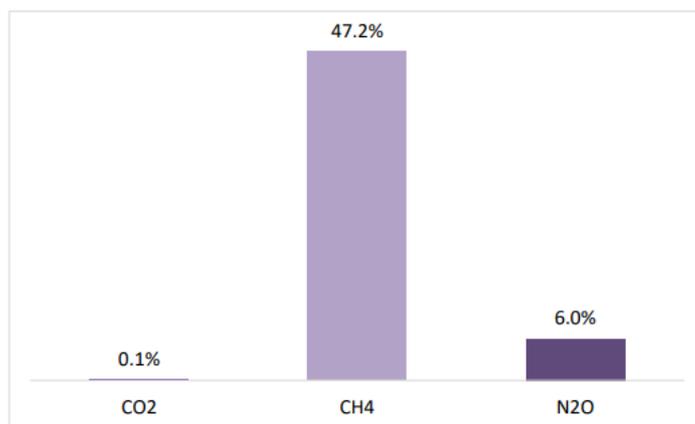


Figura 38 - Contribuição de cada GEE para as emissões nacionais do setor dos resíduos em 2019 (APA, 2021c)

O impacte ambiental, neste sentido, está dependente da tipologia de aterro, da existência ou não de valorização energética, e ainda das condições de funcionamento do aterro e da zona climática onde se situa o aterro.

- Tipologia de aterro: pode ser controlado (*managed*) ou não controlado (*unmanaged*). Dentro do “controlado”, pode ser aeróbico ou semi-aeróbico. “Não controlado” varia consoante a profundidade do aterro. Estes fatores variam de acordo com os fatores de degradação da matéria orgânica;

- Condições de funcionamento: o tipo de resíduo depositado em aterro, anos de funcionamento do aterro, e quantidades depositadas por ano, são fatores que influenciam a emissão de GEE no processo de deposição em aterro;
- Zona climática: consoante a tipologia de resíduo, as taxas de geração de metano aumentam para ambientes mais húmidos;
- Valorização energética: a existência de sistemas de valorização do biogás produzido no aterro contribui para um maior aproveitamento ambiental do sistema, evitando assim a libertação desse biogás direta para atmosfera. O biogás é conduzido e tratado e, posteriormente, encaminhado para motores/motogeradores adaptados a biogás, para produção de eletricidade.

Este caso de estudo é baseado na metodologia do *IPCC*, mais concretamente o capítulo *Solid Waste Disposal*, de forma a calcular, para um certo aterro (Resulima – Viana do Castelo), as emissões de metano e GEE. No entanto, para este caso concreto, interessa calcular as emissões em aterro que podem ser evitadas através do desvio dos biorresíduos alimentares domésticos recolhidos pelo projeto Viana Abraça. Isto é, o que representariam as 414 toneladas de biorresíduos alimentares domésticos em aterro, tendo em conta as condições de funcionamento específicas do aterro da Resulima, e tendo em conta o potencial dos biorresíduos alimentares para formação de metano em aterro que, como podemos ver na Tabela 23, pode ser de 96 kg de CH₄/ton, num horizonte de 50 anos.

Tabela 23 - Percentagem de carbono biológico e potencial de geração de metano nos biorresíduos (adaptado de (ARCADIS and EUNOMIA, 2010))

		Resíduos alimentares	Resíduos verdes
Conteúdo de carbono biológico (kg de carbono por tonelada de resíduos)	Total conteúdo de carbono biológico	134	259
	Celulose	40	153
	Lignina	12	80
	Proteína	26	9
	Açúcar	26	1
	Gorduras	29	0
kg CH ₄ gerado por tonelada de resíduos	CH ₄ emitido após 50 anos	96	158
	CH ₄ emitido após 100 anos	106	200

Além do potencial de emissão de GEE em aterro, foi também considerado o impacto ambiental dos funcionários da Resulima, disponível no Anexo D. Considerando um valor médio de transporte dos funcionários para as instalações da Resulima, é possível chegar a uma estimativa do impacto ambiental adicional que a deposição em aterro pode representar. Foi, dessa forma, ponderado o impacto ambiental adicional, considerando apenas a adição das 414 toneladas de biorresíduos alimentares.

3.2.1 Deposição em aterro na Resulima

O aterro da Resulima de Vila Fria, em Viana do Castelo, começou a ser explorado em 18 de dezembro de 1998 e intervém numa área de cerca de 1778 km², abrangendo os municípios de Arcos de Valdevez, Barcelos, Esposende, Ponte da Barca, Ponte de Lima e Viana do Castelo. O aterro em questão, possui sistemas de impermeabilização de fundo e taludes da célula, sistema de drenagem, captação e tratamento de lixiviados e ainda sistema de drenagem, captação e valorização energética/queima de biogás, representado na Figura 39. (Resulima, 2010)



Figura 39 - Célula do aterro e condutas de condução do biogás

Atualmente, os resíduos indiferenciados recolhidos pelos SMVC, são depositados diretamente em aterro, correspondendo, no ano de 2020, a 124723 toneladas. Existe aproveitamento do biogás gerado, através de uma rede de extração e drenagem formada por vários poços de captação de biogás e condutas em PEAD. Esse biogás é encaminhado para a Central de Valorização Energética do Biogás, constituída por dois motogeradores de combustão interna contentorizados, com potências de 1200 kW e 800 kW. A produção energética teve início em agosto de 2010. Associado à Central de Valorização Energética do Biogás, representada na Figura 40, existe um queimador de 1000 Nm³/h que se destina ao tratamento do biogás por combustão, mediante mistura adequada da relação biogás/ar a

uma temperatura controlada, nos casos em que ocorra produção que exceda a capacidade de consumo de biogás por parte dos motogeradores e para assegurar o tratamento do biogás nos períodos de paragem de um ou dos dois motogeradores.



Figura 40 - CVEB composta por 2 motogeradores (à esquerda) e rede de captura de biogás (à direita)

O biogás produzido no aterro sanitário é monitorizado continuamente, além de que é tratado e medido numa fase anterior à queima, assim como as condições do motogeradores, que são monitorizadas eletronicamente através de uma sala de controlo.

Na Figura 41, à esquerda, é possível visualizar o aparelho que mede as condições do biogás (antes de entrar nos motogeradores), nomeadamente, a percentagem de CH_4 , CO_2 , O_2 e H_2S presente no biogás. À direita, na mesma Figura 41, é possível ver o registo dos mesmos dados medidos nos poços do aterro, desta vez registados manualmente, no dia 7 de junho de 2021.



Registro das Medições de Biogás nos Pontos de Aterro	CH ₄	CO ₂	H ₂ S	Outros
P1	58.5	33.5	0.14	0
P2	61.0	37.9	0.0	0
P3	59.7	36.8	0.0	0
P4	54.2	37.2	0.0	0
P5	58.3	38.5	0.0	0
P6	58.5	37.2	0.0	0
P7	56.1	35.0	0.0	0
P8	58.5	36.9	0.0	0
P9	61.9	35.5	0.10	0
P10	58.0	33.9	0.0	0
P11	51.3	38.6	0.0	0
P12	58.5	37.5	0.0	0
P13	59.1	37.7	0.0	0
P14	57.2	37.1	0.0	0
P15	53.0	37.2	0.0	0
P16	55.4	40.6	0.0	0
P17	41.6	29.8	5.2	0
P18	55.7	36.3	0.0	0
P19	59.2	35.6	0.0	0
P20	56.6	38.2	0.0	0
P21	53.4	38.0	0.0	0
P22	56.9	38.7	0.0	0
P23	44.7	32.8	3.9	0
P24	53.5	36.7	0.0	0
P25	51.5	35.5	0.0	0
P26	54.0	36.7	0.0	0
P27	58.2	37.4	0.0	0
P28	59.5	37.8	0.0	0
P29	59.7	36.5	0.0	0
P30	56.4	38.3	0.0	0
P31	55.8	37.8	0.0	0
P32	57.5	37.3	0.0	0
P33	57.5	37.3	0.0	0
P34	58.1	38.6	0.0	0
P35	54.4	38.7	0.0	0
P36	55.1	38.1	0.0	0
P37	63.4	40.4	0.0	0
P38	57.3	42.2	0.0	0
P39	57.2	39.0	0.0	0
P40	56.6	38.3	1.3	0
Analisador	63.4	40.4	0.0	0

Figura 41 - Aparelho de medição do biogás (à esquerda) e medições registadas manualmente

No que toca a impacte ambiental e aquecimento global, a produção do biogás é a parte preponderante quando se fala em deposição de resíduos em aterro. No entanto, o impacte ambiental também considera categorias de qualidade do ecossistema, eutrofização aquática, saúde humana e utilização dos recursos. Neste sentido, a análise é feita, focando-se apenas na categoria das alterações climáticas, considerando assim os fatores de emissão de metano, dióxido de carbono (não biogénico) e óxido nitroso.

3.2.2 Potencial de geração de metano e biogás no aterro

A metodologia de cálculo de emissões em aterro tem o recurso à equação do *IPCC*, presente na metodologia da *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. A metodologia do *IPCC* é baseada no método FOD (*First Order Decay*), método este que assume que a componente de degradação do carbono (DOC) nos resíduos decresce ao longo das décadas, enquanto é formado CH₄ e CO₂.

As emissões de metano podem, para um ano de referência, ser estimadas através da equação 1.3. O CH₄ é gerado como resultado da degradação do material orgânico em condições anaeróbias. Parte

desse CH₄ oxida na cobertura do aterro, podendo ser recuperado para valorização energética. O metano emitido será sempre inferior ao metano gerado. (IPCC, 2006a)

$$\text{Emissões de CH}_4 = \left[\sum_x \text{CH}_4 \text{ gerado}_{x,T} - R_T \right] * (1 - OX_T) \quad (3.3)$$

Onde:

- “T” corresponde ao ano respectivo
- “x” corresponde à categoria/tipo de resíduo ou material
- “R_T” corresponde ao valor de CH₄ recuperado no ano T (Gg)
- “OX_T” corresponde ao fator de oxidação no ano T (fração)

A este valor de CH₄ gerado, é subtraído o valor de CH₄ recuperado (por valorização).

Um *input* importante a ter em conta é a quantidade de carbono degradável na matéria, sendo este estimado consoante a categoria dos resíduos e o tipo de material. O potencial de metano gerado pode ser estimado com base nas quantidades e composição dos resíduos depositados em aterro, assim como as práticas de operação desse mesmo aterro. Para efetuar esse cálculo, usa-se o DDOC_m, o carbono orgânico degradável, apresentado pela seguinte equação 1.4.

$$\text{DDOC}_m = W * \text{DOC} * \text{DOC}_f * \text{MCF} \quad (4.4)$$

Onde:

- “DDOC_m” corresponde à massa de carbono orgânico degradável em aterro (Gg);
- “W” corresponde à massa de resíduos depositada (Gg);
- “DOC” corresponde ao carbono orgânico degradável no ano de deposição $\left(\frac{\text{Gg Carbono}}{\text{Gg resíduos}} \right)$;
- “DOC_f” corresponde à fração de DOC que se pode decompor (fração);
- “MCF” fator de CH₄ para decomposição aeróbica no ano de deposição (fração);
- “F” fração de CH₄ gerado em aterro (fração).

Desta forma, o potencial de CH₄ gerado (L₀) pode ser calculado pelo produto do DDOC_m, o fator F e o rácio molecular do CH₄, (16/12), representado na equação 1.5.

$$L_0 = \text{DDOC}_m * F * 16/12 \quad (5.5)$$

Como dado indicador, é possível fazer o cálculo da projeção de emissões de CH₄ no aterro, utilizando como *inputs* o número total de toneladas depositadas em aterro, por ano. Para isso, utilizando a folha de cálculo *LandGem*, é possível chegar ao gráfico da Figura 42.

O gráfico mostra as 4 curvas (biogás, metano, dióxido de carbono, monóxido de carbono) a evoluir com o tempo, cujos valores máximos serão atingidos no ano que termine a deposição em aterro, e decrescer daí em diante, mantendo níveis significativos de emissões, durante cerca de 50 anos.

Os inputs e valores resultantes da folha de cálculo, estão apresentados no Anexo B, e foram utilizados valores de toneladas de resíduos urbanos depositados em aterro nos anos iniciais, através do recurso a uma outra dissertação de Mestrado realizada na Resulima – “Potencial Energético do Aterro Sanitário do Vale do Lima e Baixo Cávado através da produção de biogás com origem nos resíduos urbanos” de Rui Franco. (Franco, 2016)

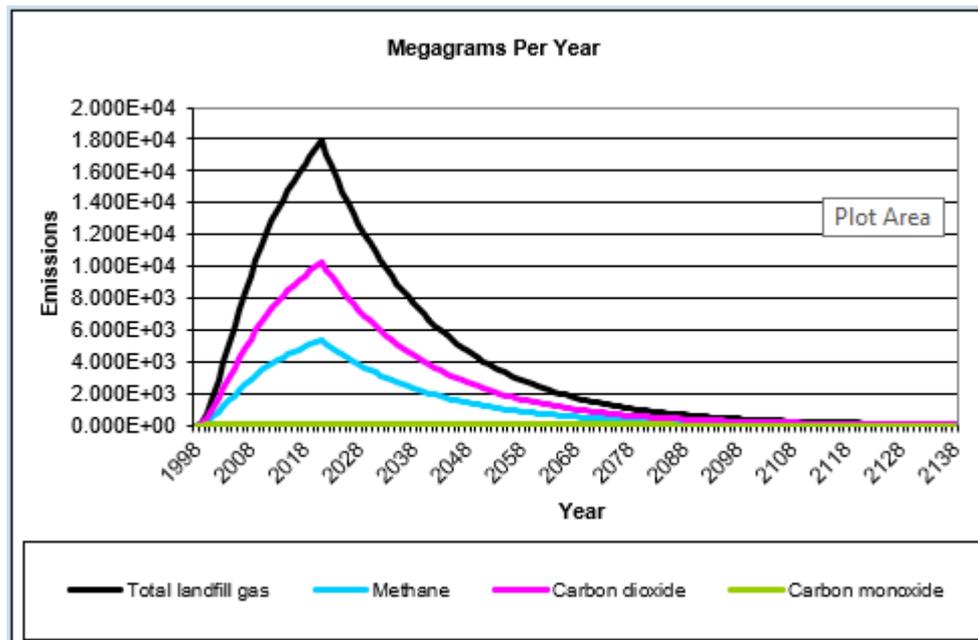


Figura 42 - Projeção das emissões de biogás, metano, dióxido de carbono e monóxido de carbono, utilizando o *LandGem*

Esta metodologia permite, assim, calcular o potencial de geração de metano e, conseqüentemente, o potencial de aquecimento global que os biorresíduos podem constituir se forem depositados em aterro. Isto é, caso não haja uma recolha seletiva e separação na fonte dos biorresíduos alimentares domésticos, pode-se assistir a um aumento de emissões de GEE significativo, sendo que as emissões difusas no aproveitamento do biogás em aterro, representam grande parte desse potencial.

Segundo a literatura, as emissões difusas em aterros equipados com valorização energética do biogás ronda os 10-25%, e, segundo o *IPCC*, é uma boa prática considerar o valor de 20%.

Para chegar ao valor de emissões difusas mais perto da realidade, foram considerados valores presentes na literatura e em casos práticos de avaliação de emissões difusas no aterro da Resulima, nos anos de 2010 a 2012, os primeiros anos de funcionamento da central de valorização do biogás. Foi obtido o valor médio, para esses 3 anos, de 18,43% do metano gerado, o que se encontra dentro do intervalo de valores recomendados na literatura.

Num outro cenário, é possível analisar a comparação dos valores de potencial de metano produzido segundo as folhas de cálculo do *IPCC*, com os valores de caudal tratado nos motogerados, durante um ano. Dessa prática, resultaram valores superiores, aproximadamente 38% de biogás libertado para a atmosfera. A comparação dos caudais demonstrou ser uma metodologia menos precisa, uma vez que, nos anos iniciais de funcionamento, o queimador acessório de biogás foi utilizado, sempre que o caudal de biogás se mostrou superior ao admissível pelos motogeradores.

3.3 Impacte ambiental da valorização orgânica

A etapa da valorização orgânica constitui um grande benefício no sistema, principalmente pela promoção da economia circular com a produção de um composto orgânico para aplicação nos solos.

Por outro lado, sendo um processo industrial, são necessários grandes consumos energéticos das instalações, bem como a existência dos funcionários. Os consumos das instalações resultam em emissões de gases de efeito de estufa, sendo principalmente o CO₂, o principal contribuinte.

O processo de compostagem implica várias etapas até à produção de um composto para aplicação nos solos, sendo assim consideradas emissões diretas e indiretas das instalações da CVO, para efeitos de cálculos de impacte ambiental. Estes mesmo cálculos são importantes para definir o potencial de emissão de gases de efeito de estufa no tratamento das 414 toneladas de biorresíduos alimentares domésticos, sabendo que, a Lipor já faz o tratamento dos biorresíduos alimentares recolhidos em Viana do Castelo através do canal HORECA, desde 2010. Posto isto, a metodologia adotada para efeitos de cálculo, tem como base as emissões da CVO, discriminadas no Relatório Integrado da Lipor. (Lipor, 2020)

3.3.1 Valorização Orgânica na LIPOR

A LIPOR – Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto, tem em funcionamento, desde 2005, uma moderna unidade de Compostagem (por sistema Multi-túnel) com capacidade para tratar e valorizar anualmente cerca de 60000 toneladas de biorresíduos provenientes unicamente de circuitos de recolha seletiva.

Para que o processo de compostagem decorra adequadamente e seja possível obter no final um corretivo orgânico (composto) de excelente qualidade é fundamental garantir o fornecimento de matéria orgânica com as características apropriadas e com uma presença muito diminuta de contaminantes (plásticos, metais, vidro, inertes, etc.). Para obter autorização de entrega de resíduos orgânicos, os potenciais clientes devem contactar a LIPOR para ser avaliado o potencial de valorização do resíduo na Central de Valorização Orgânica. Como exemplo de Resíduos Orgânicos passíveis de admissão na Central de Valorização Orgânica é apresentada a seguinte Lista (não exaustiva) com referência ao Código LER e respetivas condições, na Tabela 24. (Lipor, 2005)

Tabela 24 – Condições de entrega na Central de Valorização da Lipor

Código LER		Observações
02 02 03	Materiais impróprios para consumo ou processamento (carnes/peixe)	São aceites subprodutos de origem animal categoria 3; não são aceites vísceras, sangue, ossos (com tamanho superior a 15 cm), couros, carcaças, material em estado avançado de putrefação, entre outros. De acordo com o Registo de Atribuição (N.º 105r/2007) do Número de Controlo Veterinário (DSC002) é possível também a entrega de subprodutos de origem animal – categoria 2, os quais carecem sempre de parecer prévio por parte da Lipor (mediante análise do produto e suas características).
02 03 04	Materiais impróprios para consumo ou processamento (frutas/legumes)	Não são aceites produtos embalados.

02 05 01	Materiais impróprios para consumo ou processamento (laticínios)	Não são aceites produtos embalados; não são aceites produtos líquidos ou semilíquidos
02 06 01	Materiais impróprios para consumo ou processamento (panificação)	Não são aceites produtos embalados; não são aceites produtos pulverulentos
20 01 08	Resíduos biodegradáveis de cozinhas e cantinas	Não são permitidos contaminantes como: embalagens, vidro, metais, cartão, papel, têxteis sanitários, produtos perigosos, entre outros.
20 03 02	Resíduos de mercados	Não são permitidos contaminantes como: embalagens, vidro, metais, cartão, papel, têxteis sanitários, produtos perigosos, entre outros.

Os resíduos alimentares e resíduos verdes, provenientes dos circuitos de recolha de resíduos biorresíduos, são sujeitos a um processo de compostagem, no qual todos os parâmetros fundamentais são controlados em contínuo (humidade, oxigénio, temperatura), dando origem a corretivo agrícola orgânico de alta qualidade, o NUTRIMAIS. Durante o processo de compostagem apenas são adicionados água e ar à massa de biorresíduos pelo que todo o processo decorre de uma forma natural e sem a adição de químicos. (LIPOR, 2019)

Os resíduos entram em diferentes plataformas:

- A Plataforma dos Orgânicos: compartimento interior onde são depositados diretamente os biorresíduos alimentares provenientes de recolha seletiva, como se pode ver na Figura 43;

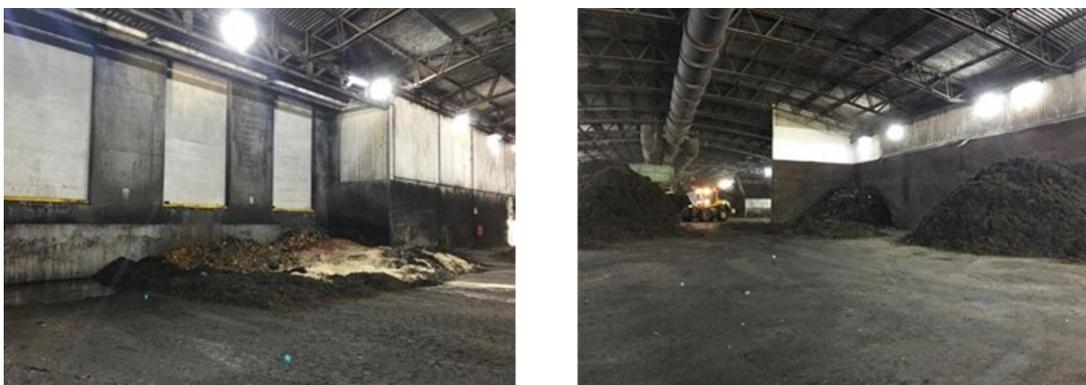


Figura 43 - Plataforma de depósito de orgânicos (à esquerda) e pilhas de composto em primeira fase de produção (à direita)

- O Parque de Verdes: parque exterior onde são depositados os resíduos verdes, tanto provenientes de recolha seletiva, como de produtores privados, onde são avaliados e triturados os resíduos verdes, como se pode ver na Figura 44;



Figura 44 - Pilha de resíduos verdes (à esquerda) e pilha de resíduos verdes após trituração (à direita)

- Linha de Triagem de Resíduos de Cemitérios: compartimento junto do Parque de Verdes, onde dão entrada os resíduos recolhidos dos cemitérios, e são triados e selecionados os resíduos que serão incorporados no processo de compostagem.

Na Central de Valorização Orgânica, o caudal a tratar de ar a desodorizar é de 410000 Nm³/h sendo o tratamento feito mediante um processo de lavagem e biofiltração (área total do biofiltro: 3130 m²). O sistema de biofiltração confere uma elevada flexibilidade ao sistema de desodorização, uma vez que, para além de permitir obter elevados níveis de tratamento do ar contaminado, assegura uma grande capacidade de regulação e de intervenção, o que torna o sistema altamente fiável. Com este sistema de tratamento integral do ar em circulação no interior dos edifícios assegura-se, assim, a não-emanção, para o exterior, de odores desagradáveis. A exaustão para o exterior dos gases tratados é feita por um conjunto de 3 condutas verticais dotadas de ventiladores axiais, assegurando-se, assim, uma rápida e eficiente dispersão do ar tratado. (LIPOR, 2021)

3.3.2 Emissões de GEE da CVO

Em 2020, a Lipor inaugurou uma Central Fotovoltaica para autoconsumo na cobertura da estrutura da Central de Valorização Orgânica, permitindo assim, reduzir as emissões indiretas da Central, já que a eletricidade consumida passa a ser vinda de fontes renováveis, ao contrário do cenário anterior em que a energia importada da rede elétrica incluía, por norma, uma boa percentagem de combustíveis fósseis. No entanto, para o presente trabalho foram utilizados valores de referência presentes no Relatório Integrado, pelo que já é considerado o autoconsumo vindo de energia renovável.

As emissões podem ser divididas em 3 âmbitos: Emissões Diretas, Emissões Indiretas e Outras Emissões Indiretas, sendo que a principal fonte de emissões são as Emissões Diretas. As Emissões Diretas, dividem-se nas diferentes categorias:

- Tratamento e Valorização de Resíduos
- Consumo de combustíveis em instalações
- Transportes e Mobilidade
- Máquinas móveis

As Emissões Indiretas consistem nas emissões indiretas da eletricidade (de acordo com o mix energético que é consumido), bem como deslocações em serviço, incluindo o transporte do composto desde a Lipor até ao cliente. Os valores utilizados são correspondentes ao ano de 2020, que estão presentes na Figura 45.

VALORES EM tCO ₂ e	2006	2018	2019	2020	Δ2019-20	Δ2006-20
2006 = 100%	100%	80,3%	79,0%	76,8%		
TOTAL EMISSÕES GEE LIPOR - METAS 3M	402 807	323 544	318 264	309 159	-2,9%	-23%
ÂMBITO 1 - Emissões Diretas	401 011	321 460	315 846	307 322	-2,7%	-23%
Tratamento e Valorização de Resíduos	399 635	320 377	314 594	306 554	-2,6%	-23%
Confinamento Técnico	191 464	97 549	92 202	86 887	-6%	-55%
Valorização Orgânica (CVO)	4 393	7 755	8 084	6 937	-14%	58%
Valorização Energética (CVE)	203 778	215 074	214 309	212 729	-1%	4%
Consumo combustíveis em instalações	805	456	553	202	-64%	-75%
Gás Natural	805	435	540	193	-64%	-76%
Centro Triagem (RMM)	4,3					
Central Valorização Orgânica (CVO)	33	109	154	130	-15%	292%
Central Valorização Energética (CVE)	760	317	373	34	-91%	-96%
LIPOR Geral	8	9	13	29	127%	265%
Gasóleo (CVE)	N.D.	20,70	12,66	8,5	-33%	
Transportes e Mobilidade	570	627	699	567	-19%	-1%
Frota Própria	314	209	269	175	-35%	-44%
Frota Ligeiros	57					
Frota Pesados	206					
Frota Ecofone	51					
Máquinas móveis	256	418	430	392	-9%	53%
Centro Triagem (RMM)	256	144	138	152	10%	-41%
Central Valorização Orgânica (CVO)	N.D.	227	260	240	-8%	
Confinamento Técnico (Aterro da Maia)	N.D.	47	32	0	-100%	
ÂMBITO 2 - Emissões Indiretas (Market Based)	1 749	1 868	2 080	1 567	-25%	-10%
Centro Triagem (RMM)	230					
Central Valorização Orgânica (CVO)	1 117	1 738	1 992	1 567	-21%	40%
Central Valorização Energética (CVE)	0	0	0	0		
Confinamento Técnico (CT)	0	130	88	0	-100%	
LIPOR Geral	401	0	0	0		
Âmbito 2 - Emissões Indiretas (Location Based)			1 985	1 571		
ÂMBITO 3 - Outras Emissões Indiretas	47	216	339	270	-25%	471%
Deslocações em Serviço	47	37	96	17	-82%	-63%
Comboio	0,5	0,4	0,7	0,1	-80%	-69%
Avião	47	36	93	17	-82%	-64%
Viatura particular (aluguer)	N.D.	0,4	0,1	0,2	74%	
BUS/Coach (aluguer)	N.D.	0,4	2,1	0,3	-86%	
Frota terceiros (transporte escórias, sucatas e cinzas)	N.D.	179	243	252	4%	
Valores em tCO ₂ e	2006	2018	2019	2020		
Âmbito 1 - Emissões Diretas	401 011	321 460	315 846	307 322	-3%	-23%
Âmbito 2 - Emissões Indiretas (eletricidade)	1 749	1 868	2 080	1 567	-25%	-10%
Âmbito 3 - Outras Emissões Indiretas	47	216	339	270	-20%	471%
TOTAL LIPOR	402 807	323 544	318 264	309 159	-3%	-23%
Redução face a 2006 (%)		-19,7%	-21,0%	-23,2%	-100,0%	
Redução face a 2006 (t CO ₂ e)		-79 263	-84 543	-93 648	-402 807	

N.D. não definido

Figura 45 - Emissões de GEE da Lipor (Lipor, 2020)

Este método de cálculo tem uma incerteza associada, sendo que, as emissões, comparativamente às outras vertentes da análise, podem ser sobrevalorizadas face ao potencial em aterro.

Além das emissões de GEE da CVO, foi também considerado o impacto ambiental dos funcionários da Central. Considerando um valor médio de transporte para o número de funcionários da CVO, é possível chegar a uma estimativa do impacto ambiental adicional que a vertente da compostagem industrial pode representar, para as 414 toneladas de biorresíduos tratadas na Lipor.

3.4 Impacte ambiental resultante da utilização de composto

A utilização de composto permite reduzir o uso de fertilizantes químicos e pesticidas, o que implica uma redução de gases de efeito de estufa emitidos na sua produção e aplicação. Além disso, apresenta um efeito positivo na estrutura do solo, aumentando a sua capacidade para reter humidade, reduzindo ainda a necessidade de irrigação em períodos de seca. Ao aplicar o composto nos solos, o carbono biogénico é retido nos solos, evitando que este seja libertado diretamente para a atmosfera. Uma maior capacidade de retenção de água melhora a funcionalidade dos solos, reduzindo assim o consumo de energia ao serem lavrados. Uma melhor retenção de água (a matéria orgânica do solo pode absorver até 20 vezes o seu peso em água) pode contribuir para evitar a desertificação dos solos e impedir inundações. Finalmente, a utilização de composto contribui para a luta contra a perda contínua de matéria orgânica dos solos nas regiões temperadas. (Comissão das Comunidades Europeias, 2008)

No caso concreto do composto Nutrimais, a aplicação regular de NUTRIMAIS nos solos agrícolas promove a manutenção ou aumento do teor de matéria orgânica desses solos bem como o fornecimento de uma alargada gama de nutrientes, libertando-os de forma gradual ao longo do tempo. À medida que vai sendo decomposto pela flora microbiana do solo os nutrientes são retidos e evita-se a sua lavagem para a toalha freática ou cursos de água. (LIPOR, 2019)

Os impactos ambientais associados à aplicação do Nutrimais no solo foram calculados no valor de 1649 kg CO₂ eq evitados/tonelada de composto, quando comparado com um fertilizante químico, num estudo de Análise de Ciclo de Vida do composto Nutrimais. (LIPOR, 2019)

Neste sentido, o impacto ambiental resultante da utilização do composto, é um resultado negativo. Ou seja, a aplicação de um composto orgânico ao invés de um outro tipo de fertilizante, resulta em emissões evitadas, majoradas através de fatores de emissão.

Para este estudo, nesta secção, pretende-se calcular o benefício na aplicação de um composto orgânico nos solos. Foram considerados valores médios de acordo com Relatórios Europeus, valores estes que são considerados em diversas folhas de cálculo para cálculos de emissões de GEE em atividades de gestão de resíduos, inclusive biorresíduos.

Na Figura 46, está sinalizado o valor do fator de emissão para biorresíduos de 8 kg CO₂ eq por tonelada de material. Este valor de fator de emissão corresponde ao benefício da aplicação de um composto orgânico face a um outro fertilizante orgânico (turfa). (AG, 2008)

Numa comparação face a um fertilizante químico, o benefício total, no que diz respeito a gases de efeito de estufa seria superior, uma vez que a produção de um fertilizante químico, implica emissões superiores.

Material Waste Stream	Item	CO ₂ emissions	Benefit (+) / Burden (-)
		kg CO ₂ -equivalent	kg CO ₂ -equivalent
Textiles	Ship transport of textiles	32	
	Production 1 t cotton (1/3)	10,500	2,818
	Production 1 t of polyester (2/3)	3,300	
	Substituted textile (substitution factor = 0.5)	2,850	
	Co-incineration of textiles	400	1,570
Substitution of fossil fuels	1,970		
Rubber	Material recovery of used tyres for asphalt use and associated uses	460	1,800
	Substituted materials and energy by recovery of used tyres	2,260	
	Co-incineration of waste tyres	1,940	1,000
Substitution of fossil fuels	2,940		
Biowaste	Compost production and application	87	8
	Production and use of fertilizer and organic substance (e.g peat) in a functional equivalent to compost	95	
	Compost production and application (carbon sink allocated)	35	60
	Production and use of fertilizer and organic substance (e.g peat) in a functional equivalent to compost	95	
	Anaerobic digestion, energy generation and compost production of biowaste	57	81
	Electricity and heat substitution and substitution of compost application	138	
	Anaerobic digestion, energy generation and compost production of biowaste (carbon sink allocated)	-8	146
Electricity and heat substitution and substitution of compost application	138		

Figura 46 - Emissões evitadas por tipo de material (AG, 2008)

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos, de acordo com a metodologia adotada no capítulo anterior. A quantificação, inicialmente, é realizada separadamente para cada fração do sistema e, posteriormente, uma quantificação total do impacto ambiental (relativamente às alterações climáticas) do sistema completo Viana Abraça. Por fim, é feito o balanço de 3 diferentes cenários do projeto, comparado com uma possível implementação de um cenário no futuro, assim como sugestões futuras para o projeto.

4.1 Transportes

De acordo com a metodologia apresentada previamente, foram calculados os fatores de emissão para os 3 gases de efeito de estufa (N_2O , CH_4 e CO_2), sendo que para N_2O e CH_4 foi tido em conta a tipologia do trajeto, assim como o tipo de tecnologia de motor. Para o CO_2 , o balanço é mais “grosseiro”, considerando-se apenas o combustível consumido e a sua tipologia de percurso. No Anexo A, está presente uma tabela com o cálculo destes fatores, assim como a comparação com os fatores de emissão “padrão” para cada tipo de tecnologia de motor.

Na tabela 25 estão apresentados os valores obtidos, no que diz respeito a pegada carbónica anual para os dois tipos de percursos. De referir que, para o Percurso 1, os resultados são dados para duas viaturas (recolha + lavagem), já que uma acompanha a outra. No Percurso 2, os valores são correspondentes somente a 1 viatura.

Tabela 25 - Balanço da pegada carbónica anual da recolha e transporte anual

Percurso	Emissões GEE (kg CO_2 eq)			Pegada carbónica (kg CO_2 eq)
	N_2O (kg CO_2 eq)	CH_4 (kg CO_2 eq)	CO_2 (kg CO_2 eq)	
Percurso 1 (Recolha)	275.46	3.16	22611.47	22890.09
Percurso 2 (LIPOR)	261.43	2.99	21459.40	21723.82

É possível perceber, não só pela comparação dos fatores de emissão, como dos resultados apresentados que, o peso do N₂O e CH₄ face ao CO₂ é residual. No Percurso 1, as emissões de N₂O + CH₄ representam 1,2% da pegada carbónica total (das 2 viaturas). No Percurso 2, as emissões de N₂O + CH₄ representam também 1,2% da pegada carbónica total. Esta pequena diferença deve-se, principalmente, ao facto de, em autoestrada, as emissões de metano serem inferiores (cerca de 40%) a percursos urbanos.

De seguida, na Tabela 26, estão apresentados os valores da pegada carbónica para cada percurso, desta vez num balanço por quilómetro (kg CO₂ eq/km) e por circuito (kg CO₂ eq/circuito). Considerou-se a pegada carbónica anual e a média de distância dos circuitos de recolha, para o ano de atividade de 2020.

Tabela 26 - Balanço da pegada carbónica por circuito e por km para os dois tipos de percursos

Percurso	Pegada carbónica por circuito (kg CO ₂ eq/circuito)	Pegada carbónica por km (kg CO ₂ eq/km)
Percurso 1 (Recolha)	88.77	0.87
Percurso 2 (LIPOR)	139.26	0.87

Considerando os balanços de emissões e quilómetros anuais, constata-se que o Percurso 1 emite menos por percurso, já que a distância é 3 vezes inferior e a tipologia de trajeto difere. No entanto, são consideradas as 2 viaturas. Para a avaliação de pegada carbónica por quilómetro, os dois Percursos apresentam valores semelhantes, tendo em conta que o Percurso 1 é realizado por 2 viaturas.

Foi possível ainda fazer o balanço das emissões por quilómetro por tonelada recolhida, para a viatura de recolha seletiva apenas, considerando os dados de recolha de 2021, resultante dos registos dos SMVC até dezembro, representado pela Figura 47.

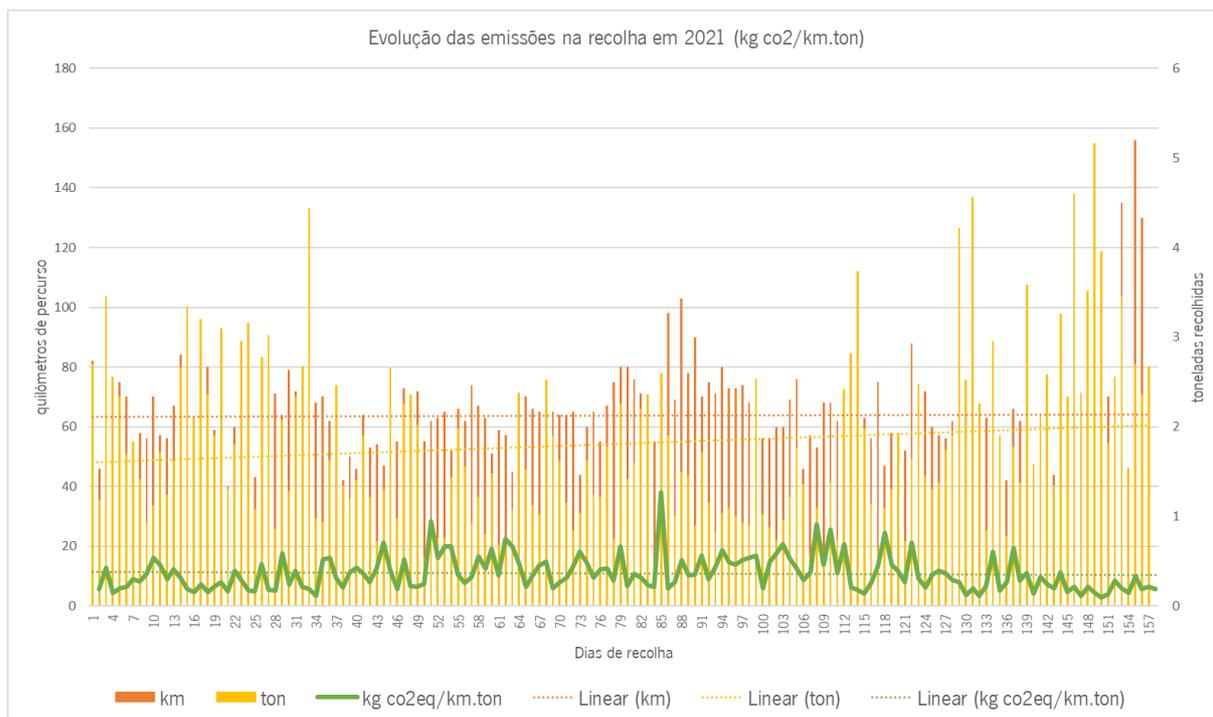


Figura 47 - Evolução das emissões na recolha em 2021

Deste gráfico, é possível retirar conclusões quanto à eficiência do transporte (à semelhança da Figura 28) no ano de 2021, e relativamente às emissões no mesmo ano. Durante o ano de 2021, assistiu-se a um aumento gradual das toneladas recolhidas por percurso. A média de quilómetros de cada percurso foi de 64 km, para este período. No que diz respeito às emissões por quilómetro e tonelada recolhida, o valor médio foi de 0.36 kg CO₂ eq/ton.km, sendo que o valor máximo deste valor (1.09 kg CO₂ eq/ton.km) registou-se num percurso de 55 quilómetros, em que apenas foram recolhidos 400 kg de biorresíduos.

De forma a avaliar o serviço de transporte, a ERSAR avalia a qualidade do serviço de recolha indiferenciada e recolha seletiva, em emissões de CO₂ por tonelada recolhida. De acordo com o relatório de 2020, as emissões de CO₂ por tonelada de resíduos tem vindo a aumentar na recolha seletiva.

A análise da ERSAR considera a recolha seletiva referente à recolha multimaterial, para entidades em baixa e alta, estabelecendo valores de referência disponíveis na Tabela 27. Sendo este processo de recolha, um processo de recolha seletiva de biorresíduos, espera-se que as emissões por tonelada sejam superiores, dada a diferença de peso específico dos biorresíduos alimentares face aos resíduos multimateriais (cartão, metal, plástico, vidro). (RASARP, 2020)

Tabela 27 - Avaliação da qualidade de serviço de recolha seletiva (adaptado de (RASARP, 2020))

	Valores de referência (kg CO ₂ /ton)
Qualidade do serviço boa	
Área predominantemente urbana	[0;40]
Área mediamente urbana	[0;50]
Área predominantemente rural	[0;60]
Qualidade do serviço mediana	
Área predominantemente urbana]40;50]
Área mediamente urbana]50;60]
Área predominantemente rural]60;70]
Qualidade do serviço insatisfatória	
Área predominantemente urbana]50; ∞[
Área mediamente urbana]60; ∞[
Área predominantemente rural]70; ∞[

Foi feita a análise do serviço da recolha seletiva, considerando uma área mediamente urbana e um serviço em baixa, chegando a um valor de 27.65 kg CO₂ eq/ton considerando apenas a viatura de recolha. O valor aumenta para o dobro se for considerado o conjunto viatura de recolha mais viatura de lavagem. Na Tabela 28, é possível analisar esses dados.

Tabela 28 - Avaliação do parâmetro RU16 para a recolha seletiva

Considerações	Recolha + lavagem			Recolha apenas		
	Mediamente Urbana			Mediamente Urbana		
kg CO ₂ /ton	50	55.29	60	0	27.65	50
Média nacional	43 kg CO ₂ /ton					
Avaliação	Qualidade do serviço mediana			Qualidade do serviço boa		

Desta maneira, embora o método de avaliação para os biorresíduos possa não estar adequado, o serviço de recolha seletiva dos biorresíduos para as viaturas utilizadas no Projeto Viana Abraça, demonstra ter uma qualidade boa de serviço, estando dentro dos valores limite para essa categoria.

4.2 Potencial de emissões em Aterro

O potencial em aterro das toneladas depositadas anualmente pode ser calculado de várias formas, entre elas, segundo a metodologia do *IPCC*. No entanto, pressupõe o cálculo do metano gerado correspondente aos resíduos indiferenciados totais depositados em aterro.

A primeira abordagem, como explicado anteriormente, consistiu em calcular o potencial de emissão de CH_4 em aterro segundo a metodologia do *IPCC* para o valor total de toneladas depositadas em aterro no ano de 2019. No Anexo D estão apresentados os valores considerados para as expressões 1.3, 1.4 e 1.5.

Como resultado, para o ano de 2019, foi obtido um valor de 32184 toneladas de CO_2 eq. Na Tabela 26 está apresentado o peso das 414 toneladas de biorresíduos em aterro, no valor total, que não chega a 1% do potencial anual de emissões em aterro.

Partindo de fatores de emissão potencial de metano para resíduos alimentares (biorresíduos alimentares domésticos), é possível chegar a um valor do potencial de libertação de CH_4 , resultante da degradação da matéria. Partindo do princípio de que o aterro em questão faz valorização energética do biogás produzido, é necessário descontar esse valor de metano que não é lançado para a atmosfera. São tidas em conta, ainda, as emissões fugitivas nos motogeradores que, de acordo com a literatura presente, considerou-se 5% do CH_4 gerado. Por fim, são contabilizados os valores de CH_4 emitidos diretamente para a atmosfera, através de emissões difusas, que constituem a principal fonte de fuga de GEE nesta tipologia de aterro. Na Tabela 29 estão apresentados os valores de CH_4 potencial em aterro, para as 414 toneladas recolhidas, assim como a conversão para CO_2 equivalente. (Mavridis & Voudrias, 2021)

Tabela 29 - Resultados dos parâmetros calculados de potencial de emissão em aterro

Parâmetro	Unidade	Valor
Toneladas recolhidas	ton	414
Potencial CH_4 / tonelada	kg CH_4 /ton	96
Potencial CH_4 anual	kg CH_4	39744

Potencial CH ₄ (emissões difusas)	kg CH ₄	7326
Emissões difusas em CO ₂ eq	kg CO ₂ eq	183138
Emissões fugitivas durante a combustão do biogás	kg CO ₂ eq	9156.9
Percentagem das emissões derivadas das 414 toneladas de biorresíduos face ao total em aterro	%	0.67

Estes indicadores revelam o peso das emissões de cada tonelada de biorresíduos em aterro, mesmo considerando que este faz valorização energética do biogás. Sendo as emissões difusas 18,43% (perto de 1/5 do potencial de CH₄ gerado em aterro), percebe-se que a deposição em aterro de biorresíduos alimentares continuará a ser uma prática não recomendada do ponto de vista de emissões de gases de efeito de estufa.

Pode ser ainda tirada uma outra conclusão destes dados: o potencial que está por atingir. Tendo em conta que as características físicas dos resíduos urbanos depositados em aterro (% em biorresíduos) se mantém entre os 35 e os 40%, pode-se analisar um cenário hipotético em que 0% de biorresíduos alimentares são depositados em aterro, chegando a um valor de 14606 ton CO₂ eq. Esse valor representa uma redução de perto de 50% das emissões em aterro (considerando que resíduos verdes, resíduos têxteis e madeiras continuam a ser depositados em aterro). Esses dados estão apresentados no Anexo D.

4.3 Compostagem

No processo de compostagem industrial, realizada na Lipor, a pegada carbónica foi calculada de acordo com o registo de emissões da instalação. Assim que os biorresíduos alimentares dão entrada na Central de Valorização Orgânica, são incorporados num processo de transformação até transformação num composto final.

Este processo gera emissões diretas e indiretas, discriminadas no Relatório Integrado da Lipor. Desta forma, tendo em conta os dados apresentados, foi feito um balanço de modo a perceber as emissões geradas durante o tratamento dos biorresíduos alimentares na CVO.

Os dados utilizados são correspondentes a 2019, tanto no que diz respeito às emissões da CVO como das toneladas de biorresíduos tratadas. Aproximadamente, foi possível chegar ao valor de 73.64 toneladas de kg CO₂ eq, para tratamento do valor de 414 toneladas enviadas para a Lipor.

4.4 Pegada carbónica dos funcionários das instalações

Para efeito de comparação dos cenários, foi ainda calculada uma estimativa do valor de impacte ambiental para as instalações da Resulima e da Lipor. Desta forma, é possível perceber o benefício adicional que pode ter o desvio de biorresíduos de aterro da Resulima, assim como avaliar o impacte ambiental adicionado pela Lipor ao fazer a compostagem dos biorresíduos alimentares recolhidos em Viana do Castelo. A Tabela 30 revela os resultados.

Foi considerado, assim, uma média de quilómetros efetuados por dia, por trabalhador, por instalação (cálculos presentes no Anexo D). As instalações da CVO na Lipor alocam 30 funcionários, enquanto a Resulima emprega 91 funcionários, incluindo administrativos.

Tabela 30 - Pegada carbónica dos funcionários para cada instalação

Parâmetro	Unidade	Valor
Pegada carbónica nas instalações da Resulima	kg CO ₂ eq	211.15
Pegada carbónica nas instalações da Lipor	kg CO ₂ eq	932.47

O valor da pegada carbónica na Lipor é superior, uma vez que, para as 414 toneladas de biorresíduos alimentares, a utilização de recursos humanos é superior à Resulima, em que o impacto é diluído por um número de funcionário três vezes superior. Além disso, existe um peso diferente das 414 toneladas de biorresíduos alimentares comparados ao total tratado em cada instalação: 414 toneladas dum total de 123885 (Resulima), face às 414 toneladas num total de 9248 (CVO da Lipor).

4.5 Emissões evitadas pela utilização de um corretivo orgânico

No final do processo de produção do composto Nutrimais, a sua aplicação no solo deve ser considerada como “emissões evitadas”, já que constitui uma alternativa à aplicação de outros tipos de fertilizante.

Para o valor calculado, foram contabilizadas as 414 toneladas de biorresíduos, e o resultado dessa matéria-prima em composto. Tendo em conta o fator de emissão recomendado (8 kg CO₂ eq/tonelada aplicada), é possível chegar a um valor de 3312 kg CO₂ eq evitadas, face à utilização de um fertilizante como a turfa. (AG, 2008)

4.6 Quantificação da pegada carbónica atual

Num cenário de valorização dos biorresíduos alimentares domésticos na CVO da Lipor, incluindo o transporte e recolha dos mesmos, é possível chegar a um valor em kg CO₂ equivalente. Este mesmo valor isolado pode não ser relevante se não houver um termo de comparação, pelo que, no capítulo seguinte será feita essa comparação.

Num horizonte temporal de 1 ano, considerando os dados de 2019, este processo (recolha + valorização) totaliza cerca de 119,3 toneladas de CO₂ eq.

Na Figura 48 é possível verificar a ponderação das 3 fases do processo e o respetivo peso na quantificação final. O processo de transporte (conjunto) revela-se inferior ao processo de compostagem no que diz respeito a emissões de kg CO₂ equivalente.

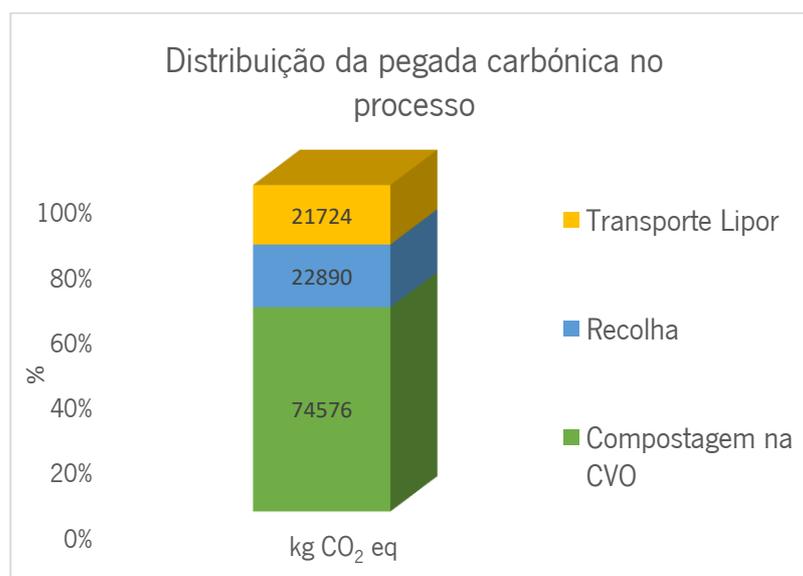


Figura 48 - Distribuição da pegada carbónica no processo

4.7 Balanço final dos 3 cenários do projeto Viana Abraça

Como balanço final, é importante comparar três tipos de cenários, como foi inicialmente proposto. Este balanço pode servir como uma base de informação para futuras melhorias no processo, assim como, perceber o impacto que pode ter o desvio de biorresíduos alimentares de aterro, no que diz respeito às emissões de GEE. Os três diferentes cenários são:

- Cenário 1 – Recolha de indiferenciados e deposição em aterro (cenário passado)
- Cenário 2 – Recolha seletiva de biorresíduos alimentares domésticos e encaminhamento para valorização nas instalações da Lipor (cenário atual)
- Cenário 3 – Recolha seletiva de biorresíduos alimentares domésticos e valorização em Viana do Castelo (possível cenário futuro)

Na Figura 49 é possível ver a comparação dos 3 cenários. A nível de emissões é possível verificar que o cenário atual diminui o potencial de emissão de GEE em cerca de 77 ton de CO₂ eq, face a um cenário de deposição direta de biorresíduos em aterro. O cenário 3 constitui ainda uma boa oportunidade para reduzir as emissões de GEE, através da utilização de biocompostores para o processo de produção de um composto. As emissões de GEE durante o processo de compostagem nos biocompostores ainda se encontram em estudo, para este caso prático. Dessa forma, foi considerado, numa comparação de cenários, que as emissões de GEE nos biocompostores são idênticas às emissões de GEE nas instalações da Lipor. Além disso, a este valor de emissões no Cenário 3, teria que ser adicionado o valor correspondente às emissões num necessário circuito de recolha de resíduos verdes para incorporação no processo de compostagem. No Anexo C, estão apresentadas as opções dos biocompostores.

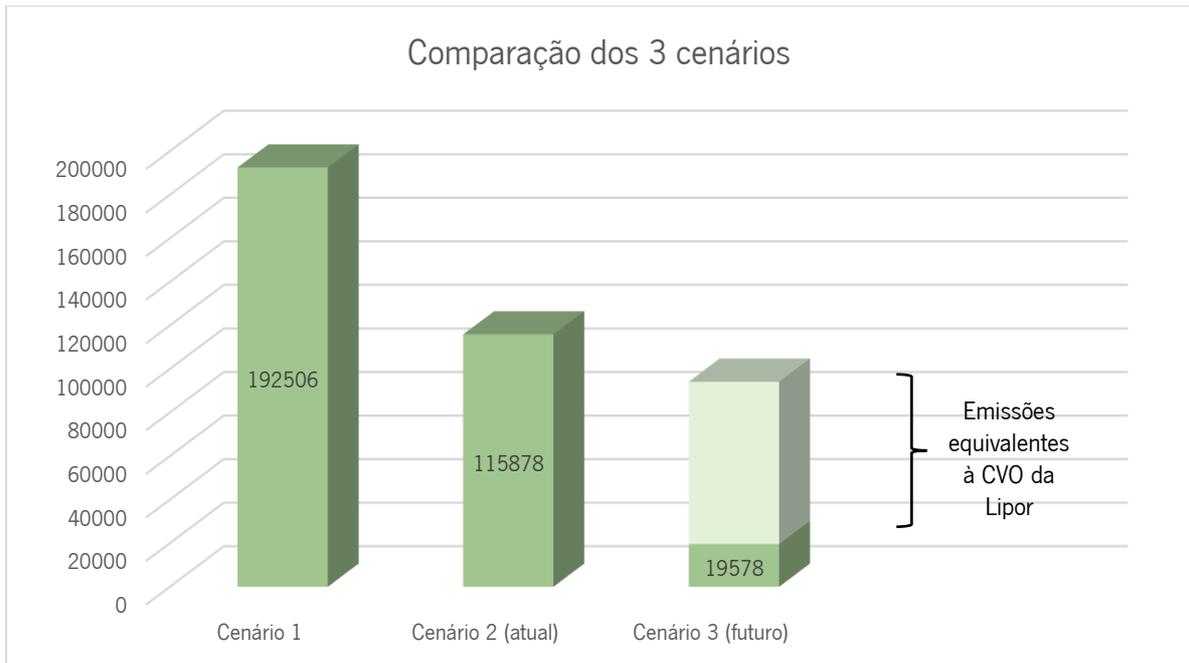


Figura 49 - Balanço Final dos 3 cenários

É possível ainda, representado na Figura 50, colocar em perspetiva estes 3 cenários, face ao potencial de emissões de CO₂ eq noutras 2 ocasiões:

- Cenário de deposição em aterro sem recuperação de biogás (CH₄ presente nos biorresíduos libertado diretamente para atmosfera);
- O potencial de emissões evitadas pela compostagem doméstica (considerando a capacidade instalada pelo projeto Viana Abraça).

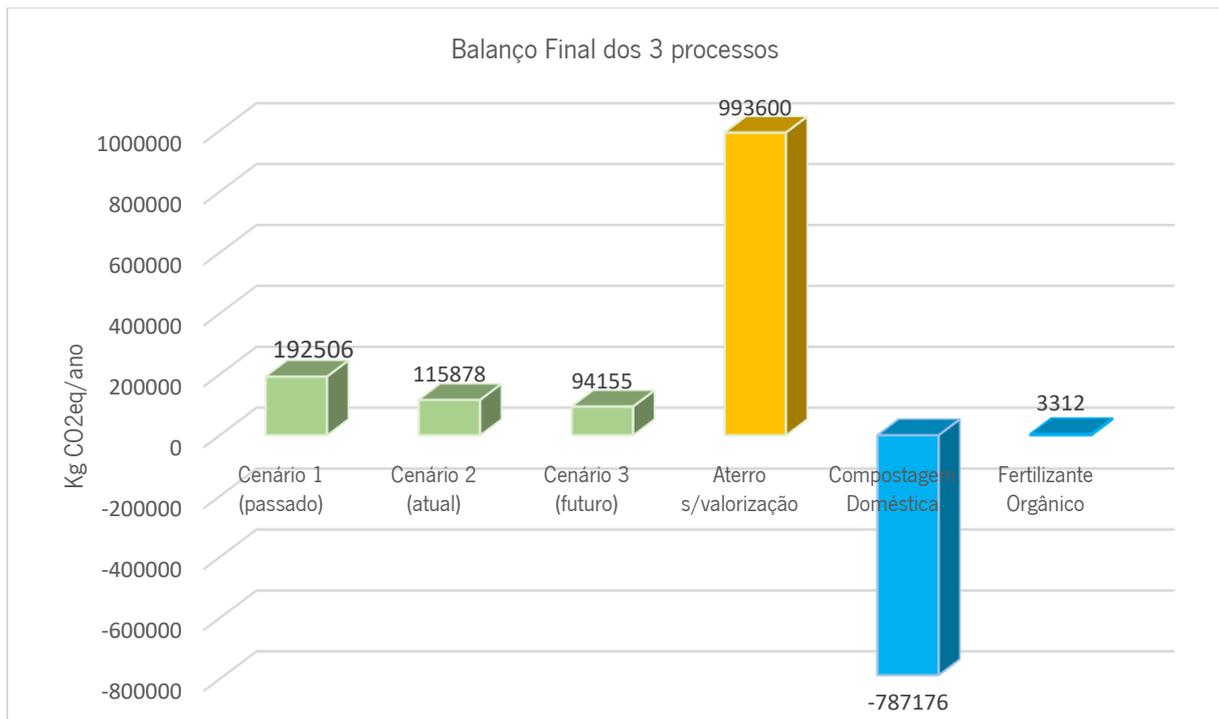


Figura 50 - Comparação dos 3 cenários face ao potencial de CH₄ em aterro sem valorização e emissões evitadas pela compostagem doméstica

Atendendo que a capacidade instalada de compostores domésticos na área rural de Viana do Castelo é superior ao potencial de captação de biorresíduos alimentares na área urbana, é possível entender que o potencial de emissões evitadas através da compostagem doméstica seja elevado. Isto deve-se ao facto de a compostagem doméstica dispensar a recolha de biorresíduos (emissões no transporte + valorização), ao mesmo tempo que desvia biorresíduos de aterro.

O metano gerado na compostagem doméstica resultante da degradação da matéria orgânica é mínimo quando comparado ao potencial de emissão de metano para a atmosfera em aterro ao longo dos anos (considerando que o composto produzido é aplicado no solo). De acordo com a literatura, considerando CH₄ e N₂O, as emissões seriam de 100 a 239 kg CO₂ eq por cada 1000 toneladas. (Andersen et al., 2010)

Um outro indicador foi avaliado, considerando uma taxa de captura superior aos 16% (414 toneladas). Tendo em contas os dados indicados no relatório dos SMVC de 2020, avaliou-se um cenário de taxa de captura de 100% (2518 toneladas). Permite, dessa forma, avaliar o potencial benefício ambiental nessas condições. Se forem recolhidas 2518 toneladas de biorresíduos anuais, o benefício ambiental pode ser de cerca de 617 toneladas de CO₂ eq evitadas, equivalente a cerca de 2,5 milhões de quilómetros percorridos por um veículo ligeiro a combustão.

4.8 Vantagem económica na compostagem local

Na sequência do cenário 3, a compostagem local (biocompostores em Viana do Castelo) constitui uma vantagem ambiental, no entanto, deve ser estudada a eficiência dos biocompostores e a necessidade de implementação de um circuito para recolha de biorresíduos verdes.

Posto isto, pode-se analisar este cenário do ponto de vista económico, surgindo assim uma oportunidade. O cenário 3 pressupõe a eliminação do percurso Resulima-Lipor por parte dos SMVC que, atualmente, do ponto de vista económico não é vantajoso, já que esses biorresíduos são “oferecidos” à Lipor. Do ponto de vista económico, é possível analisar a oportunidade de poupança para os SMVC, ao eliminar este trajeto.

Desta maneira, foi calculado, aproximadamente, o preço desse trajeto, resultando em cerca de 70 euros por trajeto, traduzido para cerca de 9500 euros anuais, independentemente das toneladas transportadas, considerando portagens e preço do combustível (à data de novembro de 2021). No Anexo D estão apresentados os cálculos acessórios deste capítulo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo são tecidas algumas conclusões acerca do trabalho desenvolvido, assim como sugestões para o futuro do Projeto Viana Abraça.

5.1 Conclusões

Os primeiros 2 capítulos permitiram fazer uma recolha de informação sobre a temática dos biorresíduos alimentares e as potenciais emissões de gases de efeito de estufa envolvidas, perceber o ponto de situação da Europa e de Portugal face a esta temática, enquadrando os objetivos para mitigação das alterações climáticas no setor. Foi, também, apresentado o Projeto Viana Abraça que foi analisado no presente trabalho.

Posteriormente, foi exposta a metodologia adotada para a avaliação do impacte ambiental do projeto, recorrendo às fontes recomendadas pelo Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas (*IPCC*), bem como pelo Inventário Nacional de Emissões (NIR). O impacte ambiental do Projeto foi dividido em diferentes secções: emissões no transporte e recolha, potencial de emissões em aterro, emissões durante o processo de valorização orgânica, impacte ambiental dos funcionários, e, por fim, emissões evitadas pela aplicação de um corretivo orgânico nos solos. Para cada secção foi devidamente justificada a metodologia adotada.

Por fim, foi realizada a análise de resultados e o balanço de 3 diferentes cenários: passado, atual e futuro. Foi possível, desta forma, quantificar as emissões de GEE das diferentes fases que compõem a valorização dos biorresíduos alimentares, assim como perceber o impacto positivo do desvio de biorresíduos de aterro.

Para o estado atual do projeto, foi calculado um total de emissões de 119 ton CO₂ eq para o horizonte temporal de um ano. Face a um cenário de deposição em aterro do potencial de biorresíduos captados, a recolha seletiva evita a emissão de 77 ton CO₂ eq para a atmosfera. Foi possível ainda entender que, do ponto de vista ambiental, a utilização de biocompostores na cidade de Viana do Castelo para produção de um fertilizante orgânico pode trazer benefícios ambientais e económicos, contribuindo, desta forma, para o cumprimento das metas previstas no PERSU2020 e PERSU2020+.

5.2 Trabalhos Futuros

Durante a realização do trabalho, foi possível identificar vários fatores-chave para alcançar o objetivo principal: desviar biorresíduos de aterro e, conseqüentemente, reduzir emissões de gases de efeito de estufa.

Inicialmente, é possível perceber que, do ponto de vista ambiental, as emissões de GEE durante o transporte e recolha dos biorresíduos é pouco significativa, face ao potencial de emissões desses mesmos biorresíduos em aterro. Sabe-se que as toneladas desviadas de aterro estão diretamente relacionadas à adesão e envolvimento da população no projeto. Assim, uma maior adesão da população permitiria alcançar um menor valor de emissões de GEE emitidos para atmosfera. Desta forma, são sugeridos os seguintes tópicos para trabalhos futuros:

- Continuação da análise de possíveis aplicações de sacos compostáveis, adequados às condições de compostagem propostas;
- Implementação de biocompostores para compostagem centralizada em Viana do Castelo;
- Manutenção e fiscalização assídua dos sensores RFID dos contentores de proximidade;
- Otimização da lavagem;
- Fiscalização dos contentores de proximidade;
- Implementação de um sistema SAYT, de forma a compensar a população pela separação dos biorresíduos na origem;

BIBLIOGRAFIA

- A.Raval, V. R. (1989). *Observational determination of the greenhouse effect*. <https://www.semanticscholar.org/paper/Observational-determination-of-the-greenhouse-Raval-Ramanathan/793482c885a591067f64e730592007854c48a59f>
- AG, P. (2008). *Resource savings and CO 2 reduction potentials in waste management in Europe and the possible contribution to the CO 2 reduction target in 2020*. May 2008.
- Alto Minho TV. (2020). *SMVC mantém tarifas dos resíduos sólidos urbanos em 2021*. <https://www.altominho.tv/site/2020/12/07/servicos-municipalizados-de-viana-do-castelo-mantem-tarifas-dos-residuos-solidos-urbanos-em-2021/>
- Ambiente, S. de E., & Ação Climática, M. do A. (2020). *Biorresíduos: Contas certas nos resíduos*. 1–52. <https://eco.nomia.pt/contents/documentacao/2020-orientacoes-biorresiduos-v1.pdf>
- Andersen, J. K., Boldrin, A., Christensen, T. H., & Scheutz, C. (2010). Greenhouse gas emissions from home composting of organic household waste. *Waste Management*, 30(12), 2475–2482. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.07.004>
- APA. (2011). Plano Nacional de Gestão de Resíduos 2011-2020. *APA*, 128.
- APA. (2018). *PERSU 2020+ - Documento para discussão pública*. 1–148. https://apambiente.pt/_zdata/DESTAQUES/2019/PERSU2020/PERSU2020_Audicao_Publica_dez2018.pdf
- APA. (2020). *Inventário Nacional de Emissões 2020 Objetivos e metas*. 2020.
- APA. (2021a). *Antecedentes*. <https://apambiente.pt/residuos/antecedentes>
- APA. (2021b). *INERPA*. <https://apambiente.pt/clima/inventario-nacional-de-emissoes-por-fontes-e-remocao-por-sumidouros-de-poluentes-atmosfericos>
- APA. (2021c). *Portuguese national inventory report on greenhouse gases, 1990-2019*. 734. https://apambiente.pt/sites/default/files/_Clima/Inventarios/NIR20210415.pdf
- APA. (2021d). *Sistemas de Gestão e Infraestruturas*. <https://apambiente.pt/residuos/sistemas-de-gestao-e-infraestruturas>
- ARCADIS and EUNOMIA. (2010). Final Report on Assessment of the options to improve the management of Bio-waste in the European Union. *Assessment*, 07.
- Comissão das Comunidades Europeias. (2008). *LIVRO VERDE sobre a gestão dos bio-resíduos na União Europeia*. 2014, 12.
- Comissão Europeia. (2018). Directiva 2018/851/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 30 de Maio de 2018. *Jornal Oficial Da União Europeia*, 109–140. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0851>
- Conselho da União Europeia. (1999). Directiva 1999/31/CE. *Jornal Oficial Das Comunidades Europeias*, 182(10), 1–19.
- EEA. (2020). *Carbon Dioxide Emission from heavy duty vehicles*. <https://www.eea.europa.eu/themes/transport/heavy-duty-vehicles>
- ENT. (2021). *ENT*.
- Entreprises pour l'Environnement. (2010). *Protocol for the quantification of greenhouse gases emissions from waste management activities*. June, 46.
- European Environment Agency. (2020). *Bio-waste in Europe – turning challenges into opportunities (EEA Report No 04/2020)* (Issue 04). <https://www.eea.europa.eu/publications/bio-waste-in-europe>
- Fernandes, J., Mota, P., & Pinto, R. (2019). *Estudo prévio sobre a implementação da recolha seletiva em Portugal Continental incidindo em especial sobre o fluxo dos biorresíduos Relatório final*

- Agência Portuguesa do Ambiente. 1–93.
- Formato Verde. (2021). *Relatório Final - Recolha Seletiva de Orgânicos (VA-RSO)*.
- Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo, T. Berntsen, R. Betts, D.W. Fahey, J. Haywood, J. Lean, D.C. Lowe, G. Myhre, J. Nganga, R. Prinn, G. Raga, M. S. and R. V. D. (2007). Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cancer Biology and Medicine*, 15(3), 228–237. <https://doi.org/10.20892/j.issn.2095-3941.2017.0150>
- Franco, R. (2016). *Potencial Energético do Aterro Sanitário do Vale do Lima e Baixo Cávado através da produção de biogás com origem nos resíduos urbanos*.
- Galp. (2012). *Galp Air1 AdBlue Galp Air1 AdBlue*. 29–30.
- Governo Português. (2019). Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050. *Estratégia de Longo Prazo Para a Neutralidade Carbónica Da Economia Portuguesa Em 2050*, 2050, 9–24.
- Hull, C. (2009). *GHG Lifetimes and GWPs Hydrofluorocarbons Perfluorinated compounds*. 2–5.
- INE. (2014). *Estatísticas dos Resíduos 2014*.
- IPCC. (1990). *ipcc_far_wg_1_full_report.pdf*. In *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*.
- IPCC. (2006a). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Vol 5 Chapter 3 Solid Waste Disposal. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 4, 6.1-6.49. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20604432>
- IPCC. (2006b). Chapter 2: Waste generation and composition and management data. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 5(2), 23.
- Keller, M. (2010). *Handbook of Emission Factors for Road Transport, Version 2.1*. 1(June).
- Lipor. (2005). *Condições de Entrega na Central de Valorização Condições de Entrega na Central de Valorização Orgânica – Resíduos Orgânicos*. 1–6.
- Lipor. (2020). *Relatório Integrado*.
- LIPOR. (2009). *Guia Para Uma Gestão Sustentável Dos Resíduos*. 283.
- LIPOR. (2019). *Avaliação do Ciclo de Vida do Composto NUTRIMAIS*. <http://hdl.handle.net/10773/8476>
- LIPOR. (2021). *Monitorização Ambiental da Central de Valorização*. https://www.lipor.pt/fotos/editor2/PORTAL_2020/VALORIZAR/UNIDADES/cvo_monitorizacao_portal_2020.pdf
- Mavridis, S., & Voudrias, E. A. (2021). Using biogas from municipal solid waste for energy production: Comparison between anaerobic digestion and sanitary landfilling. *Energy Conversion and Management*, 247(September), 114613. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114613>
- Ministério do Ambiente. (2014). Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos. *Diário Da República, Persu 2020*, 1–86.
- Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. (2009). Decreto lei n.º 183/2009 de 10 de Agosto. *Diário Da República 1ª Série*, 153, 5170–5198.
- Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e Energia. (2015). *Despacho n.º 3350/2015, de 1 de abril, Diário da República n.º 64/2015, Série II de 2015-04-01. Persu*, 2014–2015.
- Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território. (2011). Decreto-Lei n.º 73/2011 de 17 de Junho. *Diário Da República*, 1–50.
- Ntziachristos, L., & Samaras, Z. (2019). EEA Road transport 2019. *EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2019 - 1.A3 - Road Transport*, 53(9), 1689–1699.
- OECD. (2021). *Municipal Waste*. <https://data.oecd.org/waste/municipal-waste.htm>
- Oliveira, C. (2012). *Contributo para a melhoria contínua da gestão de resíduos urbanos no concelho de Esposende: Caso dos resíduos orgânicos*.

- Pereira, T. C., Amaro, A., Borges, M., Silva, R., Pina, A., & Canaveira, P. (2019). *Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases, 1990 - 2017 Submitted Under the Art 5 and 7 of Regulation (Eu) No . 525 / 2013 of the European Parliament and of the Council on the Greenhouse Gas Monitoring Mechanism (Mmr). 525, 1990–2017.*
- Portal do Clima. (2021). *Portal do Clima*. <http://portaldoclima.pt/pt/>
- Presidência do Conselho de Ministros. (2020). Decreto-Lei n.º 102-D/2020 de 10 de dezembro. *Diário Da República*, 2, 3179–3182.
- Raquel Filipa Silva Gonçalves. (2013). *Análise das emissões difusas no Aterro Sanitário do Vale do Lima e Baixo Cávado*.
- RASARP. (2020). *Annual Report of Water and Waste Services in Portugal. (2020). Volume I - Characterization of the water and waste sector. Water and Waste Services Regulatory Entity (Vol. 1).*
- República, D. (2020). Programa de Apoio à Elaboração de Estudos Municipais para o Desenvolvimento de Sistemas de Recolha de Biorresíduos. *Despacho Governo Português*, 183–187.
- República, A. da. (2021). Alteração, por apreciação parlamentar, ao Decreto -Lei n.º 102 -D/2020. In *Diário da República*.
- Resulima. (2010). *Regulamento e plano de exploração*.
- Resulima. (2020). *Relatório de Contas 2020*.
- RNC2050. (2020). *Descarbonizar2050*.
<https://descarbonizar2050.apambiente.pt/descarbonizar2050/base-cientifica/>
- Silveira, A., Pina, J., & Brito, J. (2021). *Guia para o planeamento de sistemas de recolha de biorresíduos*.
- SMSBVC. (2016a). *Memória Descritiva de Operação*. <http://portal.smsbvc.pt/aguas-residuais>
- SMSBVC. (2016b). *Memória Descritiva de Operação EVEF*. <http://portal.smsbvc.pt/aguas-residuais>
- SMVC. (2019). *Orgânicos SMVC: Viana Abraça*. <https://organicos.smsbvc.pt/2019/12/20/a-camara-municipal-de-viana-do-castelo-aprovou-o-lancamento-do-concurso-para-as-obras-de-requalificacao-do-espaco-dos-contentores-viana-abraca/>
- SMVC. (2020a). *Compostagem Doméstica (VA-CD)*.
- SMVC. (2020b). *Organização*. <https://www.smvc.pt/quem-somos/organizacao>
- SMVC. (2021a). *Viana Abraça: Operação*. <https://organicos.smsbvc.pt/operacao/>
- SMVC. (2021b). *Viana Abraça - Orgânicos*. <https://organicos.smsbvc.pt/operacao/>
- TotalEnergies. (2020). *ADBlue vehicles*. <https://changeformblue.com/en/vehicles-adblue/what-is-scr-technology/>

ANEXO A – DOCUMENTAÇÃO DO *EMEP* E *NIR* PARA CÁLCULO DA PEGADA CARBÓNICA NOS TRANSPORTES

Table 3-37: Summary of calculation methods applied for the different vehicle classes and pollutants

Vehicle category	NO _x	CO	NMVOG	CH ₄	PM	N ₂ O	NH ₃	SO ₂	CO ₂	Pb	HM	EC
Petrol passenger cars												
Pre-ECE	A1	A1	A1	A2	-	A2	A2	D	D	D	D	A1
ECE 15/00-01	A1	A1	A1	A2	-	A2	A2	D	D	D	D	A1
ECE 15/02	A1	A1	A1	A2	-	A2	A2	D	D	D	D	A1
ECE 15/03	A1	A1	A1	A2	-	A2	A2	D	D	D	D	A1
ECE 15/04	A1	A1	A1	A2	-	A2	A2	D	D	D	D	A1
Improved conventional	A1	A1	A1	A2	-	A2	A2	D	D	D	D	A1
Open loop	A1	A1	A1	A2	-	A2	A2	D	D	D	D	A1
Euro 1 to Euro 6	A1	A1	A1	A1	B2	A2	A2	D	D	D	D	A1
Diesel passenger cars												
Conventional	A1	A1	A1	A1	A1	C	C	D	D	D	D	A1
Euro 1 to Euro 6	A1	A1	A1	A1	A1	C	C	D	D	D	D	A1
LPG passenger cars	A1	A1	A1	A2	-	C	-	-	D	-	-	A1
2-stroke passenger cars	C	C	C	C	-	C	C	D	D	D	D	C
E85 passenger cars	A1	A1	A1	A1	-	A2	A2	D	D	D	D	A1
CNG passenger cars	A1	A1	A1	A1	-	A2	A2	D	D	D	D	A1
Light commercial vehicles												
Petrol < 3.5 t conventional	A1	A1	A1	A2	-	A2	A2	D	D	D	D	A1
Petrol < 3.5 t Euro 1 to Euro 6	A1	A1	A1	A1	B2	A2	A2	D	D	D	D	A1
Diesel < 3.5 t conventional	A1	A1	A1	A2	A1	A2	A2	D	D	D	D	A1
Diesel < 3.5 t Euro 1 to Euro 6	A1	A1	A1	A2	A1	A2	A2	D	D	D	D	A1
Heavy-duty vehicles > 3.5 t												
Petrol conventional	C	C	C	C	-	C	C	D	D	D	D	C
Diesel conventional	B1	B1	B1	C	B1	C	C	D	D	D	D	B1
Diesel Euro I to Euro VI	B1	B1	B1	C	B1	C	C	D	D	D	D	B1
Buses and coaches conventional	B1	B1	B1	C	B1	C	C	D	D	D	D	B1
Buses and coaches Euro I to VI	B1	B1	B1	C	B1	C	C	D	D	D	D	B1
L-category vehicles												
Mopeds < 50 cm ³	B2	B2	B2	C	B2	C	C	D	D	D	D	B2
Motorcycles 2-stroke > 50 cm ³	B1	B1	B1	C	B2	C	C	D	D	D	D	B1
Motorcycles 4-stroke 50–250 cm ³	B1	B1	B1	C	B2	C	C	D	D	D	D	B1
Motorcycles 4-stroke 250–750 cm ³	B1	B1	B1	C	B2	C	C	D	D	D	D	B1
Motorcycles 4-stroke > 750 cm ³	B1	B1	B1	C	B2	C	C	D	D	D	D	B1
Mini-cars	B1	B1	B1	C	B2	C	C	D	D	D	D	B1
ATVs	B1	B1	B1	C	B2	C	C	D	D	D	D	B1

Figura 51 - Métodos de cálculo recomendados para diferentes classes de veículo e poluente (Ntziachristos & Samaras, 2019)

Table 3-47: Methane (CH₄) emission factors (mg/km)

Vehicle type	Fuel	Vehicle technology/class	Urban		Rural	Highway
			Cold	Hot		
Passenger cars	Petrol-Hybrid Petrol-PHEV	Conventional	201	131	86	41
		Euro 1	45	26	16	14
		Euro 2	94	17	13	11
		Euro 3	83	3	2	4
		Euro 4 and later	57	2.87	2.69	5.08
	Diesel-PHEV	Conventional	22	28	12	8
		Euro 1	18	11	9	3
		Euro 2	6	7	3	2
		Euro 3	3	3	0	0
		Euro 4	1.1	1.1	0	0
	Euro 5 and later	0.075	0.075	0	0	
LPG	All Technologies	80	80	35	25	
E85	All Technologies	57	2.87	2.69	5.08	
CNG	All Technologies	*	57.3	27.73	43.39	
Light commercial vehicles	Petrol	Conventional	201	131	86	41
		Euro 1	45	26	16	14
		Euro 2	94	17	13	11
		Euro 3	83	3	2	4
		Euro 4 and later	57	2	2	0
	Diesel	Conventional	22	28	12	8
		Euro 1	18	11	9	3
		Euro 2	6	7	3	2
		Euro 3	3	3	0	0
		Euro 4	1.1	1.1	0	0
		Euro 5 and later	0.0075	0.0075	0	0
Heavy-duty vehicles and buses	Petrol	All Technologies	-	140	110	70
	Diesel	GVW < 16t	-	85	23	20
		GVW > 16t	-	175	80	70
	Diesel-Biodiesel	Urban Buses and Coaches	-	175	80	70
		Hybrid Urban Buses	-	175	80	70
	Euro I	-		6800		

Figura 52 - Fatores de emissão de metano para diferentes categorias de veículos (Ntziachristos & Samaras, 2019)

Table 3-65: N₂O emission factors (mg/km) for heavy duty vehicles

HDV Category	Technology	Urban (g/km)	Rural (g/km)	Highway (g/km)
Petrol > 3.5 t	Conventional	6	6	6
Rigid 7.5-12 t	Conventional	30	30	30
	HD Euro I	6	5	3
	HD Euro II	5	5	3
	HD Euro III	3	3	2
	HD Euro IV	6	7.2	5.8
	HD Euro V	15	19.8	17.2
	HD Euro VI	18.5	19	15
Rigid and articulated 12-28 t and coaches (all types)	Conventional	30	30	30
	HD Euro I	11	9	7
	HD Euro II	11	9	6
	HD Euro III	5	5	4
	HD Euro IV	11.2	13.8	11.4
	HD Euro V	29.8	40.2	33.6
	HD Euro VI	37	39	29

Figura 53 - Fatores de emissão de N₂O para veículos pesados (Ntziachristos & Samaras, 2019)

Table 3-48: Methane (CH₄) emission reduction factors (%). Reductions are over Euro 1 for passenger cars, Euro I for heavy-duty vehicles and buses and the conventional technology for two-wheel vehicles

Vehicle type	Fuel	Vehicle technology/class	CH ₄ Emission Reduction Factors (%)			
			Urban	Rural	Highway	
Passenger cars	LPG	Euro 2	76	76	76	
		Euro 3	96.25	94.28	84	
		Euro 4	97.5	94.28	95	
Heavy-duty vehicles	Diesel	Euro II	36	13	7	
		Euro III	44	7	9	
		Euro IV	97	93	94	
		Euro V and later	97	93	94	
Buses	Diesel Biodiesel	Euro II	35	35	35	
		Euro III	41	41	41	
		Euro IV	97	97	97	
		Euro V and later	97	97	97	
L-category	Petrol	2-stroke < 50 cm ³ — Euro 1	80	80	80	
		2-stroke < 50 cm ³ — Euro 2	89	89	89	
		2-stroke < 50 cm ³ — Euro 3 and later	91	91	91	
		4-stroke < 50 cm ³ — Euro 1	80	80	80	
		4-stroke < 50 cm ³ — Euro 2	89	89	89	
		4-stroke < 50 cm ³ — Euro 3 and later	91	91	91	
		2-stroke > 50 cm ³ — Euro 1	34	29	35	
		2-stroke > 50 cm ³ — Euro 2	80	79	80	
		2-stroke > 50 cm ³ — Euro 3 and later	92	91	92	
		4-stroke < 250 cm ³ — Euro 1	29	28	34	
		4-stroke < 250 cm ³ — Euro 2	32	54	54	
		4-stroke < 250 cm ³ — Euro 3 and later	59	84	86	
		4-stroke 250-750 cm ³ — Euro 1	26	13	22	
		4-stroke 250-750 cm ³ — Euro 2	22	40	39	
		4-stroke 250-750 cm ³ — Euro 3 and later	53	79	82	
		4-stroke > 750 cm ³ — Euro 1	54	54	23	
		4-stroke > 750 cm ³ — Euro 2	58	69	49	
		4-stroke > 750 cm ³ — Euro 3 and later	75	89	85	
	ATVs		Euro 1	54	54	23
			Euro 2	58	69	49
Euro 3 and later			75	89	85	

Figura 54 - Fatores de correção de emissão de CH₄ para diferentes categorias de veículos (Ntziachristos & Samaras, 2019)

Heavy-Duty Vehicles	
Petrol	>3,5 t
Diesel	Rigid <=7,5 t
Diesel	Rigid 7,5 - 12 t
Diesel	Rigid 12 - 14 t
Diesel	Rigid 14 - 20 t
Diesel	Rigid 20 - 26 t
Diesel	Rigid 26 - 28 t
Diesel	Rigid 28 - 32 t
Diesel	Rigid >32 t
Diesel	Articulated 14 - 20 t
Diesel	Articulated 20 - 28 t
Diesel	Articulated 28 - 34 t
Diesel	Articulated 34 - 40 t
Diesel	Articulated 40 - 50 t
Diesel	Articulated 50 - 60 t

1.A.3.b.iii

N2: vehicles used for the carriage of goods and having a maximum weight exceeding 3.5 tonnes but not exceeding 12 tonnes.
N3: vehicles used for the carriage of goods and having a maximum weight exceeding 12 tonnes.

Figura 55 - Categorias de veículos pesados (Ntziachristos & Samaras, 2019)



National Inventory Report – Portugal



Category	Fuel	Segment	Euro Standard	CO2 fossil g/km	GH4 mg/km	N2O mg/km
Light Commercial Vehicles	Diesel	NI-I & NI-II	Euro 6 d/Temp	265.53	0.00	6.53
Light Commercial Vehicles	Diesel	NI-II & NI-III	Euro 6 d-temp	265.49	0.00	6.53
Heavy Duty Trucks	Diesel	<=20 t	Conventional	603.56	71.96	30.00
Heavy Duty Trucks	Diesel	<=20 t	Euro I	532.79	75.97	7.00
Heavy Duty Trucks	Diesel	<=20 t	Euro II	526.82	59.26	6.70
Heavy Duty Trucks	Diesel	<=20 t	Euro III	592.03	68.35	4.23
Heavy Duty Trucks	Diesel	<=20 t	Euro IV	577.21	4.52	11.37
Heavy Duty Trucks	Diesel	<=20 t	Euro V	562.00	4.63	32.79
Heavy Duty Trucks	Diesel	<=20 t	Euro VI A/B/C	566.94	4.69	33.04
Heavy Duty Trucks	Diesel	<=20 t	Euro VI D/E	571.29	4.74	33.34
Heavy Duty Trucks	Diesel	20 - 28 t	Conventional	931.62	108.04	30.00
Heavy Duty Trucks	Diesel	20 - 28 t	Euro I	810.39	108.04	8.75
Heavy Duty Trucks	Diesel	20 - 28 t	Euro II	787.13	82.10	8.28
Heavy Duty Trucks	Diesel	20 - 28 t	Euro III	817.60	77.49	4.53
Heavy Duty Trucks	Diesel	20 - 28 t	Euro IV	790.82	4.82	11.77
Heavy Duty Trucks	Diesel	20 - 28 t	Euro V	770.84	4.82	33.50
Heavy Duty Trucks	Diesel	20 - 28 t	Euro VI A/B/C	781.59	4.82	33.60
Heavy Duty Trucks	Diesel	20 - 28 t	Euro VI D/E	781.36	4.82	33.60
Heavy Duty Trucks	Diesel	>28 t	Conventional	1,135.30	108.04	30.00
Heavy Duty Trucks	Diesel	>28 t	Euro I	1,014.29	108.04	13.96
Heavy Duty Trucks	Diesel	>28 t	Euro II	1,004.20	82.10	13.55
Heavy Duty Trucks	Diesel	>28 t	Euro III	1,009.96	77.49	7.79
Heavy Duty Trucks	Diesel	>28 t	Euro IV	908.90	4.82	18.28
Heavy Duty Trucks	Diesel	>28 t	Euro V	883.17	4.82	51.37
Heavy Duty Trucks	Diesel	>28 t	Euro VI A/B/C	887.43	4.82	51.40
Heavy Duty Trucks	Diesel	>28 t	Euro VI D/E	887.43	4.82	51.40
Buses	Diesel	Urban Buses	Conventional	1,687.10	175.00	30.00
Buses	Diesel	Urban Buses	Euro I	1,503.31	175.00	12.00
Buses	Diesel	Urban Buses	Euro II	1,441.01	113.75	12.00
Buses	Diesel	Urban Buses	Euro III	1,445.75	103.25	6.00
Buses	Diesel	Urban Buses	Euro IV	1,280.45	5.25	12.80
Buses	Diesel	Urban Buses	Euro V	1,298.99	5.25	33.20
Buses	Diesel	Urban Buses	Euro VI A/B/C	1,374.11	5.25	41.50
Buses	Diesel	Urban Buses	Euro VI D/E	1,367.41	5.25	41.50
Buses	Diesel	Coaches	Conventional	733.32	75.29	30.00
Buses	Diesel	Coaches	Euro I	700.55	75.29	8.06
Buses	Diesel	Coaches	Euro II	704.46	48.94	7.59
Buses	Diesel	Coaches	Euro III	707.98	44.42	4.53
Buses	Diesel	Coaches	Euro IV	708.22	2.26	12.67
Buses	Diesel	Coaches	Euro V	747.53	2.26	37.09
Buses	Diesel	Coaches	Euro VI A/B/C	754.10	2.26	34.29
Buses	CNG	Urban CNG Buses	Euro I	1,535.19	6,800.00	1,000.00
Buses	CNG	Urban CNG Buses	Euro III	1,250.86	1,280.00	1,000.00
Buses	CNG	Urban CNG Buses	EEV	1,344.36	980.00	1,000.00
L-Category	Petrol	Mopeds 2-stroke <50 cm³	Conventional	82.37	219.00	1.00
L-Category	Petrol	Mopeds 2-stroke <50 cm³	Euro 1	66.53	43.80	1.00
L-Category	Petrol	Mopeds 2-stroke <50 cm³	Euro 2	66.53	24.09	1.00
L-Category	Petrol	Mopeds 2-stroke <50 cm³	Euro 3	66.53	19.71	1.00
L-Category	Petrol	Mopeds 2-stroke <50 cm³	Euro 4	66.53	19.71	1.00
L-Category	Petrol	Mopeds 4-stroke <50 cm³	Conventional	82.37	219.00	1.00

Figura 56 - Fatores de emissão para transporte rodoviário, no ano de 2019, em Portugal (APA, 2021c)

ANEXO B – FOLHA DE CÁLCULO DA PRODUÇÃO DE CH₄ EM ATERRO

INPUT REVIEW		Landfill Name or Identifier: Resulima
LANDFILL CHARACTERISTICS		
Landfill Open Year	1998	
Landfill Closure Year (with 80-year limit)	2021	
Actual Closure Year (without limit)	2021	
Have Model Calculate Closure Year?	No	
Waste Design Capacity		<i>megagrams</i>
MODEL PARAMETERS		
Methane Generation Rate, k	0.050	<i>year⁻¹</i>
Potential Methane Generation Capacity, L ₀	100	<i>m³/Mg</i>
NMOC Concentration	4 000	<i>ppmv as hexane</i>
Methane Content	59	<i>% by volume</i>
GASES / POLLUTANTS SELECTED		
Gas / Pollutant #1:	Total landfill gas	
Gas / Pollutant #2:	Methane	
Gas / Pollutant #3:	Carbon dioxide	
Gas / Pollutant #4:	Carbon monoxide	

Figura 57 - Inputs na folha de cálculo *Landgem*

4: ENTER WASTE ACCEPTANCE RATES

Input Units:

Year	Input Units (Mg/year)	Calculated Units (short tons/year)
1998	2 509	2 760
1999	61 220	67 342
2000	104 760	115 236
2001	106 883	117 571
2002	116 744	128 418
2003	121 657	133 823
2004	123 797	136 177
2005	128 069	140 876
2006	132 659	145 925
2007	131 804	144 984
2008	132 366	145 603
2009	133 080	146 388
2010	133 888	147 277
2011	120 856	132 942
2012	116 644	128 308
2013	116 060	127 666
2014	119 164	131 080
2015	117 561	129 317
2016	119 606	131 567
2017	120 846	132 931
2018	122 946	135 241
2019	124 996	137 496
2020	124 723	137 195
2021		

Figura 58 - Inputs de toneladas depositadas em aterro, na folha de cálculo *Landgem*

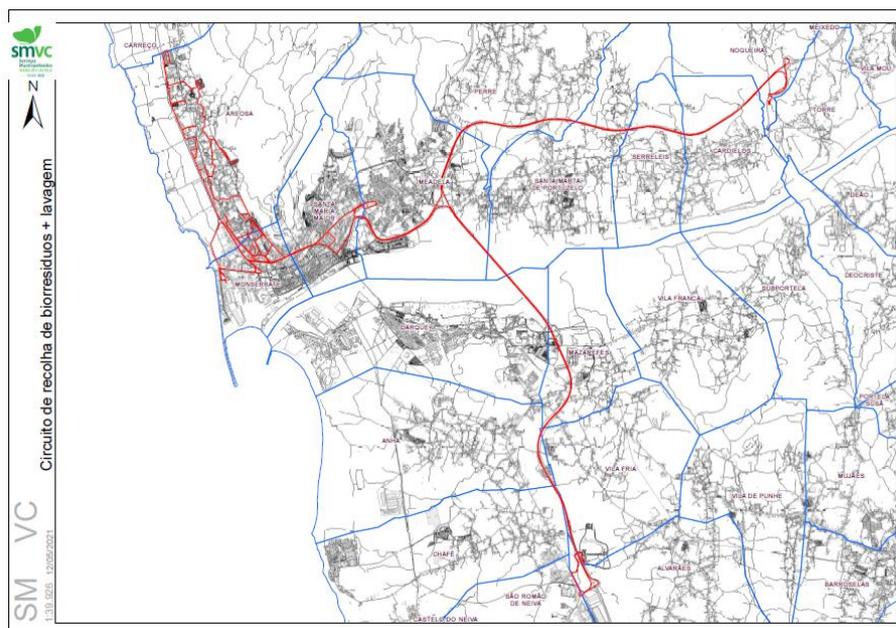
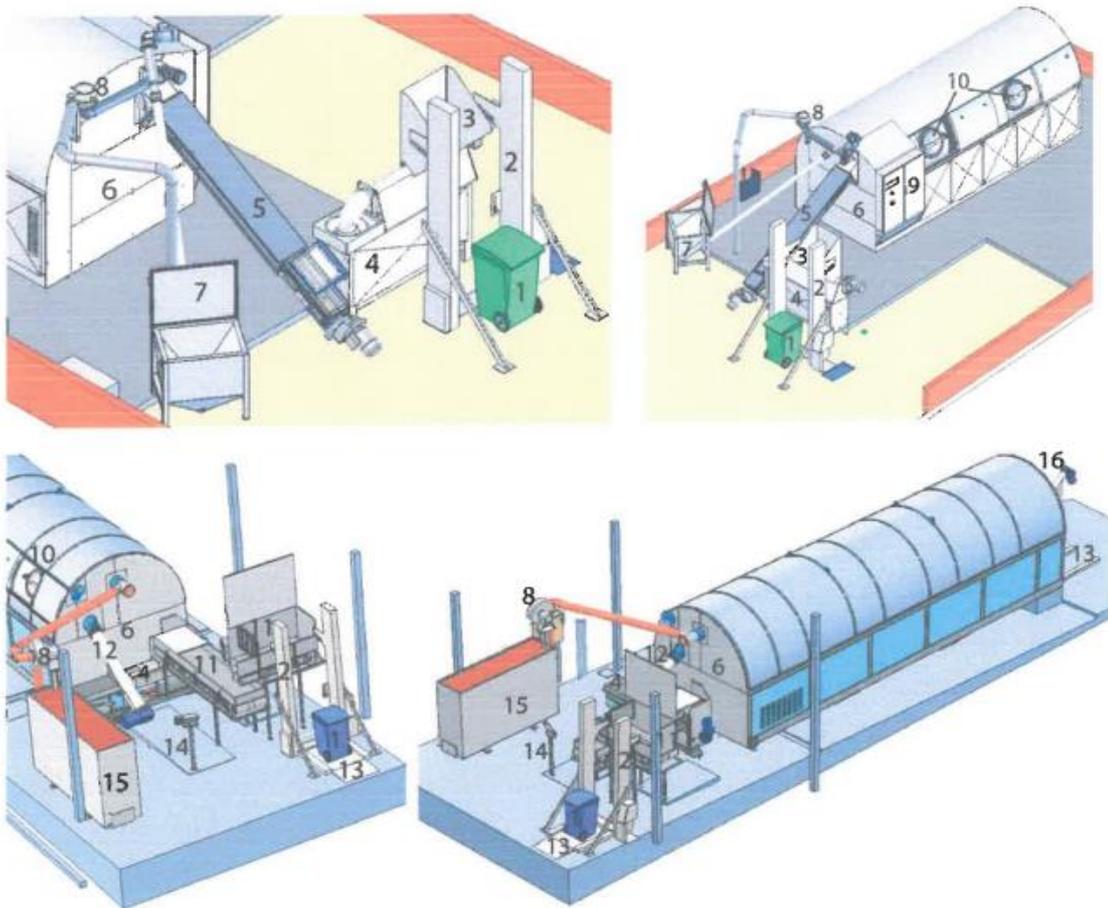


Figura 61 - Exemplo 3 de circuito de recolha de biorresíduos em Viana do Castelo

CUSTOMIZED INFEED SYSTEM

There are different sized hoppers if the food waste is collected in bins or by trucks. Shredder or macerator in combination with a screw press may be necessary if the food waste is very wet. Automatic pellets feeder facilitates adding of pellets on larger machines. Automatic scales and scale instruments can be chosen if logging the weight of input and output automatically is required.



- 1. Bin
- 2. Bin lift
- 3. Hopper
- 4. Shredder
- 5. Dewatering unit (screw press)
- 6. Composter

- 7. Automatic pellets feeder
- 8. Fan
- 9. Electrical cabinet
- 10. Inspection door on cylinder
- 11. Conveyor belt

- 12. Infeed auger
- 13. Scale
- 14. Scale instrument
- 15. Biofilter
- 16. Output auger

Figura 62 - Figura de catálogo do exemplo de um biocompostor estudado para implementação

ANEXO D – CÁLCULOS AUXILIARES

Cálculo para pegada carbónica nos transportes

No cálculo dos fatores de emissão, recorrendo ao software *Copert*, foram considerados certos inputs no software, que estão dispostos nas seguintes Figuras 63, 64, 65 e 66.

Category	Fuel	Segment	Euro Standard	Quantity (n°)	Mean Activity (km)	Lifetime Cumulative Activity (km)
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro V	1	160	50000
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro VI A/B/C	1	51	30000
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro VI D/E	1	51	15000

Figura 63 - Características das viaturas

Category	Fuel	Segment	Euro Standard	Urban Off Peak Speed (km/h)	Urban Peak Speed (km/h)	Rural Speed (km/h)	Highway Speed (km/h)
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro V	30	20	-	85
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro VI A/B/C	20	30	20	85
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro VI D/E	20	30	20	85

Figura 64 - Velocidades das viaturas nas diferentes tipologias de trajeto

Category	Fuel	Segment	Euro Standard	Urban Off Peak Share (%)	Urban Peak Share (%)	Rural Share (%)	Highway Share (%)
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro V	4	4	0	92
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro VI A/B/C	30	30	30	10
Heavy Duty Trucks	Diesel	Rigid 26 - 28 t	Euro VI D/E	30	30	30	10

Figura 65 - Percentagem de cada tipologia de percurso

	tmin (°C)	tmax (°C)	HumRel (%)
Janeiro	4.2	9.7	86
Fevereiro	4	10.3	84
Março	4.7	11.9	82
Abril	5.7	13.3	81
Maior	7.6	15.8	80
Junho	10.4	19.5	77
Julho	13	23.6	71
Agosto	13.4	24.5	68
Setembro	11.5	21.2	73
Outubro	8.9	16.1	82
Novembro	6.6	12.5	85
Dezembro	4.9	10.2	86

Figura 66 - Inputs de temperatura mínima, máxima e humidade relativa em Viana do Castelo (Portal do Clima, 2021)

Foi ainda considerado um valor constante (50%) de *Load* para os diferentes tipos de trajeto, já que o processo de transporte faz metade do percurso com carga e a outra metade sem carga.

Para cálculo dos restantes fatores de emissão, foram considerados os fatores de emissão e percentagem de tipologia de percurso, representados nas figuras acima, chegando aos valores da Tabela 31.

Tabela 31 - Quilómetros e percentagem de percurso para cada tipo de viatura

				kg co2eq
%	urban	rural	highway	total
euro vi	60%	30%	10%	100%
euro v	8%	0%	92%	100%
km's				
euro vi	15780	7890	2630	26300
euro v	1996.8	0	22963.2	24960

Para o CH₄ e N₂O, seguindo a metodologia, foram considerados os valores recomendados para cada tipo de tecnologia de motor e tipologia de percurso, apresentados ambos na Figura 67.

CH ₄ (mg/km)	Euro VI & V	
urbano	175	5.25
rural	80	5.6
auto estrada	70	4.2
N ₂ O (mg/km)	euro vi	euro v
urbano	37	29.8
rural	39	40.2
auto estrada	29	33.6

Figura 67 - Fatores de emissão para Euro V e VI com correção do fator de emissão de CH₄

De seguida, foram feitos os cálculos, tendo em conta os quilómetros dos percursos, chegando aos valores totais, apresentados na Figura 68.

km's x factor CH ₄	urban	rural	highway	total (kg co2eq)
euro vi	2.7615	0.6312	0.1841	89.42
euro v	0.34944	0	1.607424	48.9216
km's x factor N ₂ O				
euro vi	0.58386	0.30771	0.07627	288.41632
euro v	0.059505	0	0.771564	247.6583117

Figura 68 - Cálculo das emissões totais de CH₄ e N₂O para cada tipo de viatura

Ao comparar os valores dos fatores de emissão obtidos através do software *Copert* e os fatores de emissão recomendados para Portugal, no que diz respeito ao N₂O, a variação é insignificante. No

entanto, para o CH₄, a utilização do software *Copert* permitiu uma melhor qualidade de dados. A Tabela 32 mostra a comparação dos dados.

Tabela 32 - Comparação dos fatores recomendados e os valores obtidos através do software *Copert*

	copert emission factors			
	urban	rural	highway	total (kg CO ₂ eq)
km's x factor CH ₄				
euro vi	0.08	0.04	0.01	3.16
euro v	0.01	0.00	0.11	3.00
km's x factor N ₂ O				
euro vi	0.55	0.28	0.09	275.46
euro v	0.07	0.00	0.81	261.43
	implied emission factors			
km's x factor CH ₄				
euro vi	2.76	0.63	0.18	89.42
euro v	0.35	0.00	1.61	48.92
km's x factor N ₂ O				
euro vi	0.58	0.31	0.08	288.42
euro v	0.06	0.00	0.77	247.66

Por fim, os valores totais apresentados para cada tecnologia de motor estão disponíveis na Figura 69.

	kg CO ₂ eq anual	
euro vi	278.62	2 viaturas
euro v	264.42	1 viatura

Figura 69 - Emissões anuais de CH₄ e N₂O para cada tipo de tecnologia de motor

Cálculo para potencial de emissões em aterro

Inicialmente, para o cálculo de emissões difusas em aterro, tendo em conta a literatura consultada, foi feita a média para a avaliação das emissões difusas na Resulima, entre 2010 e 2012, apresentada na Figura 70. (Raquel Filipa Silva Gonçalves, 2013)

LandGem	Produção CH ₄ (ton)	Emissão (ton)	% emissões difusas
2010	4771	735	15.41
2011	4673	1043	22.32
2012	4428	778	17.57
		Média	18.43

Figura 70 - Cálculo da média das emissões difusas em aterro

Tendo em conta as equações 1.3, 1.4, 1.5 presentes na metodologia do *IPCC*, foi feita a análise de um cenário em que a percentagem de biorresíduos alimentares em aterro seria nula, comparando-a com o

cenário atual. A Tabela 33, mostra os pressupostos considerados para o cenário atual de deposição de resíduos.

Tabela 33 - Pressupostos de caracterização dos resíduos

Pressupostos	
DOC	0.173
DOCf	0.5
MCF	0.5
F	0.5
W (ton)	123885
OX	0.1
Frações	
Papel/têxteis	0.4
Verdes	0.17
Alimentares	0.15
Madeiras	0.3

De seguida, foram calculados os valores das variáveis DDOCm, L₀, e por fim, as emissões de CH₄ totais, que foram convertidas para CO₂ eq. A Tabela 34 mostra a comparação dos valores para ambos cenários, de presença e ausência de biorresíduos alimentares.

Tabela 34 - Comparação de geração de metano em aterro para presença e ausência de biorresíduos alimentares

Emissões CH ₄ (Gg)	DDOCm	L ₀		ton ch ₄	ton co ₂ eq
1.287368321	10.72807	7.152046		1287.368	32184.21
0.58424166	4.868681	3.245787		584.2417	14606.04

Considerações para pegada carbónica na compostagem e dos funcionários das instalações

A Tabela 35 mostra o cálculo para o impacte ambiental na produção do Nutrimais na CVO da Lipor, tendo em conta as 414 toneladas de biorresíduos.

Tabela 35 - Impacte ambiental na CVO da Lipor

Categoria	ton CO ₂ eq
Tratamento e Valorização Resíduos	8084
Máquinas móveis	260
Consumos de combustível nas instalações	154
Emissões indiretas CVO	1992
Total CVO	10490
CVO para 414 ton de biorresíduos	73.64

Para o cálculo do impacto ambiental dos funcionários nas instalações foram feitas as seguintes considerações, apresentadas na Tabela 36.

Tabela 36 - Variáveis para cálculo do impacto ambiental dos funcionários nas instalações

Pessoal total da Resulima	91.00
transporte (km médios por dia)	20.00
dias de trabalho	220.00
Pessoal total da compostagem da lipor	30.00
transporte (km médios por dia)	20.00
dias de trabalho	220.00
Fator emissão combustível (kg CO ₂ /l)	2.63

Por fim, para o cálculo da vantagem económica na compostagem local, foi calculado o valor gasto no transporte dos biorresíduos até à Lipor, anualmente e por circuito, representando na Tabela 37.

Tabela 37 - Gastos económicos no transporte até à Lipor

Preços / Consumos	Gasóleo		Preços Calculados	
€/l	1.629		€/km	0.4
l/km	0.2384		€ anuais	8334.8
portagem por circuito (€)	8		€ / circuito	70.1
portagens anuais (€)	1248		Total anual (€)	9582.8