

Análise de Dados para Potencialização de Compostagem Doméstica

Mateus Manuel Abreu Bastos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Informação e Sistemas Empresariais

Orientador: Prof. Célia Maria Dias Ferreira

Júri

Presidente: Prof. Miguel Leitão Bignolas Mira da Silva

Orientador: Prof. Célia Maria Dias Ferreira

Vogal: Prof. Maria Teresa Loureiro dos Santos

Novembro 2021

Resumo

Nos dias de hoje, a recolha e tratamento de biorresíduos em Portugal ainda é predominantemente feita de forma indiferenciada. Existe a necessidade de implementar soluções que rentabilizem os resíduos para utilização na agricultura e noutras áreas. Uma das possíveis soluções é a compostagem doméstica. No entanto, tem havido entraves à possibilidade de implementação desta solução em Portugal. Um dos entraves é a falta de suporte à tomada de decisão de investir em compostagem, por falta de informação e conhecimento sobre as condições sobre a qual esta pode ser eficazmente implementada. É em resposta a esta necessidade que, em serviço da sociedade civil, foi desenvolvida uma solução que permita um suporte à decisão dos gestores municipais na implementação de compostagem doméstica no seu município. Trata-se de uma solução de elevada importância e utilidade, por dar a possibilidade ao utilizador, através de uma interface simplificada, de consultar resultados de cálculos realizados sobre dados armazenados em bases de dados complexas acerca do seu município, com variáveis representativas de informação acerca da população, tipo de habitação, quantidade de resíduos produzidos, formas de tratamento desses resíduos, etc. Essa informação disposta de modo claro e compreensível, sob forma de relatório, irá permitir ao gestor tomar uma decisão mais informada acerca da viabilidade da implementação de compostagem doméstica no município. O resultado final é uma ferramenta suportada por bases de dados relativas a todos os municípios de Portugal, com flexibilidade inerente à possibilidade do utilizador inserir os seus próprios dados em certas categorias, tendo como output um relatório com os detalhes e previsões necessários a uma tomada de decisão informada para a implementação de compostagem doméstica, nomeadamente, num prazo de 10 anos, o retorno do investimento realizado na implementação de compostagem doméstica ou ainda as vantagens ambientais associadas à mesma (emissões de CO₂ evitadas, desvio de biorresíduos de aterro). Este trabalho pretende, assim, alavancar e ser um elemento desbloqueador para a implementação a nível do município de compostagem doméstica em Portugal.

Palavras-chave: Compostagem Doméstica, Análise de Dados, Microsoft Excel, Bases de Dados

Abstract

These days, biowaste in Portugal is still collected and treated mixed with unsorted waste. There is a need to implement solutions that make the waste profitable for use in agriculture and other applications. One of the possible solutions is home composting. However, there have been obstacles to the possibility of implementing this solution in Portugal. One of the obstacles is the lack of support for decision making to invest in composting implementation, due to lack of information and knowledge about the conditions under which it can be effectively done. It is in response to this need that, at the service of civil society, a solution was developed that supports the decision of municipal managers in the implementation of domestic composting within their municipality. The developed solution is both important and useful, as it gives the user the possibility, through a simplified interface, to consult the results of calculations carried out on municipal data stored in complex databases, with variables representing information about the population, type of housing, amount of waste produced, ways of treating this waste, etc. This information displayed in a clear and understandable way, in the form of a report, that will allow the manager to make informed decisions about the feasibility of implementing domestic composting in the municipality. The result is a tool supported by databases relating to all municipalities in Portugal, with inherent flexibility in the possibility of inserting the data itself into certain categories, having as output a report with details to allow an informed decision-making for the implementation of domestic composting (avoided CO₂ emissions, amount of biowaste diverted from landfill). This work intends, therefore, to leverage and be an unlocking element for the implementation at municipal level of domestic composting in Portugal.

Keywords: Home Composting, Data Analysis, Microsoft Excel, Data Bases

Índice

1	Introdução	1
2	Estado de Arte.....	3
2.1	Gestão de resíduos urbanos/biorresíduos em Portugal e problemas causados pelo tratamento não adequado dos biorresíduos.....	3
2.2	Tipos de Compostagem como solução de valorização de biorresíduos	7
2.3	Comparação de custos entre as opções de recolha e valorização na origem	11
2.4	Ferramentas de apoio à decisão sobre compostagem doméstica.....	12
3	Metodologia.....	15
3.1	Definição de requisitos.....	15
3.2	Escolha das variáveis a incluir na base de dados.....	15
3.3	Importação dos dados e criação de uma base de dados na folha de cálculo do MicrosoftExcel....	17
3.4	Desenvolvimento e validação da ferramenta.....	19
4	Solução Proposta	21
4.1	Folha de Dados a Introduzir.....	22
4.2	Folha de Cálculos	24
4.2.1	Cálculos independentes de variável temporal	24
4.2.2	Variáveis constantes	31
4.2.3	Cálculos de previsão para 10 anos	31
4.3	Folha de Relatório	34
4.4	Análise de Sensibilidade	40
4.4.1	Análise com Taxa de financiamento não nula	40
4.4.1.1	Apresentação de resultados.....	41
4.4.1.2	Análise de resultados.....	43
4.4.2	Análise com Taxa de Financiamento nula.....	45

4.4.2.1 Apresentação de Resultados	46
4.4.2.2 Análise de Resultados	47
4.5 Validação	49
4.6 Limitações	49
5 Conclusão	55
6 Referências	57

Índice de figuras

Figura 1 - Exemplo de um compostor industrial.....	5
Figura 2 - Exemplo de um compostor doméstico.....	6
Figura 3 - Exemplo de um compostor comunitário	6
Figura 4 - Esquema representativo das folhas do ficheiro Excel do Fundo Ambiental.....	14
Figura 5 - Excerto da tabela “Geo” com os dados do INE.....	18
Figura 6 - Excerto da tabela “RASARP” incluída na ferramenta.....	18
Figura 7 - Excerto da tabela ‘SGRU-Município’ incluída na ferramenta.....	19
Figura 8 - Representação esquemática do funcionamento da ferramenta	21
Figura 9 - Folha de Excel relativa à introdução de dados por parte do utilizador.....	22
Figura 10 - Forma como os dados sobre as características de cada município se encontram estruturados na ferramenta, (caso do município de Aveiro) – folha “Cálculos”	29
Figura 11 - Forma como os dados relativos aos alojamentos e custos associados à implementação de compostagem se encontram estruturados na ferramenta, (caso do município de Aveiro) – folha “Cálculos”	30
Figura 12 - Forma como os dados relativos às vantagens ambientais associadas à implementação de compostagem se encontram estruturados na ferramenta, (caso do município de Aveiro) – folha “Cálculos”	30
Figura 13 - Organização da informação na folha “Cálculos” relativos à previsão para 10 anos dos custos e emissões evitadas com a implementação de compostagem(o exemplo apresentado diz respeito ao município de Aveiro)	34
Figura 14 - Organização da informação na folha “Cálculos” relativos à previsão para 10 anos dos custos evitados e do retorno de investimento.....	34
Figura 15 - Secções do relatório relativas à caracterização e à gestão atual de resíduos no município ..	35
Figura 16 - Secções do relatório relativas ao potencial para compostagem doméstica em 2030 e ao plano de investimento entre 2021 e 2030	37
Figura 17 - Previsão do retorno de investimento entre 2021 e 2030 (o exemplo apresentado diz, na mesma, respeito ao município de Aveiro)	38

Figura 18 - Secção do relatório relativa à previsão para 10 anos das vantagens ambientais relativas à implementação de compostagem(o exemplo apresentado diz, na mesma, respeito ao município de Aveiro).....	39
Figura 19 - Variação percentual do balanço final por cada 10% de variação de cada variável de entrada, com taxa de financiamento não nula.....	42
Figura 20 - Variação percentual do balanço final por cada alteração de 10% sobre cada variável de entrada, com taxa de financiamento nula.....	47
Figura 21 - Secções do relatório relativas à caracterização e à gestão atual de resíduos no município para um município do Grupo 3 (Castro Marim)	51
Figura 22 - Secções do relatório relativas ao potencial para compostagem doméstica em 2030 e ao plano de investimento entre 2021 e 2030 para um município do Grupo 3 (Castro Marim)	52
Figura 23 - Previsão do retorno de investimento entre 2021 e 2030 para um município do Grupo 3 (Castro Marim)	52
Figura 24 - Secção do relatório relativa à previsão para 10 anos das vantagens ambientais relativas à implementação de compostagem para um município do Grupo 3 (Castro Marim)	53

Índice de tabelas

Tabela 1 - Descrição de cada variável recolhida pelo Instituto Nacional de Estatística	16
Tabela 2 - Descrição de cada variável recolhida no RASARP	17
Tabela 3 - Valores passíveis de serem inseridos para cada uma das variáveis da folha 'DadosIntrod' ...	23
Tabela 4 - Valores base das variáveis de entrada com taxa de financiamento não nula (caso do município de Aveiro)	41
Tabela 5 - Resultados da análise de sensibilidade com taxa de financiamento não nula	42
Tabela 6 - Valores base das variáveis de entrada com taxa de financiamento nula.....	46
Tabela 7 - Resultados da análise de sensibilidade com taxa de financiamento nula.....	46

Lista de abreviaturas, siglas e acrónimos

ERSAR	Entidade Reguladora dos Serviços das Águas e dos Resíduos
INE	Instituto Nacional de Estatística
RASARP	Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal
RU	Resíduos Urbanos
SGRU	Sistema de Gestão dos Resíduos Urbanos
TGR	Taxa de Gestão de Resíduos
TM	Tratamento Mecânico
TMB	Tratamento Mecânico e Biológico
COV	Compostos Orgânicos Voláteis

Agradecimentos

Quero, desde já, agradecer às minhas orientadoras, em especial à Doutora Verónica Oliveira, cujo nome não pôde constar na lista de orientação, mas que participou igualmente no apoio inestimável que recebi ao longo do processo de desenvolvimento desta dissertação de mestrado, sem o qual nunca teria sido possível a conclusão da mesma. Também deixo um agradecimento às entidades ZERO e ECOGESTUS pelas preciosas instruções nas fases iniciais e finais deste processo.

Agradeço também ao Professor Miguel Mira da Silva pelo apoio dado sempre que necessário. Por fim, agradeço à minha família e namorada pelo suporte que foram em todos os momentos ao longo deste mestrado

1 Introdução

Atualmente, os biorresíduos em países desenvolvidos ainda são maioritariamente recolhidos e tratados de forma indiferenciada (aterros sanitários, incineração, etc.), levando a poluição e desperdício de potencial fertilizante [1]. Os biorresíduos apresentam elevado potencial como fertilizante após valorização orgânica que está a ser desperdiçado, uma vez que as unidades de Tratamento Mecânico e Biológico (TMB) levam à produção de um composto de baixa qualidade e aplicabilidade devido ao elevado grau de contaminação dos resíduos indiferenciados, além da elevada quantidade de rejeitado associado ao tratamento mecânico (TM), que acaba em aterro sanitário. Por outro lado, os biorresíduos, por apresentarem elevada percentagem de humidade, o que dificulta o processo de combustão nas incineradoras, o que faz com que a sua incineração não seja a melhor solução [2].

A implementação da compostagem doméstica representa um avanço necessário a fazer por parte dos municípios de modo a reduzir custos e aumentar a rentabilidade do processo de compostagem junto à população. No entanto, para que esta implementação se concretize, é necessária uma análise prévia das características dos alojamentos existentes em cada município, e sobre a possibilidade de estes albergarem compostores domésticos para serem utilizados pelos respetivos habitantes. Além disso, será necessário também calcular e analisar os custos associados à compra e instalação dos compostores, podendo estes ter características diferentes entre si, bem como custos relativos à instrução da população no sentido da utilização dos mesmos.

No entanto, neste momento não existem, em Portugal, tecnologias ou ferramentas que permitam essa recolha, tratamento, análise e apresentação da informação acerca da viabilidade de implementação da compostagem doméstica em cada região. Assim sendo, a tecnologia da compostagem é muito pouco utilizada e os órgãos de gestão autárquica não se querem comprometer à implementação de projetos, neste caso de compostagem, sem saberem se de facto esse investimento terá retornos financeiros e ambientais ou não.

Neste sentido, é proposta nesta dissertação uma solução destinada à Sociedade Civil, implementada em Microsoft Excel, de recolha, tratamento e apresentação de dados para análise de modo a averiguar, primeiro, quais as possibilidades de instalação de compostores domésticos em cada município do país e, depois, os custos que estes projetos terão para os mesmos, bem como as vantagens ambientais associadas. O objetivo final será permitir aos órgãos de gestão autárquicos avançar com bons níveis de confiança para um investimento e implementação de compostagem doméstica, suportados pela informação detalhada disponibilizada acerca do seu município, bem como pelos dados inseridos pelos próprios autarcas acerca das condições a respeitar para essa mesma implementação.

Em suma, o objetivo da dissertação é o desenvolvimento de uma ferramenta que, após o utilizador introduzir um pequeno conjunto de dados sobre um determinado município, seja capaz de retornar informação acerca da viabilidade da implementação de compostagem doméstica nesse município. O relatório obtido poderá posteriormente ser analisado pelo utilizador de modo a tomar uma decisão informada acerca do investimento em compostagem doméstica e respetivas vantagens económicas e ambientais. Esta dissertação enquadra-se no Mestrado em Informação e Sistemas Empresariais, na medida em que se trata de um projeto que constitui um sistema de informação, com pessoas (utilizadores), hardware (máquina utilizada pelo utilizador para aceder à ferramenta), software (ferramenta e procedimento de utilização da mesma), recursos de rede (conexão do utilizador ao site na qual estará a ferramenta), e bases de dados (dados e tabelas que constituem a base de dados da ferramenta).

2 Estado de Arte

2.1 Gestão de resíduos urbanos/biorresíduos em Portugal e problemas causados pelo tratamento não adequado dos biorresíduos

A gestão de resíduos urbanos em Portugal compreende um conjunto das atividades de caráter técnico, administrativo e financeiro necessárias à deposição, recolha, transporte, tratamento, valorização e eliminação dos resíduos [3]. A produção total de resíduos urbanos em Portugal foi, no ano de 2019, de aproximadamente 5,28 milhões de toneladas, o que corresponde a uma produção diária de 1,4 kg por habitante. Os destinos diretos destes resíduos urbanos foram o aterro (57,8%), valorização energética (17,4%), reciclagem (13,1%), compostagem/digestão anaeróbia (8,4%) e outras (3,3%) [3]. Estes dados mostram que as opções de gestão de resíduos ainda seguem em Portugal um sentido contrário ao estabelecido pela “Hierarquia dos Resíduos”, que determina que deve apostar-se primeiramente na reciclagem e valorização, sendo a eliminação a última opção que deve ser tomada. Neste contexto torna-se fundamental que, as entidades responsáveis pela gestão de resíduos urbanos, nomeadamente os municípios, entre outras, promovam e adotem soluções de valorização na origem e recolha seletiva de frações recicláveis tais como os biorresíduos.

São designados biorresíduos os 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 transformação de alimentos [4]. E, como demonstrado em [3], representam 38,56% da totalidade de resíduos urbanos em Portugal. Atualmente, apesar do enorme potencial de reciclagem, a maioria dos municípios portugueses ainda não têm implementadas soluções de valorização e tratamento destes biorresíduos. Contudo, a Diretiva 2018/851 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 30 de maio de 2018 (que altera a diretiva 2008/98/CE relativa aos resíduos [5], transcrita em Portugal pelo Decreto-Lei 102-D/2020 [4]), estabelece que até 31 de dezembro de 2023, os biorresíduos devem ser separados e reciclados na origem, ou recolhidos seletivamente. Desta feita, os municípios vêm-se agora numa encruzilhada e têm duas opções para a gestão dos biorresíduos produzidos nos seus territórios: i) implementação de sistemas de valorização na origem, como a compostagem doméstica e/ou ii) recolha seletiva na via pública ou porta-a-porta. Ambas as soluções têm associados diversos custos económicos e impactes ambientais que têm de ser estimados por forma a que o município possa adotar a melhor opção de tratamento.

Em matéria de biorresíduos, Portugal enfrenta um grande desafio com a obrigatoriedade da recolha seletiva deste fluxo, imposta pela União Europeia. Segundo a Diretiva (EU) 2018/851 [5], a partir de 1 de

janeiro de 2024 apenas os biorresíduos provenientes da recolha seletiva, juntamente com a recolha seletiva de outros fluxos urbanos, poderão ser considerados para o cálculo da taxa de preparação para a reutilização e reciclagem de resíduos urbanos, a partir de 1 de janeiro de 2027.

Atualmente, a estratégia nacional associada à gestão dos biorresíduos assenta maioritariamente na recolha indiferenciada (o que inclui a fração orgânica dos RU), com encaminhamento para unidades de TMB, incineradoras ou deposição em aterro, apesar de já existirem alguns projetos piloto de recolha seletiva porta-a-porta de biorresíduos que são enviados para centrais de valorização orgânica juntamente com resíduos verdes de recolhas municipais [2].

Segundo [6], o total de resíduos gerados nos 28 países da União Europeia em 2016 foi de 2538 milhões de toneladas e 486 kg per capita em 2017. E quando estes resíduos não são tratados por via da compostagem, os recursos que foram utilizados para produção, recolha, tratamento, processamento e transporte do mesmo são desperdiçados, representando, também, perdas de energia e água. Ainda assim, verifica-se um progresso no sentido da reciclagem/compostagem destes resíduos. A quantidade de resíduos reciclados na União Europeia passou de 39 milhões de toneladas em 1995 para 116 milhões de toneladas em 2017, correspondendo a um crescimento anual de 5.0%. Por sua vez, a recuperação de material orgânico por via de compostagem tem vindo a crescer 5,2% por ano no mesmo período. Como resultado, a reciclagem e compostagem de resíduos englobava 46% da geração de resíduos da União Europeia em 2017.

Devido às limitações das infraestruturas de gestão centralizada de resíduos oriundas do desvio de resíduos alimentares, bem como o aumento de custos de recolha e transporte de resíduos a longa distância, alguns programas municipais de compostagem podem não ter o sucesso pretendido [7]. Para além disso, altos custos e complexidade operacional também são fatores que devem ser tidos em consideração em sistemas centralizados. Assim, estratégias alternativas devem ser identificadas e desenvolvidas. E é neste panorama que se enquadra a compostagem comunitária, que se trata de uma rede à escala comunitária numa área residencial específica que desvia e realiza compostagem de biorresíduos num ambiente operativo controlado. A compostagem pode ser doméstica, industrial ou comunitária. Como principais vantagens da compostagem comunitária (em relação à compostagem industrial) são de realçar os menores custos de transporte e manutenção, menor nível técnico requerido, tecnologia mais simples, infraestruturas mais pequenas, redução da necessidade de construção de infraestruturas de tratamento de resíduos, a reutilização de matéria orgânica, a criação de pequenas empresas locais e a disponibilização de um composto mais barato. É, ainda, de salientar que o composto final é de qualidade comparativamente superior ao obtido na compostagem industrial, devido à separação eficiente e menor contaminação dos resíduos. Os próprios legisladores poderão ver na compostagem comunitária uma implementação lógica e atrativa. No entanto, também são de realçar alguns potenciais problemas inerentes à compostagem comunitária, tais como os odores e os lixiviados em casos de má gestão do processo. Também podem ocorrer problemas logísticos levando a

implementações insatisfatórias. Neste sentido, novas tecnologias de compostagem devem ser bem conduzidas, e a informação recolhida de ambientes operativos deve ser cuidadosamente analisada para criar uma situação em que todas as partes saem a ganhar.

Quando um sistema de compostagem doméstica é implementado numa área urbana específica, são considerados na estrutura regulamentar inicial o estado/disponibilidade do território atual e futuro, e ainda os interesses comunitários. Uma vez selecionado o tipo de território e os locais dentro de cada área, a capacidade de compostagem é posteriormente calculada relativamente à região, com base na população e as tendências de produção de resíduos. Os compostores inerentes à compostagem comunitária podem ser mais simples do que os compostores relativos à compostagem industrial. Nas seguintes figuras é possível ver um compostor industrial (figura 1), um compostor doméstico (figura 2) e um compostor comunitário (figura 3).



Figura 1 - Exemplo de um compostor industrial (Fonte:[8])



Figura 2 - Exemplo de um compostor doméstico (Fonte:[9])



Figura 3 - Exemplo de um compostor comunitário (Fonte: [10])

Embalagens de plástico, madeira ou outros materiais de várias formas (retangular, cilíndrica, cónica) são normalmente utilizadas para reatores de compostagem comunitária [7]. As infraestruturas de compostagem industrial têm sido intensamente estudadas, tendo se verificado um aumento do número das mesmas de acordo com os regulamentos de gestão de resíduos atuais. A compostagem comunitária tem ganho também atenção e tem sido promovida por legislações nacionais nos últimos anos. Infraestruturas de compostagem comunitária podem, assim, através da criação de soluções locais de estratégias de gestão de resíduos urbanos, representar uma ajuda para atingir a recuperação de recursos e os objetivos de valorização em linha com a economia circular [7].

No entanto, nos dias de hoje, a maioria dos países desenvolvidos ainda recorre a métodos de eliminação de biorresíduos [1], como por exemplo, os aterros sanitários (deposição e enterro dos biorresíduos num local de forma a proporcionar a sua gradual decomposição na Natureza) ou a incineração (queima dos biorresíduos em infraestruturas próprias). No entanto, estas formas de eliminação não permitem o aproveitamento dos biorresíduos para a agricultura através do composto. Para além disso, estas também podem ter impactos ambientais negativos. A deposição em aterro, por exemplo, implica a ocupação de terras que poderiam ser utilizadas para agricultura ou para outros usos, podendo causar a emissão de gases de efeito estufa (recuperáveis, mas com custos implicados), ou ainda contaminação dos solos por lixiviação (solubilização de componentes químicos presentes nos biorresíduos e que requerem posterior tratamento, igualmente com custos associados). A incineração, por sua vez, pode implicar emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera aquando do processo de queima.

A gestão de resíduos representa cada vez mais um problema global em países desenvolvidos devido ao colapso de aterros sanitários e os impactos ambientais inerentes ao despejo de biorresíduos. Face a estes problemas, a União Europeia publicou, em 1999, a Diretiva de Aterros Sanitários, que exige aos estados-membros a redução de despejo dos biorresíduos e promovendo a adoção de medidas tais como a recuperação, reciclagem e ainda compostagem dos mesmos [11]. Mais recentemente, foi definido que até 2023, os biorresíduos deverão ser separados e reciclados na origem, ou recolhidos seletivamente e não misturados com outros tipos de resíduos [3].

2.2 Tipos de Compostagem como solução de valorização de biorresíduos

A implementação de soluções de compostagem é necessária para atingir taxas reais de reciclagem dos resíduos urbanos. [12] aponta como dificuldades encontradas no caminho para a implementação da compostagem: a escala de tratamento, a falta de infraestruturas específicas, os custos ou ainda eventuais crises económicas. Compostagem doméstica consiste em tratamento de biorresíduos gerados

por pessoas individuais ou famílias, feito pela aplicação de processos de compostagem nas suas próprias casas, terraços, jardins, etc. Implica utilização particular do composto resultante. Compostagem industrial é compostagem a larga escala com objetivo de lidar com grandes volumes de resíduos orgânicos. O composto produzido poderá, em seguida, ser vendido a companhias agrícolas e hortícolas. Uma operação de compostagem industrial consiste, normalmente, na recolha de resíduos junto de lojas, restaurantes ou contentores e correspondente tratamento seletivo relativo às características de cada conjunto de resíduos. O tratamento pode ser realizado em leiras, nas quais os resíduos são dispostos em longas filas e regados periodicamente, em silos, nos quais são armazenados com condições ambientais controladas, ou em pilhas estáticas ao ar livre, com camadas de ramos ou papéis permitindo filtragem de ar através das pilhas, ar que é bombeado por tubagens de modo a acelerar o processo de compostagem, ou ainda em reatores arejados e com agitação. Compostagem comunitária trata-se de compostagem desenvolvida por diferentes geradores (maioritariamente famílias), numa determinada área, sendo, assim, os biorresíduos gerados conjuntamente tratados num módulo único, numa área comum. Esta compostagem resulta em diversas vantagens, tais como o aumento na consciência ambiental pública, transparência na gestão e nos custos, criação de postos de trabalho (contribuindo para a inclusão social de pessoas em risco de exclusão), melhor gestão da recolha das restantes fações em termos qualitativos e quantitativos, melhoria da qualidade legal e agronómica do produto final (composto), a possibilidade de ser uma alternativa viável aos modelos de gestão de resíduos centralizada (incluindo recolha e transporte, sobretudo em áreas semiurbanas e rurais) [12].

Tal como previamente referido, uma das principais alternativas aos métodos tradicionais e prejudiciais de tratamento de biorresíduos (mencionados e descritos no subcapítulo anterior) é a compostagem. Esta pode ser definida como uma decomposição biológica aeróbica controlada de matéria orgânica, da qual resulta um produto denominado composto, no qual a mistura de biorresíduos com outros ingredientes é acelerada de modo a otimizar o crescimento micróbico. Apesar de ter, como desvantagem, risco inerente a aplicações de compostagem mal geridas, levando à formação de gases tóxicos e aerossóis, formação de amoníaco, lixiviação e diminuição da qualidade do solo, a compostagem permite a reciclagem de biorresíduos (resíduos alimentares e resíduos de jardim ou podas de árvore) e ajuda a reduzir a quantidade de resíduos redirecionada para aterros sanitários, ajudando à redução da emissão de gases efeito estufa (quanto gerida corretamente), ao aumento da fertilidade e biodiversidade, diminuindo a necessidade de fertilizantes sintéticos, contribuindo ainda à promoção a nível comunitário de práticas de gestão de resíduos [7]. É ainda de salientar o efeito positivo na estrutura dos solos permitida pela utilização do composto, permitindo a redução de requerimentos para irrigação da água dos solos em períodos de seca e o aumento do potencial de retenção de humidade por parte dos mesmos. Outras vantagens incluem o potencial de retenção de carbono em solos nos quais o composto foi aplicado. Por todas estas razões, o composto resultante da compostagem representa um produto de qualidade, garantindo todos os benefícios da sua aplicação. Assim, este processo trata-se de uma das tecnologias

mais amigas do ambiente para a gestão de resíduos municipais e biorresíduos, permitindo a valorização da respetiva matéria [13].

Compostagem doméstica, como mencionado anteriormente, consiste no tratamento de biorresíduos gerados por pessoas individuais ou famílias, que é feita nas suas próprias casas, terraços, jardins, etc. Como vantagens, apresenta o facto de retirar biorresíduos do fluxo de tratamento de resíduos urbanos e (tal como os outros dois tipos de compostagem) a capacidade de geração dum composto utilizável como fertilizante. Como desvantagens, a realidade de uma parte substancial da população mundial ainda não estar disposta a participar em processos de reciclagem de materiais [14], a eliminação insuficiente de patogénicos devido à não obtenção das condições adequadas de temperatura, e as emissões de gases de efeito estufa (que contribuem para o aquecimento global) durante a degradação microbiana dos resíduos, devido à não existência de sistemas de tratamento de gases neste processo. A incorporação destes sistemas na compostagem doméstica, bem como a utilização de materiais de impacto na construção do compostor podem ser os principais problemas a tratar de modo a minimizar o impacto ambiental deste processo, enquanto que melhorias na biofiltração de compostos orgânicos voláteis (COV), juntamente com a minimização da utilização de energia e presença de impurezas nos sistemas de recolha seletiva poderão ser os principais tópicos de pesquisa dos programas de compostagem industrial [11]. Para além disso, futura pesquisa poderia desenvolver comparações de compostagem doméstica do ponto de vista ambiental em diferentes estações do ano, em diversas condições climáticas. No entanto, apesar dessas emissões, a compostagem doméstica é mais ecológica que a incineração e os aterros sanitários na medida em que não requer a utilização dos combustíveis fósseis associados a estes métodos de tratamento [15].

A compostagem industrial tem sido uma forma de compostagem intensamente estudada com um número crescente de infraestruturas de tratamento implementadas nos últimos anos. Este tipo de compostagem implica o consumo de energia para transporte e tratamento dos resíduos, emissão de gases, proliferação de insetos e aves e a mistura de diferentes qualidades de materiais. Os resíduos orgânicos têm, normalmente, uma percentagem de materiais que não são biodegradáveis, que, por exemplo, na Catalunha pode ir até 30% [11]. Recolha e separação de resíduos de acordo com as suas diferentes frações (madeira, alumínio, papel, metal, vidro, orgânicos) é uma das melhores formas de obter um composto final de boa qualidade. Assim, materiais não biodegradáveis presentes nos contaminantes da fração orgânica inicial de resíduos urbanos afetam o normal funcionamento do processo de compostagem, reduzindo a capacidade disponível de centrais de compostagem e aumentando a contaminação do composto. Apesar destas desvantagens, a compostagem de biorresíduos a nível industrial representa grandes benefícios tais como o controlo das variáveis do processo de compostagem (temperatura, teor de oxigénio, humidade, etc.) ou ainda o tratamento de gases com efeito de estufa.

Apesar de menos estudada, a compostagem doméstica tem sido proposta como alternativa ou complemento para o tratamento de biorresíduos. Sendo pertinente a comparação entre a compostagem industrial e doméstica, vários trabalhos se debruçaram sobre a comparação entre estas soluções. [13] explica que a compostagem doméstica, quando conduzida corretamente, consegue atingir excelentes valores de estabilidade (ritmo ao qual a matéria orgânica biodegradável é decomposta, uma das mais importantes propriedades inerentes ao composto, propriedade essencial para a aplicação de composto no solo de forma a evitar futura degradação do mesmo, emissão de gases, etc.), enquanto compostos resultantes de compostagem industrial podem também apresentar boa estabilidade. No entanto, a compostagem doméstica permite um melhor controlo do material tratado, reduzindo impurezas, em relação à compostagem industrial. Isto leva algumas das centrais de compostagem industrial a um esforço adicional de melhoria de qualidade do composto em termos de estabilidade. [11], após recolha de dados experimentais de cenários de compostagem industrial e doméstica, conclui que a quantidade de substâncias emitidas durante o processo de compostagem doméstica, tais como amoníaco, metano ou óxido nítrico, é cinco vezes superior à quantidade emitida na compostagem industrial. No entanto, este último implicava até 53 vezes mais consumo de energia, água, infraestruturas e produção de resíduos e emissões de COV. Assim, a conclusão retirada é que a compostagem industrial tem maior impacto ambiental do que a compostagem doméstica em quatro das categorias consideradas (depleção abiótica, depleção da camada de ozono, oxidação fotoquímica e exigência de energia acumulativa) e menor impacto noutras três (acidificação, eutrofização e aquecimento global).

Os principais causadores dos impactos da compostagem doméstica são o processo de produção dos compostores e as emissões de gases, enquanto na compostagem industrial são a recolha e transporte de biorresíduos, o consumo de eletricidade, o despejo de resíduos e as emissões de COV. A conclusão final deste estudo é que a compostagem doméstica pode ser uma alternativa interessante ou até complementar relativamente à compostagem industrial em áreas de baixa densidade populacional. [11] refere que a compostagem doméstica oferece vantagens relativamente à compostagem industrial na medida em que evita a necessidade de recolha de uma parte dos resíduos urbanos, ajuda a reduzir os investimentos materiais, económicos e energéticos, e, por fim, permite um controlo direto do processo e do *input* de materiais evitando a inclusão de impurezas. Relativamente aos problemas que a compostagem doméstica pode provocar, realça-se que o composto obtido pode não ser homogêneo, e a possibilidade de emissão de gases poluentes aquando do processo de decomposição. Portanto, conclui-se, desta comparação, que estes dois tipos de compostagens apresentam diferenças importantes entre si e podem ser apropriados a diferentes situações. Por outro lado, é difícil a implementação de compostagem doméstica em áreas com grande densidade populacional devido aos requerimentos locais higiénicos e de monitorização. É de realçar ainda a escassez de dados ambientais reais específicos e quantitativos acerca da compostagem, dificultando, assim o planeamento regional da gestão dos mesmos.

2.3 Comparação de custos entre as opções de recolha e valorização na origem

Em [16], uma extensa investigação foi realizada sobre os custos de recolha de resíduos, principalmente para diferenciar os custos de fluxos de resíduos distintos e otimização espacial dos serviços de recolha de resíduos (por exemplo, rotas, número e localização de instalações de resíduos). No entanto, os gestores de recolha de lixo também enfrentam o desafio de otimizar ativos no tempo, por exemplo, decidir quando substituir e como manter, ou qual solução tecnológica adotar. Essas questões requerem um conhecimento mais detalhado sobre a estrutura analítica de custos dos serviços de recolha de resíduos.

Relativamente à comparação de custos, [17] refere que a recolha de biorresíduos, quando introduzida no sistema de recolha vigente, não significa necessariamente um aumento nos custos totais de serviço. Aliás, uma redução de custos pode ser atingida caso a fração da população aderente ao esquema exceder determinados valores (neste caso de estudo, 40%). Este estudo conclui, assim, que o custo global para a recolha seletiva de biorresíduos não é necessariamente superior ao custo relativo à recolha tradicional, acrescentando ainda que o custo global associado à compostagem doméstica ou comunitária poderá, também, ser inferior ao custo da recolha tradicional. [12], através de um estudo económico relativo à Catalunha, aponta que os custos gerais de gestão dos modelos de recolha seletiva porta-a-porta e de contentores de via pública para municípios com populações inferior a 20 000 habitantes, apresentam valores médios de 68,40 e 69,47 € por habitante por ano, respetivamente. Relativamente às receitas, realça que “a influência da dimensão da população nos custos gerais dos dois modelos de recolha não foi considerada como significativa nos resultados obtidos, sendo que os autores consideram que, em média, os custos gerais de gestão dos diferentes modelos são semelhantes para as autoridades locais. O modelo de recolha porta-a-porta apresenta custos médios, associados à recolha, superiores ao sistema por contentores de via pública. Contudo, os custos relativos ao tratamento e as receitas geradas pelo modelo porta-a-porta são superiores uma vez que este geralmente atinge níveis de separação superiores. Por isso, e de acordo com os resultados apresentados, os modelos de recolha porta-a-porta e na via pública apresentam valores médios de custos gerais de gestão de 252,72€ e 381,44€ por tonelada de resíduo recolhido seletivamente, respetivamente”.

Por fim, [1] conclui que o tratamento de resíduos orgânicos urbanos por via da compostagem doméstica ou comunitária reduz custos de gestão em 50% em países europeus desenvolvidos, 37% em países europeus menos desenvolvidos, e 34% no Canadá, acrescentando ainda que a compostagem pode reduzir as emissões de gases efeito estufa até 40% na Europa e Canadá, apesar da implementação de práticas de captura de gases em aterros sanitários. Apesar do facto dos resíduos orgânicos separados na fonte produzirem um composto de maior qualidade e valor, esta opção de gestão por via de infraestruturas de compostagem industrial aumenta os custos de recolha e transporte,

independentemente do método de disposição. A separação de resíduos urbanos orgânicos na fonte por via decomposição ou digestão aeróbica requer uma recolha seletiva, que aumenta os custos de transporte. Certas cidades têm lidado com este problema através de uma recolha semanal destes resíduos, recolhendo os restantes tipos de resíduos urbanos duas vezes por mês. Este estudo conclui que, em 2025, se prevê que práticas de compostagem poderão diminuir custos e emissões de gases de efeito estufa até 50%, em comparação com a manutenção de práticas de aterros sanitários. Para além disso, seriam anualmente salvaguardados 3440 hectares de terras agrícolas na Europa, e 330 hectares no Canadá [1].

[18] refere que a avaliação de eficiência e *benchmarking* são cruciais para gerir qualquer organização. No entanto, especialmente de uma perspetiva regulatória, essa avaliação de eficiência e *benchmarking* deve ser imparcial em relação a questões específicas do contexto e deve fornecer uma classificação absoluta, em vez de relativa. Este trabalho analisa as abordagens utilizadas para avaliação de desempenho e *benchmarking* de serviços de recolha de resíduos, revelando que a maioria é tendenciosa e não é absoluta.

2.4 Ferramentas de apoio à decisão sobre compostagem doméstica

O principal exemplo já existente de ferramenta de apoio à decisão sobre compostagem doméstica em Portugal trata-se do ficheiro Excel desenvolvido pelo Fundo Ambiental [19]. Este ficheiro está incluído num programa aberto por parte do Fundo Ambiental (instrumento financeiro de apoio à política ambiental do governo) destinado a disponibilizar aos municípios, financiamento para a elaboração de um diagnóstico que conduza à definição de um Plano de Ação e de Investimento para a operacionalização da recolha seletiva de biorresíduos conducente à sua valorização, seja através da implementação de uma rede de recolha seletiva de biorresíduos seja pela separação e reciclagem na origem através implementação da compostagem doméstica ou comunitária, alinhados com a estratégia definida ou a definir pelos Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos.

Os objetivos gerais do projeto são:

- ✓ O aproveitamento local dos biorresíduos produzidos (compostagem doméstica);
- ✓ A disponibilização de equipamentos de separação e reciclagem na origem (compostagem comunitária);
- ✓ A disponibilização de uma rede de recolha seletiva de biorresíduos;
- ✓ O desvio de biorresíduos de aterro e valorização energética;
- ✓ A recolha de biorresíduos com qualidade e em quantidade suficientes para justificar o tratamento em alta;

- ✓ A valorização orgânica dos biorresíduos recolhidos seletivamente ocorre apenas em linhas dedicadas, não sendo permitida a mistura de resíduos recolhidos seletivamente com os resíduos indiferenciados.

A metodologia relativa a este projeto serve de apoio para o desenvolvimento e comparação de cenários de recolha seletiva de biorresíduos e reporte de resultados [20]. Esta metodologia foi elaborada no âmbito de um Protocolo de colaboração assinado entre o Fundo Ambiental e a Universidade Nova, para a “Definição de uma metodologia para a elaboração de estudos municipais de recolha de biorresíduos”, decorrente do “Programa de apoio à elaboração de estudos municipais para o desenvolvimento de sistemas de recolha de biorresíduos” (Despacho nº 7262/2020 de 17 de julho [21]). Esta metodologia inclui o referido ficheiro em Excel, o qual combina três aspetos indissociáveis, os indicadores técnicos, económico-financeiros e ambientais que fundamentam a análise comparativa entre cenários alternativos, ou seja, opções de implementação de recolha seletiva e reciclagem na origem de biorresíduos. Para esta análise comparativa são definidos critérios para obtenção de dados e informações e cálculo de indicadores e variáveis.

O objetivo desta metodologia, e respetivo Ficheiro, é apoiar os municípios na construção e comparação de cenários de sistemas de desvio dos biorresíduos de aterro e de valorização energética seja por separação e reciclagem na origem que através da recolha seletiva de biorresíduos nas vertentes técnica, económica e ambiental. Assim, o objetivo final da presente metodologia é precisamente fornecer os conceitos e ferramentas de análise e simulação de alternativas de modo fundamentado, e que se deseja com o maior realismo possível, para que a melhor solução de recolha de biorresíduos possa ser identificada.

O ficheiro Excel é constituído por cinco folhas:

Folha 1 - Apoio à Decisão - É uma folha resumo que concentra os resultados dos indicadores técnicos, económico-financeiros e ambientais para o cenário estudado, para os anos 2023 (ano antes da obrigatoriedade da recolha seletiva de biorresíduos), 2027 (ano em que os Estados Membros só podem contabilizar como reciclados os resíduos urbanos recolhidos seletivamente, incluindo os biorresíduos) e 2030 (ano em que é estabelecida a meta de preparação para a reutilização e a reciclagem de resíduos urbanos para 60%, em peso).

Folha 2 - Fluxo de Caixa - Folha referente ao Fluxo de Caixa, considera a subdivisão deste entre Fluxo de Investimento e Fluxo de Exploração.

Folha 3 - Input Económico-Financeiro - É uma folha de preenchimento que alimenta a Folha 2 - Fluxo de Caixa. Em termos de tópicos, estes são os mesmos que a folha de Fluxo de Caixa agrega, apenas incluindo a Quantidade de biorresíduos recolhida seletivamente, a considerar nos Custos evitados (tarifa aprovada relativa aos resíduos indiferenciados e Taxa de Gestão de Resíduos (TGR)).

Folha 4 - Input Técnico - É uma folha de preenchimento que se encontra organizada em 8 temas principais: • População • Alojamentos • Produtores não domésticos • Quantidade potencial de biorresíduos • Taxa de captura de biorresíduos • Quantidade de biorresíduos recolhidos seletivamente ou reciclados na origem • Contentores • Viaturas.

Folha 5 – Auxiliar - Serve de complemento à Folha 4 - Input Técnico, permitindo aos municípios i) propor valores para determinadas variáveis para as quais o município discorda dos valores de referência sugeridos e ii) facilitar o preenchimento e leitura de resultados da Folha 4 - Input Técnico.

A estrutura sobre a qual estão organizadas as diferentes folhas é visível na seguinte figura (figura 4).

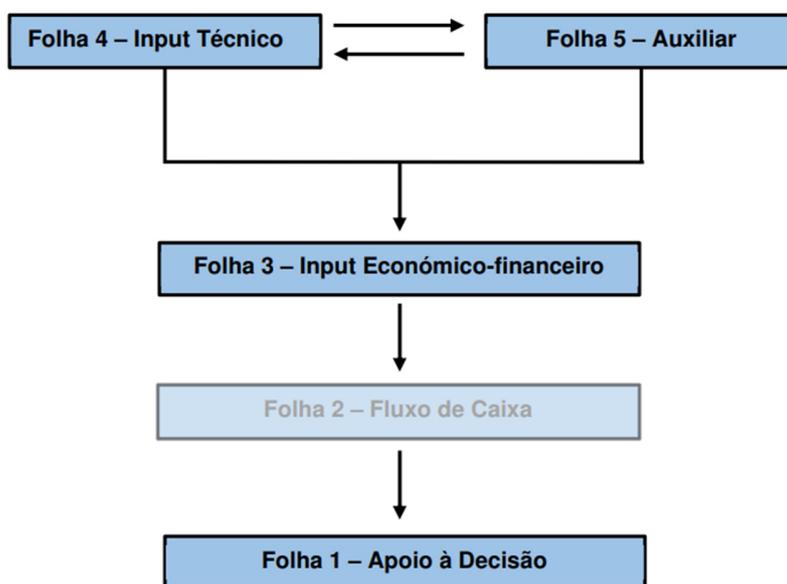


Figura 4 - Esquema representativo das folhas do ficheiro Excel do Fundo Ambiental (Fonte: [16])

3 Metodologia

Para o desenvolvimento deste trabalho foram seguidos os seguintes passos:

- ✓ Definição de requisitos
- ✓ Escolha das variáveis a incluir na base de dados
- ✓ Importação dos dados e criação da base de dados
- ✓ Desenvolvimento e validação da ferramenta

A metodologia seguida em cada um destes passos encontra-se descrita de seguida.

3.1 Definição de requisitos

A definição de requisitos da ferramenta a desenvolver foi feita em modo colaborativo com a organização não-governamental ZERO - ASSOCIAÇÃO SISTEMA TERRESTRE SUSTENTÁVEL e com a empresa de consultoria na área dos resíduos ECOGESTUS. Para isso foi realizada, em abril de 2021, uma reunião na qual foram definidos os pontos importantes aos quais a solução final deveria corresponder, bem como as condições sobre as quais iria ser possível a implementação da mesma.

Nesta reunião foi definido que a ferramenta deveria permitir a um gestor autárquico obter informação acerca da viabilidade de implementação de compostagem doméstica num determinado município, tendo em conta um conjunto reduzido de dados que serão inseridos pelo próprio utilizador acerca das condições sobre a qual se realizaria, bem como dados acerca do município em si, que seriam obtidos, sempre que possível, a partir de informação estatística e outra já existente.

3.2 Escolha das variáveis a incluir na base de dados

Foi em primeiro lugar identificado o conjunto de variáveis pertinentes a recolher e compilar na base de dados associada à ferramenta, tendo em conta os objetivos a atingir, a informação atualmente disponível e a fiabilidade desta informação.

Foi feita uma pesquisa bibliográfica na *internet* e com base nestes critérios foram selecionados dados provenientes de duas origens: (i) dados dos Censos, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) e com granularidade ao nível do município; e, (ii) dados relativos à gestão de resíduos e às empresas responsáveis por essa gestão, disponibilizados pela Entidade Reguladora dos Serviços

das Águas e dos Resíduos (ERSAR), que lança anualmente o Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal (RASARP).

Em cada um dos casos procurou-se utilizar os dados mais atualizados possíveis, sendo a última informação disponível os CENSOS de 2011 [22][23] e o RASARP relativo ao ano de 2019 [24]. Aguarda-se a todo o momento o lançamento dos resultados atualizados dos CENSOS de 2021 e do RASARP de 2020, o que até ao momento da submissão desta dissertação ainda não aconteceu.

As variáveis selecionadas e que foram incluídas na base de dados estão listadas nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 - Descrição de cada variável recolhida pelo Instituto Nacional de Estatística (Fontes:[22][23])

Variável	Descrição
Nome do Município	Designação identificativa única de cada autarquia
População residente	Número de habitantes no município
Área Territorial (km²)	Área total correspondente ao município
Densidade Populacional (habitantes por km²)	Rácio do número de habitantes por cada quilómetro quadrado de área do município, calculada pela seguinte fórmula: População residente/Área Territorial
Nº de Indivíduos por alojamento familiar clássico de residência habitual	Número médio de habitantes do município que residem em cada alojamento familiar clássico
Nº de alojamentos familiares clássicos de residência habitual em edifícios com 1 alojamento exclusivamente residencial	Número de residências com apenas 1 alojamento de fim exclusivamente residencial
Nº de alojamentos familiares clássicos de residência habitual em edifícios com 1 alojamento parcialmente residencial	Número de residências com apenas 1 alojamento de fim parcialmente residencial
Nº de alojamentos familiares clássicos de residência habitual em edifícios com 2 alojamentos	Número de residências com 2 alojamentos

Tabela 2 - Descrição de cada variável recolhida no RASARP (Fonte: [24])

Variável	Descrição
Nome da Empresa	Designação da empresa responsável pela recolha de resíduos urbanos
Refugos e rejeitados do TMB em 2019 (t)	Resíduos que não vão nem para tratamento biológico nem reciclagem Tratamento Mecânico-Biológico
Resíduos entrados no TM/TMB em 2019 (t)	Quantidade de resíduos que entram na unidade de tratamento mecânico e/ou biológico
Resíduos urbanos depositados diretamente em aterro (t/ano)	Quantidade anual de resíduos urbanos recolhidos que terminam depositados num aterro sanitário
Resíduos urbanos recolhidos indiferenciadamente (t/ano)	Quantidade anual de resíduos urbanos recolhidos de forma indiferenciada
Emissões de CO₂ das viaturas de recolha indiferenciada (kg/ano)	Emissões de Dióxido de Carbono para a atmosfera originadas pela utilização das viaturas de recolha de biorresíduos indiferenciadamente
SGRU	Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos associada ao município
Quantidade de RU indiferenciados recolhidos em 2019 (t/ano)	Quantidade total de resíduos urbanos indiferenciados recolhidos no município ano de 2019
Tarifa em alta (€/t)	Valor total pago ao Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos pela entrega dos resíduos do município no ano de 2019

3.3 Importação dos dados e criação de uma base de dados na folha de cálculo do Microsoft Excel

A partir dos ficheiros recolhidos no INE relativos a cada um dos indicadores relevantes a recolher, foram sendo recortadas as colunas em cada um, de acordo com a ordem alfabética dos municípios, de forma a juntar todos os dados num só ficheiro, que por sua vez foi copiado para uma folha vazia na ferramenta, à qual se deu o nome de 'Geo', por contemplar dados maioritariamente de natureza geográfica (visível na figura 5).

Município	CodGeo	Com 1 alojamento exclusivamente residencial	Com 1 alojamento parcialmente residencial	Com 2 alojamentos	Indivíduos por alojamento familiar	População	Superfície Territorial	
Abrantes	1401	10376		391	1621	2,4	39325	714,69
Águeda	0101	12765		528	843	2,7	47729	335,27
Aguiar da Beira	0901	1883		94	36	2,5	5473	206,77
Alandroal	0701	2178		38	113	2,4	5843	542,68
Albergaria-a-Velha	0102	6910		284	297	2,7	25252	158,82
Albufeira	0801	7089		203	1274	2,5	40828	140,66
Alcácer do Sal	1501	3852		123	563	2,5	13046	1499,87
Alcanena	1402	3906		131	410	2,5	13868	127,33
Alcobaça	1001	16001		486	1170	2,6	56693	408,14
Alcochete	1502	2528		50	385	2,6	17569	128,36
Alcoutim	0802	1298		14	17	2,1	2917	575,36
Alenquer	1101	9538		300	1063	2,6	43267	304,22
Alfândega da Fé	0401	1756		47	87	2,5	5104	321,95
Alijó	1701	3482		635	225	2,5	11942	297,6
Aljezur	0803	2010		206	248	2,2	5884	323,5
Aljustrel	0201	3134		282	171	2,4	9257	458,47
Almada	1503	15499		292	3169	2,4	174030	70,01
Almeida	0902	2643		75	203	2,3	7242	517,98

Figura 5 - Excerto da tabela "Geo" com os dados do INE

Relativamente aos dados do RASARP, a partir de um filtro, foram selecionados apenas os códigos relativos às variáveis que se pretendia recolher. Estes dados, apesar de já estarem agrupados (ao contrário da situação verificada relativamente aos dados geográficos), estavam num formado no qual os nomes das variáveis estavam como linhas, havendo 3 colunas, uma para o nome da empresa, uma com os nomes das variáveis e outra com o valor dessas variáveis. Ora, este formato representa uma ineficiência no processo de análise, por dificultar o processo de seleção das variáveis. Assim sendo, através de uma *Pivot Table*, as variáveis que estavam como linhas passaram para colunas, havendo apenas uma linha para cada empresa com os respetivos valores para cada variável, em vez de várias linhas com todas as variáveis para cada empresa, aumentando, assim, a legibilidade da tabela. A tabela final foi incluída na ferramenta final com o nome 'RASARP' (visível na figura 6).

Empresa	Refugos e rejeitados do TMB	Resíduos entrados no TM/TMB	Resíduos urbanos depositados diretamente em aterro	Resíduos urbanos recolhidos indiferenciadamente	Tarifa aprovada	Emissões de CO2 das viaturas de recolha indiferenciada
AGERE				65940		895429
Águas da Covilhã				16398		215570
Águas de Gaia				128755		1931958
ALGAR	16404	66907	279143		30,75	
AMARSUL	97637	215054	189136		20,48	
AMBILITAL	234	1631	58658		39	
AMBIOLHÃO				21455		397034
AMBISOUSA	0	0	130462		16,73	
Associação de Municípios da Região do Planalto Beirão				113807		2035451
Associação de Municípios do Alentejo Central	766	5515	5777		39,5	
Associação de Municípios do Douro Superior de Fins Específicos				11130		283801
BRAVAL	77022	89259	18092		13,6	
CM de Águeda				16122		214422
CM de Alandroal				2068		63402
CM de Albergaria-a-Velha				8648	NR	
CM de Albufeira				42179		558283

Figura 6 - Excerto da tabela "RASARP" incluída na ferramenta

Através do indicador da RASARP relativo ao SGRU, cada empresa já tinha associada a si um SGRU. De seguida, por via de uma pesquisa pelos relativos *websites*, foi associado a cada SGRU o município correspondente, de modo a, posteriormente, ser possível associar os dados desse SGRU ao município selecionado pelo utilizador, sendo essa associação armazenada na tabela 'SGRU-Município' (visível na figura 7). O resultado final é uma tabela na qual para cada município existe um SGRU e uma empresa responsável pelo tratamento de resíduos associados. Isto permitirá que, na folha de cálculos (secção 4.2) sejam automaticamente recolhidos (pela função *Vlookup do MS Excel*) os nomes do SGRU e empresa correspondentes ao município selecionado pelo utilizador, que por sua vez serão utilizados para pesquisar e extrair diretamente os dados da folha com os dados do RASARP (também através da função *Vlookup*). Assim sendo, a tabela 'SGRU-Município' acaba por ser o elo de ligação entre as tabelas com os dados do RASARP e dados geográficos.

Para importar os dados relativos a estas duas fontes para a folha de cálculos, foi utilizada a função do Microsoft Excel *Vlookup*, permitindo extrair valores relativos ao município inserido pelo utilizador das tabelas em questão.

Concelho	CodGeo	SGRU	Empresa
Abrantes	1401	VALNOR - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S.A.	SM de Abrantes
Águeda	0101	ERSUC - Resíduos Sólidos do Centro, S.A.	CM de Águeda
Aguiar da Beira	0901	ECOBELRÃO - Sociedade de Tratamento de Resíduos do Planalto Beirão	Associação de Municípios da Região do Planalto Beirão
Alandroal	0701	GESAMB - Gestão Ambiental e de Resíduos, EIM (-)	CM de Alandroal
Albergaria-a-Velha	0102	ERSUC - Resíduos Sólidos do Centro, S.A.	CM de Albergaria-a-Velha
Albufeira	0801	ALGAR - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S.A.	CM de Albufeira
Alcácer do Sal	1501	AMBILITAL - Empresa Intermunicipal de Investimentos Ambientais no Alentejo, EIM	CM de Alcácer do Sal
Alcanena	1402	RESITEJO - Associação de Gestão e Tratamento de Lixos do Médio Tejo	CM de Alcanena
Alcobaça	1001	VALORSUL - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos das Regiões de Lisboa e Oeste, S	CM de Alcobaça
Alcochete	1502	AMARSUL - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S.A.	CM de Alcochete
Alcoutim	0802	ALGAR - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S.A.	CM de Alcoutim
Alenquer	1101	VALORSUL - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos das Regiões de Lisboa e Oeste, S	CM de Alenquer
Alfândega da Fé	0401	Resíduos do Nordeste	Resíduos do Nordeste
Alijó	1701	RESINORTE - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S. A.	CM de Alijó
Aljezur	0803	ALGAR - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S.A.	CM de Aljezur
Aljustrel	0201	AMBILITAL - Empresa Intermunicipal de Investimentos Ambientais no Alentejo, EIM	CM de Aljustrel

Figura 7 - Excerto da tabela 'SGRU-Município' incluída na ferramenta

3.4 Desenvolvimento e validação da ferramenta

O Microsoft Power BI foi o software inicialmente escolhido para desenvolver esta ferramenta. No entanto, logo na fase inicial verificou-se que este software tinha algumas limitações que impossibilitavam dar resposta a alguns dos requisitos definidos. A ferramenta foi assim desenvolvida utilizando o software MS Excel, versão 2019.

Posteriormente, e já fora do âmbito deste trabalho, a organização ZERO fará a transposição desta ferramenta para um *website* e a divulgação da mesma para a sociedade civil. Após a reunião inicial de definição de requisitos teve início o processo relativo ao desenvolvimento da ferramenta, descrito em seguida.

Após ter sido desenvolvida uma primeira versão da ferramenta, foi feita, a 8 de outubro de 2021, uma segunda reunião com a organização ZERO e com a empresa ECOGESTUS com a finalidade de apresentar a ferramenta e recolher feedback. Após a mesma, foram feitos alguns ajustes, nomeadamente à gama de valores aceitáveis para as variáveis a introduzir pelo utilizador e à estrutura da ferramenta, que resultou na versão final aqui descrita.

4 Solução Proposta

A solução desenvolvida consiste num ficheiro do Microsoft Excel, que funciona de forma independente desta dissertação, e que pode ser consultada em <https://drive.google.com/drive/folders/1m07X2G0XZucqpP-ilkd4pUIGgbDoBHe?usp=sharing>. A forma geral como esta solução está esquematizada pode ser vista na figura 8.

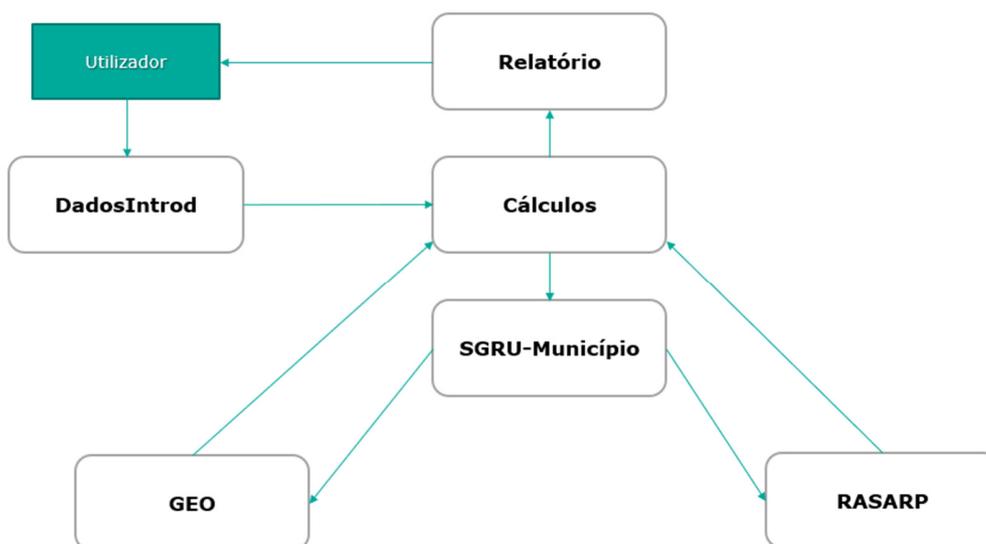


Figura 8 - Representação esquemática do funcionamento da ferramenta

O ficheiro possui folhas invisíveis ao utilizador final com os indicadores necessários à análise (após o respetivo tratamento e importação). Estas folhas contemplam as tabelas, anteriormente referidas, que armazenam os dados geográficos relativos ao município (folha 'Geo'), os dados do RASARP (folha 'RASARP') e ainda a associação de cada município ao respetivo SGRU (folha 'SGRU-Município'). Por fim, a folha de 'Cálculos', na qual se encontram todos os cálculos realizados sobre os dados importados e introduzidos pelo utilizador de modo a retornar o output pretendido, sob a forma de uma tabela com dados correspondentes aos anos de 2021 e previsões até 2030, é também ela uma folha invisível ao utilizador final (folha descrita na secção 4.2).

Para além dessas folhas invisíveis, existem 2 folhas visíveis ao utilizador. Na folha de dados a introduzir ('DadosIntrod'), o utilizador deverá selecionar, para cada variável de uma determinada lista, os valores relativos ao seu município e às previsões mais exequíveis das condições sobre as quais a implementação de compostagem doméstica no concelho se irá realizar (folha descrita na secção 4.1). Na

folha de relatório, serão apresentados ao utilizador todos os valores considerados relevantes, bem como algumas representações gráficas, resultantes dos cálculos realizados na folha de cálculos, de valores presentes nas bases de dados ou até dos valores introduzidos pelo utilizador. Trata-se de uma folha cujo formato permite uma impressão em folhas A4 (folha descrita na secção 4.3).

As folhas relativas aos dados a introduzir, cálculos e relatório serão, assim, apresentadas com mais detalhe neste capítulo, nas seguintes secções.

4.1 Folha de Dados a Introduzir

A primeira folha visível ao utilizador trata-se da folha 'DadosIntrod' (figura 9) com os dados que o utilizador deverá preencher acerca, não só do seu município e das condições atuais de recolha e tratamento de resíduos do mesmo, mas também sobre previsões para o intervalo temporal de análise (2021 a 2030).

Insira os seguintes dados sobre o seu município:	
Nome do município	Aveiro
Custo médio com a recolha de biorresíduos/indiferenciados (€/t)	40.00 €
Percentagem de Biorresíduos nos Resíduos Urbanos	40%
Implementação da compostagem doméstica 2021-2030:	
Taxa de inflação anual	2.0%
Adesão à compostagem doméstica dos residentes em edifícios com 1 ou 2 alojamentos	
No 1º ano	5%
Ao 10º ano	45%
Percentagem de compostores a substituir por ano (danificados, perdidos, etc)	5%
Formação e acompanhamento e sensibilização para a compostagem doméstica	
Custo por alojamento no 1º ano	15.00 €
Custo por alojamento por ano a partir do 2º ano	5.00 €
Custo unitário do compostor em 2021 (€)	40.00 €
Taxa de Financiamento	0%

Figura 9 - Folha de Excel relativa à introdução de dados por parte do utilizador

Para permitir ao utilizador uma forma mais prática e rápida de seleção de valores para estas variáveis, foi implementada para cada uma, através da funcionalidade de Validação de Dados do Microsoft Excel, uma

lista de *Dropdown* com valores exequíveis e praticáveis, e confirmados em reunião com as associações representantes da Sociedade Civil. Estas listas foram armazenadas numa folha à parte, escondida do utilizador final, a partir da qual a Validação de Dados importa os valores disponibilizados para a escolha do utilizador. Seguem, na tabela 3, as variáveis e os respetivos valores passíveis de serem introduzidos:

Tabela 3 - Valores passíveis de serem inseridos para cada uma das variáveis da folha 'DadosIntrod'

Variável	Valores a Introduzir
Nome do município	Todos os municípios do território nacional
Taxa de Inflação	Valores de 0,5% a 2,5% em intervalos de 0,5%
Custo médio com a recolha de resíduos (€/t)	Valores de 20€ a 300€ em intervalos de 10€
Adesão à compostagem doméstica pelos residentes em alojamentos em edifícios com 1 ou 2 alojamentos (%) no primeiro ano	Valores de 5% a 15% em intervalos de 1%
Adesão à compostagem doméstica pelos residentes em alojamentos em edifícios com 1 ou 2 alojamentos (%) no décimo ano	Valores de 15% a 75% em intervalos de 5%
Percentagem de biorresíduos presentes nos resíduos urbanos	Valores de 15% a 95% em intervalos de 5%
Percentagem de compostores a substituir por ano (danificados, perdidos, etc.)	Valores de 0,5% a 15% em intervalos de 0,5%
Custo para formação, acompanhamento e sensibilização para a compostagem doméstica por alojamento no 1ºano	Valores de 10€ a 30€ em intervalos de 1€
Custo para formação, acompanhamento e sensibilização para a compostagem doméstica por alojamento a partir do 2ºano	Valores de 5€ a 25€ em intervalos de 1€ (Com indicação prévia ao utilizador de introduzir valor inferior ao do 1º ano, visto que o preço será sempre inferior ao inicial por haver menos novos aderentes)
Custo unitário do compostor em 2021 (€)	Valores de 20€ a 100€ em intervalos de 5€
Taxa de financiamento na compra dos compostores (%)	Valores de 0% a 100% em intervalos de 5%

Os valores para estas variáveis escolhidos pelo utilizador serão de grande importância para o resultado final dos cálculos, que por sua vez servirão para fazer as previsões do impacto ambiental e do retorno de investimento municipal em compostagem doméstica, como irá ser demonstrado nas seguintes secções.

4.2 Folha de Cálculos

Para além das folhas relativas às bases de dados, existe outra folha igualmente invisível ao utilizador final, mas não menos importante. Trata-se da folha de cálculos, na qual os dados são recolhidos, tratados e utilizados em cálculos cuja finalidade final será permitir apresentar ao utilizador os valores e gráficos que lhe permitirão retirar preciosas conclusões (esta finalidade será cumprida já na folha de relatório, relativa à secção 4.3).

4.2.1 Cálculos independentes de variável temporal

De forma a servir de suporte aos cálculos finais, realizados sobre o intervalo temporal de 10 anos (secção 4.2.3), tiveram de ser realizados vários cálculos que utilizam, ora variáveis das bases de dados do INE e RASARP, ora variáveis com valor introduzido pelo utilizador, ou ainda resultados de outros cálculos. Seguem as equações relativas a esses cálculos:

Alojamentos Totais - Esta equação foi desenvolvida de modo a retornar o valor do total de alojamentos do município nos quais é possível a implementação de compostagem doméstica, ou seja, a soma de todos os alojamentos em edifícios com 1 alojamento parcialmente residencial, com 1 alojamento exclusivamente residencial e com 2 alojamentos. O resultado desta soma equivale ao potencial máximo de compostores a implementar na autarquia.

$$\text{Equação 1: } \text{AlojTotais} = n^{\circ}\text{Aloj1ER} + n^{\circ}\text{Aloj1PR} + n^{\circ}\text{Aloj2}$$

Onde:

- ✓ AlojTotais - Valor do total de alojamentos do município nos quais é possível a implementação de compostagem doméstica
- ✓ N^oAloj1ER – N^o de alojamentos familiares clássicos de residência habitual em edifícios com 1 alojamento exclusivamente residencial
- ✓ N^oAloj1PR - N^o de alojamentos familiares clássicos de residência habitual em edifícios com 1 alojamento parcialmente residencial
- ✓ N^oAloj2 - N^o de alojamentos familiares clássicos de residência habitual em edifícios com 2 alojamentos

Esta equação foi utilizada para calcular o número relativo ao potencial máximo do número de compostores em utilização no município após 10 anos da implementação, visto que se trata da soma do total de alojamentos nos quais é possível a colocação e utilização de compostores domésticos.

Capitação - Esta equação foi desenvolvida para retornar valores sobre a quantidade de resíduos gerada por dia por habitante.

$$\text{Equação 2: Capitação(kg por habitante por ano)} = \frac{1000 \cdot \text{RUIndiferenciados}}{\text{PopM}}$$

Onde:

- ✓ RUIndiferenciados - Quantidade de RU indiferenciados recolhidos em 2019 (t/ano)
- ✓ PopM - População residente no município em 2011 (habitantes)

Para além do valor desta equação ser apresentado diretamente ao utilizador no relatório, este também é utilizado para calcular a quantidade média de biorresíduos compostados por pessoa no município.

Percentagem de Resíduos Urbanos Recolhidos para Aterro - Esta equação foi desenvolvida para ter uma ideia relativamente à forma atual de tratamento de resíduos urbanos no município através de uma medida percentual da quantidade de resíduos que acabam em aterro sobre o total de resíduos recolhidos nesse período.

$$\text{Equação 3: \%RURecolhidosPAterro} = \frac{(\text{RefugosRejeitadosTMB} + \text{RUDepositadosAterro})}{(\text{ResíduosEntradosTM/TMB} + \text{RUDepositadosAterro})}$$

Onde:

- ✓ RefugosRejeitadosTMB - Resíduos que não vão nem para tratamento biológico nem reciclagem Tratamento Mecânico-Biológico
- ✓ RUDepositadosAterro - Quantidade anual de resíduos urbanos recolhidos que termina depositada num aterro sanitário
- ✓ ResíduosEntradosTM/TMB - Quantidade de resíduos que entram na unidade de tratamento mecânico e/ou biológico

Chama-se a atenção que os rejeitados da incineração e da reciclagem das embalagens, papel e cartão não foram considerados na ferramenta, apenas foram considerados os rejeitados do TMB.

Para além do valor desta equação ser apresentado diretamente ao utilizador no relatório, este também é utilizado para calcular o valor total da TGR.

Número estimado de alojamentos com compostagem doméstica em 2030 - Esta equação foi desenvolvida para dar ao gestor autárquico uma noção da quantidade de alojamentos do município com compostagem doméstica 10 anos após a implementação da mesma no concelho. É uma medida que permite ter uma compreensão do potencial associado a um investimento nesta tecnologia de tratamento de resíduos.

$$\text{Equação 4: } N^{\circ}\text{EstimadoAlojComp2030} = \text{AlojTotais} * \% \text{AdesãocompdomAno10}$$

Onde:

- ✓ $N^{\circ}\text{EstimadoAlojComp}$ (2030) - N° estimado de alojamentos com compostagem (em 2030)
- ✓ AlojTotais - Valor do total de alojamentos do município nos quais é possível a implementação de compostagem doméstica
- ✓ %AdesãocompdomAno10 – Percentagem prevista da população aderente à compostagem doméstica no 10º ano após a implementação (valor introduzido pelo utilizador)

O resultado desta equação não foi utilizado para mais nenhum cálculo, e é, assim, apresentado diretamente ao utilizador no relatório.

Estimativa da população aderente à compostagem doméstica em 2030 - Esta equação foi desenvolvida para dar o gestor autárquico uma noção da quantidade de residentes do município aderentes à compostagem doméstica 10 anos após a implementação da mesma no concelho. É uma medida que permite ter uma compreensão do potencial associado a um eventual investimento nesta tecnologia de tratamento de resíduos.

$$\text{Equação 5: } \text{EstimativaPopAderenteComp2030} = \text{AlojTotais} * \% \text{AdesãocompdomAno10} * \text{IndAloj}$$

Onde:

- ✓ EstimativaPopAderenteComp2030 – Estimativa da população aderente à compostagem doméstica em 2030
- ✓ AlojTotais – Valor do total de alojamentos do município nos quais é possível a implementação de compostagem doméstica
- ✓ %AdesãocompdomAno10 – Percentagem prevista da população aderente à compostagem doméstica no 10º ano após a implementação (valor introduzido pelo utilizador)
- ✓ IndAloj – Número médio de indivíduos por alojamento no município

Para além do valor desta equação ser apresentado diretamente ao utilizador no relatório, este também é utilizado para calcular a percentagem da população residente do município com compostagem doméstica implementada no ano de 2030.

Percentagem da população que é aderente à compostagem doméstica em 2030 - Esta equação foi desenvolvida de modo a retornar a percentagem da população aderente à Compostagem Doméstica 10 anos após a implementação da mesma em relação à população total, dando, assim, uma visão sobre o volume da população que aderiu a esta nova forma de tratamento de resíduos.

$$\text{Equação 6: \%PopAderente2030} = \frac{\text{EstimativaPopAderenteComp2030}}{\text{PopM}}$$

Onde:

- ✓ %PopAderente2030 – Percentagem da população do município que aderiu à compostagem doméstica em 2030
- ✓ EstimativaPopAderenteComp2030 - Estimativa da população aderente à compostagem doméstica em 2030
- ✓ PopM - População residente no município em 2011 (habitantes)

O resultado desta equação não foi utilizado para mais nenhum cálculo, e é, assim, apresentado diretamente ao utilizador no relatório.

Quantidade de biorresíduos compostada por pessoa - Esta equação foi desenvolvida de modo a estimar a quantidade de biorresíduos compostada por pessoa após a implementação de compostagem no município, permitindo ao gestor autárquico ter uma noção do potencial individual da compostagem no seu concelho.

$$\text{Equação 7: QtidadeBiorrCompPpessoa} = \text{Capitação} * \%Biorr * \%BiorrAdeqComp$$

Onde:

- ✓ QtidadeBiorrCompPpessoa – Quantidade de biorresíduos compostada por pessoa
- ✓ Capitação – Quantidade de resíduos gerada por dia por habitante
- ✓ %Biorr – Percentagem de biorresíduos nos resíduos urbanos
- ✓ %BiorrAdeqComp – Percentagem dos biorresíduos que são adequados à compostagem

Para além do valor desta equação ser apresentado diretamente ao utilizador no relatório, este também é utilizado para calcular a quantidade de biorresíduos por compostor por ano no município.

Quantidade de biorresíduos por compostor doméstico por ano - Esta equação foi desenvolvida para obter uma medida anual quantitativa relativa à quantidade de biorresíduos compostada por compostor doméstico, permitindo, assim, a realização de cálculos à escala municipal que permitam ao gestor autárquico perceber o volume de biorresíduos que estão a ser desviados de rotas de tratamento indiferenciado. Esta quantidade de biorresíduos corresponderá a quantidade de composto que cada alojamento poderá fornecer à atividade agrícola.

$$\text{Equação 8: } Q_{\text{tidadeBiorrPCompPano}} = Q_{\text{tidadeBiorrCompPpessoa}} * \text{IndAloj}$$

Onde:

- ✓ $Q_{\text{tidadeBiorrPCompPano}}$ – Quantidade de biorresíduos compostada por compostor doméstico por ano
- ✓ $Q_{\text{tidadeBiorrCompPpessoa}}$ – Quantidade de biorresíduos compostada por pessoa
- ✓ IndAloj - Número médio de indivíduos por alojamento no município

O resultado desta equação, para além de ser apresentado diretamente ao utilizador no relatório, é também utilizado para calcular os valores anuais da quantidade de biorresíduos compostados no município entre 2021 e 2030.

Quilogramas de dióxido de carbono emitida para a atmosfera por tonelada de resíduos recolhida - Esta equação foi desenvolvida para através de valores que relacionem as emissões de dióxido de carbono à quantidade de resíduos indiferenciados recolhidos através do rácio, permitir ter uma noção do impacto Ambiental associado à recolha indiferenciada de resíduos urbanos.

$$\text{Equação 9: } \text{kgCO}_2\text{Ptderesíduosrecolhida} = \frac{\text{EmissõesCO}_2\text{viaturasrecolha}}{\text{QtidadeRUindiferenciadosrecolhidos2019}}$$

Onde:

- ✓ $\text{kgCO}_2\text{Ptderesíduosrecolhida}$ – Quilogramas de Dióxido de Carbono emitido para a atmosfera por tonelada de resíduos recolhida indiferenciadamente (Emissões de CO₂ com a recolha indiferenciada de 1 tonelada de resíduos (kg))
- ✓ EmissõesCO₂viaturasrecolha – Emissões de Dióxido de Carbono relativas às viaturas de recolha indiferenciada de resíduos (kg/ano)
- ✓ $Q_{\text{tidadeRUindiferenciadosrecolhidos2019}}$ – Quantidade de resíduos urbanos recolhidos indiferenciadamente no ano de 2019 (toneladas)

O resultado desta equação, para além de ser apresentado diretamente ao utilizador no relatório, é também utilizado para calcular os valores das emissões evitadas associadas à recolha de resíduos.

Segue, representada na figura 10, a forma como os dados sobre as características de cada município e respetivo SGRU se encontram estruturados na ferramenta na folha de cálculos, evidenciado os valores calculados de três variáveis: nº de alojamentos totais em 2011 (equação 1), capitação (equação 2), percentagem de resíduos urbanos recolhidos que acaba depositada em aterro (equação 3).

BASES DE DADOS			
BASE DE DADOS DOS MUNICIPIOS		nível de desagregação espacial: MUNICÍPIO	
Nome do município		Aveiro	
código de identificação do município		0105	
População residente em 2011 (habitantes)		78450	INE, census 2011
Área territorial (km2)		197.58	INE, census 2011
Densidade populacional em 2011 (habitantes/km2)		397.0543577	INE, census 2011
Quantidade de RU indiferenciados recolhidos em 2019 (t/ano)		34978	RASARP 2020 - indicador: dRU35b
valor pago ao SGRU pela entrega dos resíduos em 2019 (€/t)		28.39	RASARP 2020 - indicador: dRU87a
Nº de alojamentos familiares clássicos de residência habitual em 2011 em edifícios com:			
1 alojamento exclusivamente residencial		14589	INE, census 2011
1 alojamento parcialmente residencial		621	INE, census 2011
2 alojamento		1595	INE, census 2011
nº de alojamentos totais em 2011		16805	CÁLCULO INTERNO
nº médio de pessoas por alojamento em 2011		2.5	INE, census 2011
Capitação (kg/hab.ano)		446	CÁLCULO INTERNO
BASE DE DADOS DOS SGRUS		nível de desagregação espacial: SGRU	
Nome do SGRU		ERSUC - Resíduos	RASARP 2020 - indicador: dRU11b
Resíduos entrados no TM/TMB em 2019 (t/ano)		356927	RASARP 2020 - indicador: dRU40a
Refugos e rejeitados do TMB em 2019 (t/ano)		218442	RASARP 2020 - indicador: dRU46a
Resíduos urbanos depositados diretamente em aterro em 2019 (t/ano)		17546	RASARP 2020 - indicador: dRU47a
% de resíduos urbanos recolhidos que acaba depositada em aterro		63%	CÁLCULO INTERNO
BASE DE DADOS DE COMPOSTORES		nível de desagregação espacial: NÃO APLICÁVEL	
custo unitário do compostor em 2021 (€)		40	

Figura 10 - Forma como os dados sobre as características de cada município se encontram estruturados na ferramenta, (caso do município de Aveiro) – folha “Cálculos”

Na figura 11 encontra-se representada a forma como os dados sobre os alojamentos e custos associados à implementação de compostagem se encontram estruturados na ferramenta na folha de

cálculos, evidenciado os valores calculados de cinco variáveis: número estimado de alojamentos com compostagem em 2030 (equação 4), estimativa da população aderente à compostagem em 2030 (equação 5), percentagem da população residente com compostagem doméstica em 2030 (equação 6), quantidade de biorresíduos compostados por pessoa (equação 7) e quantidade de biorresíduos por compostor por ano (equação 8).

inputs do utilizador e cálculos			
Nome do município	Aveiro	a preencher pelo utilizador	
SGRU	ERSUC - Resíduos Sólidos do Centro, S.A.		
Empresa Responsável	CM de Aveiro		
tx inflação	2%	a preencher pelo utilizador	
Custo médio com a recolha (€/t)	40	a preencher pelo utilizador	
Cálculo do nº de alojamentos que podem potencialmente fazer compostagem doméstica			
nº de alojamentos residenciais em edifícios com 1 ou 2 alojamentos	16805	CÁLCULO INTERNO	
Adesão à compostagem doméstica pelos residentes em alojamentos em edifícios com 1 ou 2 alojamentos (%)			
ano 1	5%	a preencher pelo utilizador	
ano 10	45%	a preencher pelo utilizador	
Nº estimado de alojamentos com compostagem (em 2030)	7562	CÁLCULO INTERNO	
nº médio de pessoas por alojamento em 2011	2.5	INE, census 2011	
Estimativa população aderente à Compostagem (em 2030)	18906	CÁLCULO INTERNO	
% da População residente com compostagem doméstica (em 2030)	24%	CÁLCULO INTERNO	
Percentagem de Biorresíduos nos Resíduos Urbanos	40%	a preencher pelo utilizador	
Cálculo do custos a incorrer com a compostagem doméstica (investimento, manutenção e de sensibilização/formação)			
% compostores a substituir por ano (danificados, perdidos, etc)	5%	a preencher pelo utilizador	
Formação e acompanhamento e sensibilização para a compostagem doméstica			
Custo (euros) por alojamento no 1º ano	15	a preencher pelo utilizador	
Custo (euros) por alojamento a partir do 2º ano	5	a preencher pelo utilizador	
% dos biorresíduos adequados para compostagem domestica	40%		
Quantidade de biorresíduos compostada/pessoa (kg/ano)	71	CÁLCULO INTERNO	
Quantidade de biorresíduos por compostor /ano (kg/ano)	178	CÁLCULO INTERNO	

Figura 11 - Forma como os dados relativos aos alojamentos e custos associados à implementação de compostagem se encontram estruturados na ferramenta, (caso do município de Aveiro) – folha “Cálculos”

Na figura 12 encontra-se representada a forma como os dados sobre as vantagens ambientais associadas à implementação da compostagem doméstica se encontram estruturados na ferramenta na folha de cálculos, evidenciado os valores calculados de uma variável: Emissões de Dióxido de Carbono por cada tonelada de resíduos recolhida indiferenciadamente (equação 9).

Cálculo das vantagens ambientais com a compostagem doméstica		
Emissões de gases efeito estufa relativos às viaturas de recolha em 2019 (kg)		342892
Emissões de CO ₂ com a recolha indiferenciada de 1 tonelada de resíduos (kg)		9.803

Figura 12 - Forma como os dados relativos às vantagens ambientais associadas à implementação de compostagem se encontram estruturados na ferramenta, (caso do município de Aveiro) – folha “Cálculos”

4.2.2 Variáveis constantes

Alguns valores são demasiado difíceis ao gestor autárquico de prever, ou são variáveis cujo valor constante é conhecido e igual para todos os municípios. Assim sendo, os valores para estas variáveis foram mantidos constantes e são os seguintes:

- ✓ Percentagem dos biorresíduos adequados para compostagem doméstica= 40%
- ✓ Valor unitário da TGR (€/t):
 - 2021 - 2022 = 22€/t
 - 2023 = 25€/t
 - 2024 = 30€/t
 - 2025 - 2030 = 35€/t
- ✓ Percentagem anual de desistências na população já praticante de compostagem doméstica= 5%

4.2.3 Cálculos de previsão para 10 anos

De forma a constituir uma tabela com valores relativos a uma previsão de 10 anos das condições sobre a qual se irá praticar a implementação de compostagem doméstica no município, foram realizados os seguintes cálculos:

- ✓ Adesão à compostagem doméstica pelos residentes em alojamentos em edifícios com 1 ou 2 alojamentos (%):
 - 2021 = Introduzido pelo utilizador
 - $2022 - 2029 = \frac{(\text{Valor de 2030} - \text{Valor de 2021})}{9 + \text{Valor do Ano Anterior}}$
 - 2030 = Introduzido pelo utilizador
- ✓ Nº de compostores em utilização no município:
 - 2021 = Adesão à Compostagem Doméstica (2021) *
nº de alojamentos em edifícios com 1 ou 2 alojamentos
 - 2022 – 2030 = Nº de compostores em utilização no município (Ano anterior) +
nº de compostores a adquirir para novos aderentes (Ano) – nº de compostores relativos às
desistências
- ✓ A adquirir para novos aderentes:
 - 2021 = Nº de compostores em utilização no município em 2021
 - 2022 – 2030 = [Adesão à compostagem doméstica (Ano atual) –
Adesão à compostagem doméstica (Ano anterior)] *
nº de alojamentos em edifícios com 1 ou 2 alojamentos

- ✓ A substituir:
 - 2021 = 0
 - 2022 – 2030 = Nº de compostores em utilização no município (Ano Atual) *
%Compostores a substituir por ano (danificados, perdidos, etc)
- ✓ nº de compostores a adquirir (2021 a 2030) =
Compostores a adquirir para novos aderentes (Ano Atual) + Compostores a substituir (Ano Atual)
- ✓ Custo unitário por compostor (€):
 - 2021 = (1 – Taxa de financiamento na compra dos compostores) *
Custo unitário por compostor em 2021
 - 2022 – 2030 = Custo unitário por compostor (Ano anterior) + $\frac{100 + \text{Taxa de Inflação}}{100}$
- ✓ Custo com a aquisição de compostores domésticos (€)(2021 a 2030) =
nº de compostores a adquirir (Ano Atual) * Custo unitário por compostor (Ano Atual)
- ✓ Formação e acompanhamento e sensibilização (€):
 - 2021 = Custo de formação por alojamento no 1ºano *
nº de compostores em utilização no município (Ano Atual)
 - 2022 – 2030 = Custo de formação por alojamento no 1º ano *
Compostores a adquirir para novos aderentes(Ano Atual) *
Custo de formação por alojamento a partir do 2º ano *
Nº de compostores em utilização no município (Ano anterior)
- ✓ Custo total (2021 – 2030) = Custo com a aquisição de compostores domésticos(Ano Atual) +
Custo de Formação e acompanhamento e sensibilização(Ano Atual)
- ✓ Custo total acumulado:
 - 2021 = Custo total (2021)
 - 2022 – 2030 = Custo total acumulado (Ano Anterior) + Custo total (Ano Atual)
- ✓ Saldo Anual (2021 – 2030) = Custos totais evitados (Ano Atual) – Custo total(Ano Atual)
- ✓ Retorno de Investimento (€):
 - 2021 = Saldo Anual (2021)
 - 2022 – 2030 = Retorno de Investimento (Ano Anterior) + Saldo Anual (Ano Atual)
- ✓ Quantidade de Biorresíduos compostada (t/ano) (2021 – 2030) =
 $\frac{\text{nº de compostores em utilização no município (Ano Atual)} * \text{Quantidade de biorresíduos por compostor por ano}}{1000}$

- ✓ % dos Resíduos Urbanos compostados (2021 – 2030) = $100 * \frac{\text{Quantidade de Biorresíduos compostada(Ano Atual)}}{\text{Resíduos Urbanos indiferenciados no município em 2019}}$
- ✓ Emissões de CO₂ evitadas com a implementação de compostagem doméstica (kg por ano)(2021 – 2030) = Quantidade de Biorresíduos compostados (Ano Atual) * kg de CO₂ por tonelada de resíduos recolhida
- ✓ Emissões de CO₂ evitadas com a implementação de compostagem doméstica acumuladas (kg):
 - 2021 = Emissões de CO₂ Evitadas (2021)
 - 2022 – 2030 = Emissões de CO₂ Evitadas Acumuladas (Ano Anterior) + Emissões de CO₂ Evitadas (Ano Atual)
- ✓ Valor total da TGR (€ por ano)(2021 – 2030) = Quantidade de Biorresíduos compostada(Ano Atual) * % de resíduos urbanos recolhidos que acaba depositada em aterro * Valor unitário da TGR (€/t)
- ✓ Tarifa de encaminhamento de Resíduos Urbanos:

Valor unitário (€/t) (2021-2030) = valor pago ao SGRU pela entrega dos resíduos em 2019 (€/t)
- ✓ Valor total (€/ano) (2021 – 2030) = Quantidade de Biorresíduos compostados(Ano Atual) * Valor unitário(Ano Atual)
- ✓ Custo de recolha evitados (€ porAno)(2021 – 2030) = Quantidade de Biorresíduos compostada(Ano Atual) * Custo médio com a recolha
- ✓ Custos totais evitados (€ por Ano)(2021 – 2030) = Valor total da TGR(Ano Atual) + Valor total Tarifa de encaminhamento de Resíduos Urbanos (Ano Atual) + Custos de recolha evitados (Ano Atual)
- ✓ Número de compostores relativos às desistências:
 - 2021 = 0
 - 2021 – 2030 = Percentagem anual de desistências * Compostores a adquirir para novos aderentes (Ano anterior)

Na figura 13 é visível a maneira como a folha de cálculos está organizada para apresentar o valor das variáveis relativas aos cálculos, entre 2021 e 2030, dos custos e emissões evitadas com a implementação de compostagem doméstica.

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	TOTAL
	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	
Adesão à compostagem em edifícios com 1 ou 2 alojamentos (%)	5%	9%	14%	18%	23%	27%	32%	36%	41%	45%	
nº de compostores em utilização no município	840	1,545	2,255	2,964	3,674	4,383	5,093	5,802	6,512	7,221	
a adquirir para novos aderentes	840	747	747	747	747	747	747	747	747	747	
a substituir	-	42	77	113	148	184	219	255	290	326	
Compostores relativos às desistências	-	42	37	37	37	37	37	37	37	37	
nº de compostores a adquirir	840	789	824	860	895	931	966	1,002	1,037	1,072	9,216
custo unitário (€/compostor)	40	40,01	40,02	40,02	40,03	40,04	40,05	40,06	40,06	40,07	
Custos com a aquisição de compostores domésticos (€)	33,610	31,562	32,979	34,406	35,833	37,260	38,689	40,117	41,547	42,977	368,979
Formação e acompanhamento e sensibilização (€)	12,604	15,405	18,929	22,477	26,024	29,572	33,120	36,668	40,215	43,763	278,776
Desistências	0%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	
Custos de Investimentos e exploração (€/ano)	46,214	46,967	51,908	56,882	61,857	66,832	71,808	76,785	81,762	86,740	647,756
Custos de Investimentos e exploração acumulado (€)	46,214	93,181	145,089	201,971	263,828	330,660	402,469	479,254	561,016	647,756	
Saldo Anual	-33,887.58	-24,300.49	-18,072.52	-10,733.02	-2,596.63	3,873.45	10,342.95	16,811.88	23,280.24	29,748.04	
Qtidade biorresíduos compostada t/ano	149.9	275.6	402.1	528.7	655.2	781.7	908.3	1,034.8	1,161.4	1,287.9	
% dos RU indiferenciados compostados	0%	1%	1%	2%	2%	2%	3%	3%	3%	4%	
Emissões de CO ₂ evitadas com compostagem doméstica (kg)	1,469	2,701	3,942	5,182	6,423	7,663	8,904	10,145	11,385	12,626	
Emissões de CO ₂ evitadas com compostagem doméstica acumuladas (kg)	1,469	4,170	8,112	13,295	19,718	27,381	36,285	46,430	57,815	70,440	

Figura 13 - Organização da informação na folha "Cálculos" relativos à previsão para 10 anos dos custos e emissões evitadas com a implementação de compostagem(o exemplo apresentado diz respeito ao município de Aveiro)

Na figura 14 é visível a forma como a folha de cálculos está organizada para apresentar o valor das variáveis relativas aos cálculos, entre 2021 e 2030, dos custos evitados e retorno de investimento associados à implementação de compostagem doméstica.

TGR De acordo com novo RGGR - 102/2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	TOTAL
valor unitário (€/t)	22	22	25	30	35	35	35	35	35	35	
valor total (€/ano)	2077.6	3820.5	6335.1	9994.5	14451.4	17242.5	20033.7	22824.8	25615.9	28407.0	150,803
Tarifa encaminhamento de RU											
valor unitário (€/t)	28.39	28.39	28.39	28.39	28.39	28.39	28.39	28.39	28.39	28.39	
valor total (€/ano)	4,254.4	7,823.3	11,415.9	15,008.5	18,601.1	22,193.7	25,786.2	29,378.8	32,971.4	36,564.0	203,997
Recolha (€/ano)	5,994.2	11,022.7	16,084.4	21,146.2	26,207.9	31,269.7	36,331.5	41,393.2	46,455.0	51,516.7	287,421
Gastos evitados (€/ano)	12,326.2	22,666.5	33,835.4	46,149.2	59,260.4	70,705.9	82,151.4	93,596.8	105,042.3	116,487.8	642,222
Gastos evitados acumulados (€/ano)	12,326.2	34,992.6	68,828.1	114,977.3	174,237.7	244,943.6	327,094.9	420,691.8	525,734.1	642,221.8	
Retorno de Investimento (€)	-33,887.58	-58,188.07	-76,260.60	-86,993.62	-89,590.24	-85,716.80	-75,373.85	-58,561.97	-35,281.73	-5,533.69	

Figura 14 - Organização da informação na folha "Cálculos" relativos à previsão para 10 anos dos custos evitados e do retorno de investimento

4.3 Folha de Relatório

O resultado final a apresentar ao utilizador é uma folha com dados relativos à caracterização do município selecionado pelo mesmo, ao potencial correspondente à implementação de compostagem doméstica até ao ano de 2030 e, por fim, 3 gráficos que representam informação relativa às vantagens financeiras e ambientais relativas à implementação de compostagem doméstica no município.

Os dados relativos à caracterização do município são os seguintes:

- ✓ População
- ✓ Área territorial (km²)
- ✓ Densidade populacional em 2011 (habitantes/km²)
- ✓ Taxa de inflação

- ✓ Número de alojamentos familiares clássicos de residência habitual em 2011 em edifícios com 1 ou 2 alojamentos residenciais
- ✓ Número médio de pessoas por alojamento em 2011

Os dados relativos à gestão atual de resíduos no município são os seguintes:

- ✓ Nome do SGRU associado ao município
- ✓ Valor pago ao SGRU pela entrega dos resíduos (€/t)
- ✓ Capitação (kg de resíduos/habitante/ano)
- ✓ Resíduos urbanos indiferenciados recolhidos (t/ano)
- ✓ Percentagem de resíduos urbanos depositada em aterro
- ✓ Custo médio com a recolha (€/t)
- ✓ Percentagem de biorresíduos nos resíduos urbanos

Na figura 15 é visível a predisposição destas duas categorias de dados na folha de Excel do relatório.

Compostagem doméstica - ferramenta de apoio à decisão

Ficha do Município de Aveiro

Caracterização do município			
(censos 2011)			
População	78 450	Nº de alojamentos familiares em edifícios de 1 ou 2 alojamentos residenciais	16 805
Área territorial (km ²)	197.58		
Densidade (hab/km ²)	397.05		
Taxa de inflação	2%	Habitantes por alojamento	2.50

Gestão atual de resíduos no município			
Nome do SGRU	ERSUC - Resíduos Sólidos do Centro, S.A.		
Valor pago ao SGRU pela entrega dos resíduos (€/t)	28.39 €	Percentagem de resíduos urbanos depositada em aterro	63%
Capitação (kg de resíduos /habitante/ano)	445.86	Custo médio com a recolha (€/t)	40.00 €
RU indiferenciados recolhidos (t/ano)	34 978	Percentagem de Biorresíduos nos Resíduos Urbanos	40%

Figura 15 - Secções do relatório relativas à caracterização e à gestão atual de resíduos no município

Os dados relativos ao potencial de compostagem doméstica para 2030 são os seguintes:

- ✓ Número potencial de alojamentos com compostagem doméstica
- ✓ Número estimado de alojamentos com compostagem doméstica
- ✓ Estimativa população aderente à compostagem
- ✓ Taxa de alojamentos com compostagem doméstica
- ✓ Quantidade de biorresíduos compostados por habitante (kg/ano)
- ✓ Quantidade de biorresíduos por compostor (kg/ano)
- ✓ Quantidade de biorresíduos compostados por ano (t)

O cálculo dos biorresíduos compostados por ano foi baseado no número de compostores em utilização no município (que resulta do somatório do nº de compostores em utilização no ano anterior e dos novos aderentes subtraindo as desistências) multiplicado pela quantidade de biorresíduos por compostor/ano.

Na secção relativa ao Plano de Investimento no período entre 2021 e 2030, são apresentados os seguintes dados e gráfico:

- ✓ (1) Investimento em compostores domésticos (1)
- ✓ (2) Gastos em formação e acompanhamento e sensibilização
- ✓ **(3) Custos de investimentos e exploração [(1)+(2)]**
- ✓ (4) Valor total da TGR
- ✓ (5) Valor da tarifa de encaminhamento de resíduos urbanos
- ✓ (6) Custos associados à recolha de resíduos urbanos
- ✓ **(7) Custos evitados [(4)+(5)+(6)]**
- ✓ **Balanço final [(7)-(3)]**

Na figura 16 é visível a predisposição destas duas categorias de dados na folha de Excel do relatório.

Potencial para Compostagem Doméstica para 2030

Potencial de alojamentos com compostagem doméstica	16 805	Biorresíduos compostados por habitante (kg/ano)	71
Nº estimado de alojamentos com compostagem doméstica	7 562	Biorresíduos por compostor (kg/ano)	178
Estimativa população aderente à compostagem	18 906	Biorresíduos compostados por ano (t)	1 288
Taxa de alojamentos com compostagem doméstica	24%		

Plano de Investimento no período 2021-2030

(1) Investimento em compostores domésticos	368 979.24 €
(2) Gastos em formação e acompanhamento e sensibilização	278 776.28 €
(3) Custos de investimentos e exploração [(1)+(2)]	647 755.52 €
(4) TGR	150 803.05 €
(5) Tarifa em alta	203 997.36 €
(6) Recolha	287 421.43 €
(7) Custos evitados [(4)+(5)+(6)]	642 221.83 €
Balanço final [(7)-(3)]	- 5 533.69 €

Figura 16 - Secções do relatório relativas ao potencial para compostagem doméstica em 2030 e ao plano de investimento entre 2021 e 2030

Retorno de investimento em Compostagem Doméstica (Plano de Investimento) – Trata-se do output mais importante e representa o objetivo final de todos os cálculos realizados sobre os dados recolhidos, visto que representa a viabilidade ou não de implementação de compostagem doméstica no município em questão num prazo de 10 anos. É demonstrado ao utilizador através de um gráfico de barras a comparação dos valores anuais de custos totais envolvidos com a compostagem doméstica com os custos evitados pela implementação da mesma. A estas barras sobrepõe-se uma linha que representa o valor do retorno de investimento que, nos anos em que tenha valores negativos, significa que o investimento ainda não teve retorno, aumentando ao longo do tempo à medida que os custos evitados aumentam. O objetivo final na perspetiva do utilizador será que essa linha passe a ter valores positivos, acima da origem do eixo das ordenadas, dentro desse intervalo de tempo de 10 anos, significando que o investimento realizado teve retorno. Ao mesmo tempo, os custos totais correspondentes à implementação de compostagem doméstica têm valores significativos no primeiro ano devido ao elevado número de compostores a adquirir, juntamente com as ações de formação e sensibilização para cada um. A partir do segundo ano até ao décimo os custos são significativamente menores visto que apenas é

preciso comprar e efetuar ações de formação para compostores a substituir ou adquirir para novos aderentes. Ao mesmo tempo, os custos evitados aumentam significativamente ao longo dos anos devido ao aumento de valor de retorno das tarifas relativas à quantidade de biorresíduos compostada, que por sua vez vai aumentando à medida que se adquirem mais compostores domésticos. Estes resultados permitirão ou não ao utilizador avançar com confiança para um investimento numa solução de compostagem doméstica no seu município. O exemplo de um gráfico relativo a esta análise é visível na figura 17.

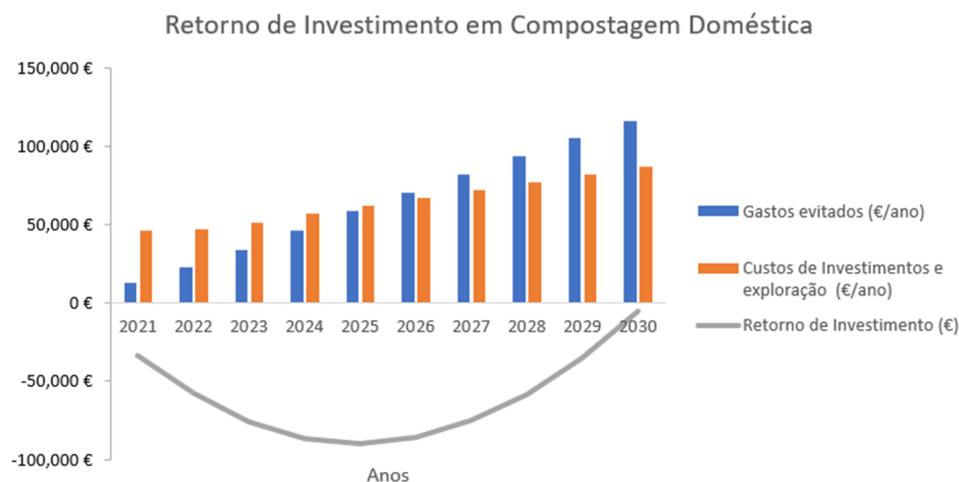


Figura 17 - Previsão do retorno de investimento entre 2021 e 2030 (o exemplo apresentado diz, na mesma, respeito ao município de Aveiro)

Na secção relativa às vantagens ambientais para o período entre 2021 e 2030, são apresentados os seguintes dados e gráficos:

- ✓ Emissões de CO₂ com a recolha indiferenciada de 1 tonelada de resíduos (kg)
- ✓ Emissões de CO₂ evitadas com a implementação de compostagem doméstica (kg)

Emissões de CO₂ evitadas com compostagem doméstica (Vantagens Ambientais) – Para além do retorno correspondente ao investimento realizado, também poderá ser importante ao utilizador se aperceber das vantagens ambientais inerentes à implementação de compostagem doméstica. Neste caso, estas vantagens são calculadas sob a forma de emissões de Dióxido de Carbono que ocorreriam caso a compostagem doméstica não fosse implementada e que, assim sendo, são evitadas. A principal fonte dessas emissões trata-se dos veículos de recolha de resíduos que operam nos métodos de recolha e tratamento de biorresíduos em vigor nos municípios. Havendo compostagem doméstica implementada,

esses veículos já não são necessários, visto que a compostagem dos biorresíduos é feita localmente em cada domicílio. O gráfico representa uma linha para os valores anuais das emissões evitadas, e outra para as emissões acumuladas ao longo desse mesmo intervalo temporal. É de salientar que não foram tidas em conta as possíveis emissões de Metano relativas ao processo da compostagem doméstica.

Quantidade de Biorresíduos Compostada (Vantagens Ambientais) – Iguamente na categoria das vantagens ambientais, também poderá ser pertinente apresentar ao utilizador os valores correspondentes à quantidade de biorresíduos que é compostada com os compostores domésticos que foi adquirida. Assim, será também possível ter uma ideia de que forma será possível utilizar o composto resultante da compostagem doméstica na agricultura, em que quantidades, ao longo do tempo, permitindo, assim, uma planificação precisa sobre a alocação dos recursos resultantes deste método de tratamento de biorresíduos.

Na figura 18 é visível a predisposição desta categoria de dados na folha de Excel do relatório.

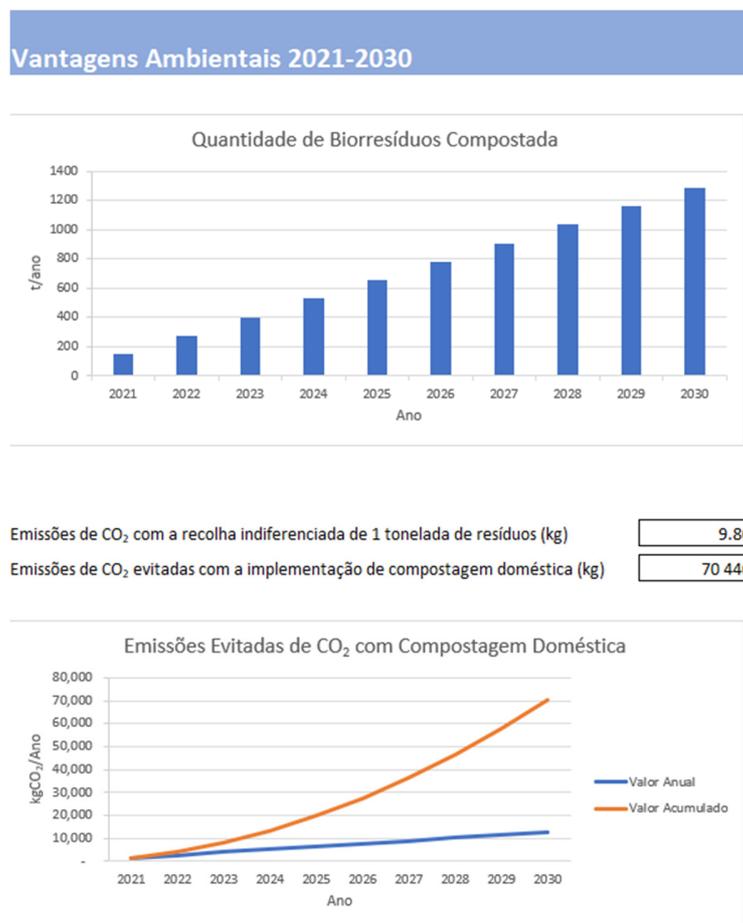


Figura 18 - Secção do relatório relativa à previsão para 10 anos das vantagens ambientais relativas à implementação de compostagem(o exemplo apresentado diz, na mesma, respeito ao município de Aveiro)

4.4 Análise de Sensibilidade

De modo a compreender quais as variáveis com maior impacto nos resultados do modelo, foi feita uma análise de sensibilidade fazendo variar os valores de entrada e calculando a variação dos valores de saída normalizados para 10% de variação à entrada.

A variável de entrada será sempre uma das variáveis cujo valor é inserido pelo utilizador, visto que são as únicas na base de dados cujo valor pode ser alterado. A variável de saída é o balanço financeiro em 2030.

Foram realizados dois tipos de análise de sensibilidade: um considerando que existe um financiamento (por exemplo por fundos europeus) para a aquisição dos compostores (seção 4.4.1). O segundo considerando que não existe qualquer financiamento à aquisição de compostores (seção 4.4.2).

Para efetuar esta análise foram definidos valores padrão das variáveis de entrada. O concelho foi escolhido aleatoriamente, tendo sido selecionado o de Aveiro. Para cada análise, os valores de variáveis relativas aos processos de gestão de resíduos municipais foram escolhidos sob o critério de serem valores, de modo geral, comuns neste âmbito. Por fim, valores relativos a previsões para o intervalo temporal de análise da ferramenta foram definidos de acordo com valores o mais aceitáveis e realizáveis possível.

4.4.1 Análise com Taxa de financiamento não nula

Inicialmente, foi feita uma análise com o valor da variável da Taxa de financiamento não nula, de forma a avaliar a sensibilidade de cada variável de entrada sendo que a maioria do preço do compostor em 2021 não fica a cargo do município. Estes valores são visíveis na tabela 4.

Tabela 4 - Valores base das variáveis de entrada com taxa de financiamento não nula (caso do município de Aveiro)

Variável de Entrada	Valor Base
Concelho	Aveiro
Taxa de Inflação	1%
Percentagem de adesão à compostagem doméstica dos residentes em edifícios com 1 ou 2 alojamentos no 1º ano	5%
Percentagem de adesão à compostagem doméstica dos residentes em edifícios com 1 ou 2 alojamentos no 10º ano	20%
Taxa de financiamento	80%
Percentagem de compostores a substituir por ano	5%
Custo com formação e acompanhamento e sensibilização para a compostagem doméstica no 1º ano	15€
Custo com formação e acompanhamento e sensibilização para a compostagem doméstica a partir do 2º ano	5€
Custo unitário por compostor em 2021	40€
Custo médio com a recolha de biorresíduos/indiferenciados	50€/t
Percentagem de biorresíduos nos resíduos urbanos	40%

Assim sendo, todos estes valores se manterão constantes ao longo da análise, exceto para a variável de entrada, que irá sofrendo alterações de modo a comparar cenários e averiguar a sensibilidade da mesma. O valor base do balanço final relativo a estes valores, e que será utilizado como termo constante de comparação, é de 186616,52€.

4.4.1.1 Apresentação de resultados

Segue a representação sob forma de tabela (tabela 5) e gráfico (figura 19) dos resultados dos cálculos da análise de sensibilidade com a Taxa de Financiamento não nula.

Tabela 5 - Resultados da análise de sensibilidade com taxa de financiamento não nula

Variável de Entrada	Alteração Percentual	Balço Final	Varição Percentual	Varição por cada 10%
Formação 2º ano €	80%	118,948.39	-36.26%	-4.53%
Formação 1º ano €	20%	176,533.52	-5.40%	-2.70%
Custo compostor 2021	100%	152,947.61	-18.04%	-1.80%
% a substituir	100%	179,845.69	-3.63%	-0.36%
Taxa de inflação	100%	186,602.41	-0.01%	0.00%
% adesão 1º ano	100%	233,294.03	25.01%	2.50%
Taxa de financiamento	-25%	152,947.61	-18.04%	7.22%
% adesão 10º ano	100%	326,555.54	74.99%	7.50%
Custo com recolha	100%	366,067.60	96.16%	9.62%
% de biorresíduos nos RU	100%	541,902.13	190.38%	19.04%



Figura 19 - Variação percentual do balanço final por cada 10% de variação de cada variável de entrada, com taxa de financiamento não nula

4.4.1.2 Análise de resultados

Após calculados e recolhidos os resultados relativos aos valores de sensibilidade de cada uma das variáveis de entrada, foi feita uma análise e reflexão para cada uma delas, individualmente:

Taxa de Inflação – A variável de entrada com a menor sensibilidade é a taxa de inflação, com uma variação negativo de 0,00075% do balanço final do período por cada 10% de variação sobre esta taxa. Estes valores podem ser explicados devido ao facto de a taxa de inflação ser um valor apenas utilizado para calcular aumentos marginais anuais no preço de cada compostor, ao longo dos 10 anos, tendo, assim, um fraco efeito no balanço final. O valor negativo do efeito sobre a variável de saída representa uma proporção inversa entre as variáveis, significando que um aumento na taxa de inflação representará sempre uma diminuição no valor do balanço final.

Percentagem de compostores a substituir por ano – Outra variável com baixa sensibilidade é a percentagem de compostores a substituir anualmente, com uma alteração negativa sobre o balanço final de 0,36% por cada 10% de alteração nesta percentagem. Estes valores podem ser explicados pelo facto de, com o financiamento base de 80%, o valor pago pelo município por cada compostor ser muito menor, fazendo com que seja muito menos dispendiosa a necessidade de adquirir novos compostores para substituir os perdidos/danificados. O valor negativo do efeito sobre o balanço final representa uma proporção inversa entre as variáveis, significando que um aumento na percentagem de compostores a substituir por ano representará sempre uma diminuição no valor do balanço final.

Custo unitário por compostor em 2021 – Esta variável de entrada é a primeira cuja variação de 10% implica uma alteração superior a 1% no valor do balanço final, neste caso um valor negativo de 1,8%. Apesar de ser um valor mais significativo que os mencionados anteriormente, não representa uma alteração significativa no balanço final, sendo assim a sua sensibilidade considerada como média. Isto deve-se, sobretudo, ao facto de o valor desta variável perder importância com elevados valores percentuais da taxa de financiamento. Quanto maior esta taxa, menor é o custo por compostor para o município, e, conseqüentemente, menor acaba por ser a sensibilidade da variável (neste caso, o valor assumido por defeito desta taxa é de 80%). O valor negativo do efeito sobre o balanço final representa uma proporção inversa entre as variáveis, significando que um aumento no custo unitário por compostor em 2021 representará sempre uma diminuição no valor do balanço final.

Percentagem de adesão à compostagem doméstica dos residentes em edifícios com 1 ou 2 alojamentos no 1º ano/10º ano – Para a variável relativa ao 1º ano, uma alteração de 10% no seu valor implica uma variação de 2,5% no balanço final do período, enquanto que para o 10º ano, uma alteração de 10% significa uma variação de 7,5% no balanço final. Isto deve-se ao facto de um valor sendo superior no 10º

ano, permite um maior crescimento no conjunto dos 10 anos, enquanto que para o 1º ano, a variável de entrada apenas altera o valor para o primeiro desses 10 anos, tendo, assim, menos sensibilidade e impacto sobre o balanço final do que a variável de entrada para o 10º ano, que influencia os valores dos restantes 9. Ambas as variáveis têm valores positivos para o efeito sobre o balanço final, o que representa uma proporção direta entre estas e a variável de saída. Isto significa que um aumento na percentagem de adesão à compostagem doméstica, tanto no 1º como no 10º ano, representará sempre um aumento no valor do balanço final.

Custo com formação e acompanhamento e sensibilização para a compostagem doméstica no 1º ano/a partir do 2º ano – Para a variável relativa ao 1º ano, uma alteração de 10% no seu valor implica uma variação negativa de 2,7% no balanço final do período, enquanto que para a variável relativa aos valores a partir do 2º ano, uma alteração de 10% no seu valor implica uma variação negativa de 4,5%. Isto deve-se ao facto de, enquanto que para o 1º ano, a variável de entrada apenas altera o valor para o primeiro desses 10 anos, tendo, assim, menos sensibilidade e impacto sobre o balanço final do que a variável de entrada para a partir do 2º ano, que influencia os valores dos restantes 9. Ambas as variáveis têm valores negativos para o efeito sobre o balanço final, o que representa uma proporção inversa entre estas e a variável de saída. Isto significa que um aumento no custo com formação e acompanhamento e sensibilização para a compostagem doméstica, tanto no 1º como a partir do 2º ano, representará sempre uma diminuição no valor do balanço final.

Taxa de financiamento – Para esta variável de entrada, uma variação de 10% implica uma alteração de 7,2% no valor do balanço final. Apesar de ser um valor ainda mais significativo do que os mencionados anteriormente, também não representa uma alteração significativa no balanço final, sendo assim a sua sensibilidade também considerada como média. Isto deve-se, sobretudo, ao facto de o valor desta variável ter apenas efeito direto sobre o valor total do preço unitário por compostor em 2021, apesar deste efeito poder ser muito significativo (até 100%). Este equilíbrio de influências faz com que a sua sensibilidade acabe por ser, na mesma, média. O valor positivo do efeito desta variável sobre o balanço final representa uma proporção direta entre as variáveis, significando que um aumento na taxa de financiamento representará sempre um aumento no valor do balanço final.

Custo médio com a recolha de biorresíduos/indiferenciados – É o primeiro valor que surge considerado como tendo sensibilidade alta, por se aproximar consideravelmente ou superar os 10% de variação no balanço final por cada 10% de alteração. Neste caso, a variação sobre a variável de saída nestas circunstâncias é de 9,6%, sendo já um valor considerável de efeito da variável de entrada sobre esta, que significa que o balanço final irá praticamente variar em igual medida com o custo médio com a recolha de biorresíduos/indiferenciados. Este valor deve-se sobretudo ao facto de o valor desta variável ser preponderante para determinar os custos que irão ser evitados para o município com a

implementação de compostagem doméstica, que por sua vez têm um grande peso no cálculo final do retorno de investimento e do balanço final. O valor positivo do efeito desta variável sobre o balanço final representa uma proporção direta entre as variáveis, significando que um aumento no custo médio com a recolha de biorresíduos/indiferenciados representará sempre um aumento no valor do balanço final.

Percentagem de biorresíduos nos resíduos urbanos – Por fim, a variável à qual o modelo é mais sensível e que tem, conseqüentemente, maior influência sobre o balanço final é a percentagem de biorresíduos nos resíduos urbanos. Um aumento de 10% do teor de biorresíduos nos resíduos urbanos provoca uma variação do balanço final de 19,0%. Sendo a quantidade de resíduos urbanos de determinado município sempre significativa (aproximadamente 46%, de acordo com as médias nacionais – referência), cada variação percentual (correspondente à ‘fatia’ de biorresíduos) sobre essa grande quantidade será também ela significativa, tendo um grande impacto sobre o universo sobre o qual a compostagem doméstica poderá trabalhar e retornar dividendos. Quantos mais biorresíduos existirem no município, maior será o impacto positivo da implementação de compostagem doméstica no mesmo e, conseqüentemente, maior o balanço final. Tal como é visível nos resultados nos quais, sendo positivo o valor do efeito desta variável sobre o balanço final, está representada uma proporção direta entre as variáveis, significando que um aumento na percentagem de biorresíduos nos resíduos urbanos representará sempre um aumento no valor do balanço final.

4.4.2 Análise com Taxa de Financiamento nula

De modo a analisar os valores de sensibilidade de cada variável de entrada sem a influência extrema de elevados valores da taxa de financiamento sobre um dos valores mais importantes para o cálculo final do balanço, o preço unitário por compostor em 2021, foi repetida esta análise, desta vez com valor 0% para essa taxa. Os valores base definidos para esta análise apresentam-se na tabela 6.

Assim sendo, todos estes valores se manterão constantes ao longo da análise, exceto para a variável de entrada, que irá sofrendo alterações de modo a comparar cenários e averiguar a sensibilidade da mesma. O valor base do balanço final relativo a estes valores, e que será utilizado como termo constante de comparação, é de 74 744,04€.

Tabela 6 - Valores base das variáveis de entrada com taxa de financiamento nula

Variável de Entrada	Valor Base
Concelho	Aveiro
Taxa de Inflação	2%
Percentagem de adesão à compostagem doméstica dos residentes em edifícios com 1 ou 2 alojamentos no 1º ano	5%
Percentagem de adesão à compostagem doméstica dos residentes em edifícios com 1 ou 2 alojamentos no 10º ano	45%
Percentagem de compostores a substituir por ano	5%
Custo com formação e acompanhamento e sensibilização para a compostagem doméstica no 1º ano	15€
Custo com formação e acompanhamento e sensibilização para a compostagem doméstica a partir do 2º ano	5€
Custo unitário por compostor em 2021	40€
Custo médio com a recolha de biorresíduos/indiferenciados	40€/t
Percentagem de biorresíduos nos resíduos urbanos	40%
Taxa de financiamento	0%

4.4.2.1 Apresentação de Resultados

Segue a representação sob forma de tabela (tabela 7) e gráfico (figura 19) dos resultados dos cálculos da análise de sensibilidade com a Taxa de Financiamento nula.

Tabela 7 - Resultados da análise de sensibilidade com taxa de financiamento nula

Variável de Entrada	Alteração Percentual	Balanço	Varição Percentual	Varição por cada 10%
Custo Compostor 2021	25%	-17,500.77	-123.41%	-49.37%
Formação 2º ano €	20%	41,675.53	-44.24%	-22.12%
Formação 1º ano €	20%	52,057.29	-30.35%	-15.18%
% Compostores a substituir	100%	8,523.82	-88.60%	-8.86%
Taxa de Inflação	-100%	74,920.20	0.24%	-0.02%
% adesão 10º ano	-33.33%	63,440.32	-15.12%	4.54%
% adesão 1º ano	100%	115,576.91	54.63%	5.46%
Custo com recolha	25%	155,581.31	108.15%	43.26%
% de biorresíduos nos RU	25%	255,368.93	241.66%	96.66%



Figura 20 - Variação percentual do balanço final por cada alteração de 10% sobre cada variável de entrada, com taxa de financiamento nula

4.4.2.2 Análise de Resultados

Taxa de Inflação - A variável de entrada com a menor sensibilidade é a taxa de inflação, com uma variação negativo de 0,02% do balanço final do período por cada 10% de variação sobre esta taxa. Apesar da alteração da taxa de financiamento, de 80% para 0%, o valor da sensibilidade relativa a esta variável de entrada mantém-se muito baixo, na mesma próximo de 0%. O valor negativo do efeito sobre a variável de saída representa uma proporção inversa entre as variáveis, significando que um aumento na taxa de inflação representará sempre uma diminuição no valor do balanço final.

Percentagem de adesão à compostagem doméstica dos residentes em edifícios com 1 ou 2 alojamentos no 1º ano/10º ano - Para a variável relativa ao 1º ano, uma alteração de 10% no seu valor implica uma variação de 5,46% no balanço final do período, enquanto que para o 10º ano, uma alteração de 10% significa uma variação de 4,54% no balanço final. A diferença destes valores em relação àqueles recolhidos com a taxa de financiamento não nula deve-se sobretudo ao facto de, nestas condições, o preço por compostor suportado pelo município ser significativamente superior, fazendo com que a adesão no primeiro ano (no qual a quantidade de compostores a adquirir é a maior) tenha um maior impacto, e a do 10º ano tenha um menor impacto (menos compostores a adquirir a partir do 2º ano). Ambas as variáveis têm valores positivos para o efeito sobre o balanço final, o que representa uma proporção direta entre estas e a variável de saída. Isto significa que um aumento na percentagem de adesão à compostagem doméstica, tanto no 1º como no 10º ano, representará sempre um aumento no valor do balanço final.

Percentagem de compostores a substituir por ano - Outra variável com relativa baixa sensibilidade é a percentagem de compostores a substituir anualmente, com uma alteração negativa sobre o balanço final de 8,86% por cada 10% de alteração nesta percentagem. Apesar disso, relativamente aos valores recolhidos com a taxa de financiamento não nula, verifica-se um aumento significativo da sensibilidade, visto que, com taxa de financiamento nula, o valor do preço por compostor suportado pelo município é superior, fazendo com que os custos para substituir compostores sejam superiores. O valor negativo do efeito sobre o balanço final representa uma proporção inversa entre as variáveis, significando que um aumento na percentagem de compostores a substituir por ano representará sempre uma diminuição no valor do balanço final.

Custo com formação e acompanhamento e sensibilização para a compostagem doméstica no 1º ano/a partir do 2º ano - Para a variável relativa ao 1º ano, uma alteração de 10% no seu valor implica uma variação negativa de 15,18% no balanço final do período, enquanto que para a variável relativa aos valores a partir do 2º ano, uma alteração de 10% no seu valor implica uma variação negativa de 22,2%. Tal como no caso em que a taxa de financiamento é não nula, a diferença entre estes dois é explicada, na mesma, pelo facto de, enquanto que para o 1º ano, a variável de entrada apenas altera o valor para o primeiro desses 10 anos, tendo, assim, menos sensibilidade e impacto sobre o balanço final do que a variável de entrada para a partir do 2º ano, que influencia os valores dos restantes 9. Ambas as variáveis têm valores negativos para o efeito sobre o balanço final, o que representa uma proporção inversa entre estas e a variável de saída. Isto significa que um aumento no custo com formação e acompanhamento e sensibilização para a compostagem doméstica, tanto no 1º como a partir do 2º ano, representará sempre uma diminuição no valor do balanço final.

Custo médio com a recolha de biorresíduos/indiferenciados – Esta variável de entrada apresenta valores consideráveis de variação sobre a variável de saída por cada alteração de 10%, neste caso, de 43,26%. Tal como no caso em que a taxa de financiamento é não nula, este valor elevado de sensibilidade deve-se sobretudo ao facto do valor desta variável ser preponderante para determinar os custos que irão ser evitados para o município com a implementação de compostagem doméstica, que por sua vez têm um grande peso no cálculo final do retorno de investimento e do balanço final. O valor positivo do efeito desta variável sobre o balanço final representa uma proporção direta entre as variáveis, significando que um aumento no custo médio com a recolha de biorresíduos/indiferenciados representará sempre um aumento no valor do balanço final.

Custo unitário por compostor em 2021 – Trata-se do valor mais alto de sensibilidade com efeito negativo sobre o balanço final do período. Como a taxa de financiamento, neste cenário, é nula (em vez de 80%), o valor do custo por compostor a ser suportado pelo município é significativamente superior, representando, assim, valores significativos de sensibilidade sobre a variável de saída. Mais concretamente, cada 10% de alteração nesta variável de entrada provoca uma variação negativa de

49,37% sobre a variável de saída. O valor negativo do efeito sobre o balanço final representa uma proporção inversa entre as variáveis, significando que um aumento no custo unitário por compostor em 2021 representará sempre uma diminuição no valor do balanço final.

Percentagem de biorresíduos nos resíduos urbanos – Por fim, tal como no contexto com taxa de financiamento não nula, e pelos mesmos motivos, a variável de entrada com maior sensibilidade neste cenário é a da percentagem de biorresíduos nos resíduos urbanos. No entanto, essa sensibilidade é ainda mais acentuada tendo uma taxa de financiamento nula. Com um maior custo por compostor, é muito importante, para o balanço final, que esse elevado custo seja correspondido por uma quantidade significativa de biorresíduos a serem potencialmente compostados no município. Essa importância é refletida nos valores elevados de variação sobre a variável de saída (96,66%) que uma alteração de 10% sobre a variável de entrada provoca. Tal como é visível nos resultados nos quais, sendo positivo o valor do efeito desta variável sobre o balanço final, está representada uma proporção direta entre as variáveis, significando que um aumento na percentagem de biorresíduos nos resíduos urbanos representará sempre um aumento no valor do balanço final.

4.5 Validação

No dia 8 de outubro de 2021, através de uma reunião Zoom, foi apresentado o estado final da ferramenta às entidades ZERO e ECOGESTUS, inicialmente interessadas no desenvolvimento da mesma, e responsáveis pela consequente divulgação e implementação da mesma no futuro. Ao longo da reunião, foi demonstrado o funcionamento da ferramenta tal e qual como se fosse um gestor autárquico a utilizá-la. Ao longo desse processo, foi recolhido feedback sobre as correções a fazer para aperfeiçoá-la. No final da reunião houve satisfação unânime entre todos representantes destas duas entidades sobre a pertinência, o detalhe e o funcionamento da ferramenta.

4.6 Limitações

Apesar de *user-friendly*, e com resultados consideravelmente consistentes, a ferramenta possui, naturalmente, as suas limitações. A começar pela falta de dados:

- ✓ Grupo 1 - Sem dados para a quantidade de Resíduos urbanos recolhidos indiferenciadamente:
 - São João da Pesqueira
- ✓ Grupo 2 - Sem dados para as Emissões de CO₂ das viaturas de recolha indiferenciada:
 - Albergaria-a-Velha

- Mértola
- Salvaterra de Magos
- Paços de Ferreira
- Silves
- Torres Novas
- ✓ Grupo 3 - Sem dados para ambas as variáveis:
 - Castro Marim

A falta de uma ou de ambas as variáveis acaba por condicionar consideravelmente a quantidade e qualidade da informação disponível a apresentar ao utilizador, por haver vários cálculos necessários à construção e apresentação do relatório que utilizam os valores destas variáveis. Nestas circunstâncias, recorrendo à função condicional IF do Microsoft Excel, são aplicadas, para cada uma destas variáveis, condições que verifiquem se os valores em questão estão em falta na respetiva base de dados ou na folha de cálculos. Em caso positivo, estas funções condicionais retornam na célula relativa aos dados em falta o texto “S /dados”, de forma que o utilizador compreenda a existência dessa falta de dados no relatório final (como se pode ver nas figuras 21 e 22). Para além disso, e também por via da função condicional IF (que verifica em cada uma das células relativas aos valores que podem estar em falta se têm a *string* “S/ dados”), caso existam dados em falta, surge no relatório, imediatamente antes dos gráficos, uma mensagem de texto a indicar que “Por falta de dados, os gráficos seguintes poderão estar incompletos” (como se pode ver nas figuras 23 e 24).

Valores em falta para o Grupo 1:

- ✓ Capitação
- ✓ RU indiferenciados recolhidos
- ✓ Quantidade de biorresíduos compostada por habitante
- ✓ Quantidade de biorresíduos por compostor
- ✓ Quantidade de biorresíduos compostada por ano
- ✓ TGR
- ✓ Tarifa em alta
- ✓ Recolha
- ✓ Emissões de CO₂ evitadas acumuladas associadas à recolha
- ✓ Emissões de CO₂ por tonelada de resíduos recolhida indiferenciadamente

Valores em falta para o Grupo 2:

- ✓ Emissões de CO₂ evitadas acumuladas associadas à recolha
- ✓ Emissões de CO₂ por tonelada de resíduos recolhida indiferenciadamente

Valores em falta para o Grupo 3:

- ✓ Capitação
- ✓ RU indiferenciados recolhidos
- ✓ Quantidade de biorresíduos compostada por habitante
- ✓ Quantidade de biorresíduos por compostor
- ✓ Quantidade de biorresíduos compostada por ano
- ✓ TGR
- ✓ Tarifa em alta
- ✓ Recolha
- ✓ Emissões de CO₂ evitadas acumuladas associadas à recolha
- ✓ Emissões de CO₂ por tonelada de resíduos recolhida indiferenciadamente

É visível nas seguintes figuras (21, 22, 23 e 24) a predisposição do relatório caso o município selecionado pelo utilizador pertença ao grupo 3, ou seja, o grupo com maior número de variáveis em falta.

Compostagem doméstica - ferramenta de apoio à decisão

Ficha do Município de Castro Marim

Caracterização do município

(censos 2011)

População	6 747	Nº de alojamentos familiares em edifícios de 1 ou 2 alojamentos residenciais	2 466
Área territorial (km ²)	300.84		
Densidade (hab/km ²)	22.43		
Taxa de inflação	2%	Habitantes por alojamento	2.40

Gestão atual de resíduos no município

Nome do SGRU	ALGAR - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S.A.		
Valor pago ao SGRU pela entrega dos resíduos (€/t)	30.75 €	Percentagem de resíduos urbanos depositada em aterro	85%
Capitação (kg de resíduos /habitante/ano)	S/ dados	Custo médio com a recolha (€/t)	40.00 €
RU indiferenciados recolhidos (t/ano)	S/Dados	Percentagem de Biorresíduos nos Resíduos Urbanos	40%

Figura 21 - Secções do relatório relativas à caracterização e à gestão atual de resíduos no município para um município do Grupo 3 (Castro Marim)

Potencial para Compostagem Doméstica para 2030			
Potencial de alojamentos com compostagem doméstica	2 466	Biorresíduos compostados por habitante (kg/ano)	S/ dados
Nº estimado de alojamentos com compostagem doméstica	1 110	Biorresíduos por compostor (kg/ano)	S/ dados
Estimativa população aderente à compostagem	2 663	Biorresíduos compostados por ano (t)	S/ dados
Taxa de alojamentos com compostagem doméstica	39%		

Plano de Investimento no período 2021-2030	
(1) Investimento em compostores domésticos	54 144.77 €
(2) Gastos em formação e acompanhamento e sensibilização	40 908.20 €
(3) Custos de investimentos e exploração [(1)+(2)]	95 052.97 €
(4) TGR	S/ dados
(5) Tarifa em alta	S/ dados
(6) Recolha	S/ dados
(7) Custos evitados [(4)+(5)+(6)]	S/ dados
Balanço final [(7)-(3)]	S/ dados

Figura 22 - Secções do relatório relativas ao potencial para compostagem doméstica em 2030 e ao plano de investimento entre 2021 e 2030 para um município do Grupo 3 (Castro Marim)

Por falta de dados, os gráficos seguintes poderão estar incompletos

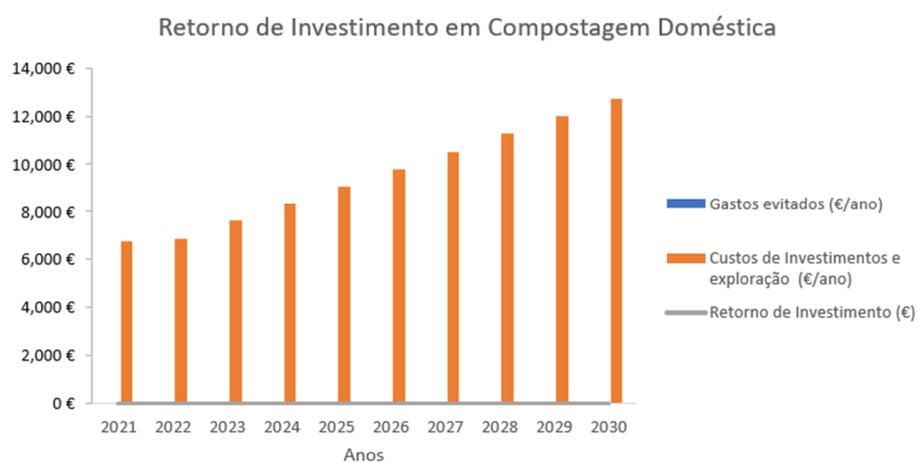
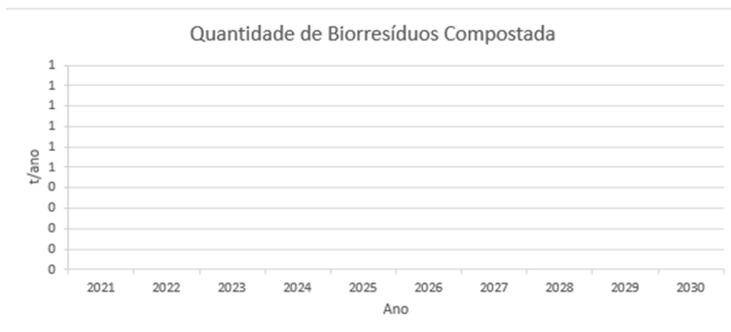


Figura 23 - Previsão do retorno de investimento entre 2021 e 2030 para um município do Grupo 3 (Castro Marim)

Vantagens Ambientais 2021-2030



Emissões de CO₂ com a recolha indiferenciada de 1 tonelada de resíduos (kg)

S/ dados

Emissões de CO₂ evitadas com a implementação de compostagem doméstica (kg)

S/ dados

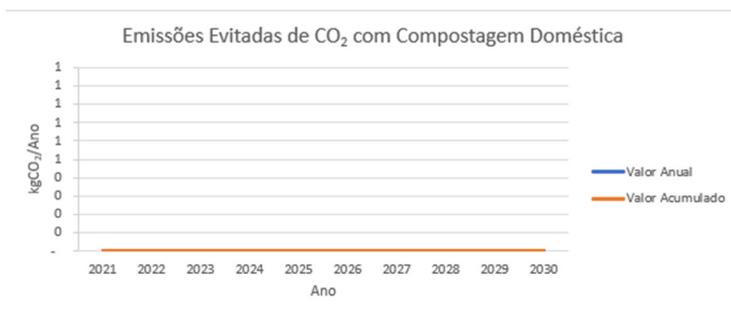


Figura 24 - Secção do relatório relativa à previsão para 10 anos das vantagens ambientais relativas à implementação de compostagem para um município do Grupo 3 (Castro Marim)

Além destas limitações, é de salientar também ao utilizador que os resultados da ferramenta poderão não ser totalmente fiáveis, não devendo, assim, ser feito investimentos de forma precipitada e cega com base nos mesmos. Para este projeto ainda não se encontravam disponíveis os dados relativos ao mais recente CENSOS de 2021, tendo, assim, sido necessário utilizar os dados correspondentes ao recenseamento de 2011. Assim sendo, os dados atuais correspondentes aos municípios poderão variar relativamente àqueles que são utilizados na ferramenta final. Ainda assim, a ferramenta contempla uma total flexibilidade para importação de dados para fins de atualização dos mesmos.

Devido a um exponencial aumento de complexidade da ferramenta caso fossem incluídas, não existem na ferramenta certas variáveis que poderiam ter influenciado os valores e conclusões finais retiradas pelo utilizador, como por exemplo, as emissões de metano relativas ao processo de compostagem em si (que ocorrem com a decomposição anaeróbia inerente ao processo de compostagem pouco arejado,

no qual se esgotou o oxigénio disponível), ou ainda as variações nos preços dos compostores em função da quantidade adquirida pelo município.

Não foram incluídos nos cálculos preditivos variáveis representantes do valor criado pelo composto para a agricultura. É sabido que da compostagem doméstica resulta um composto que pode ser utilizado em contexto agrícola como fertilizante [25]. Ou seja, para além das vantagens económicas associadas à compostagem doméstica abordadas neste trabalho, essas vantagens podem ser estendidas após o próprio processo de compostagem, na poupança relativa ao custo de fertilizantes cuja compra já não é necessária graças à incorporação deste composto. Claro que estes valores de poupança adicional iriam sempre variar muito de acordo com as características do município, podendo este ter mais ou menos terrenos agrícolas.

É de salientar ainda a impossibilidade de o utilizador alterar de alguma forma a predisposição do relatório e os gráficos apresentados no mesmo, e de poder apenas introduzir valores limitados para as variáveis da folha de introdução de dados (foi uma opção assumida limitar valores com as listas de *Dropdown*, mas aumentando a componente prática e acessível da ferramenta). Por fim, outra limitação a referir é a de apenas ser possível analisar dados com a granularidade de município, não sendo possível visualizar resultados sobre freguesias ou regiões mais gerais.

5 Conclusão

Esta dissertação de mestrado teve como objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à Sociedade Civil. De modo a permitir uma tomada de decisão mais informada aquando da implementação de compostagem doméstica a nível municipal, através de uma previsão num prazo de 10 anos do retorno do investimento realizado e do impacto ambiental correspondente à mesma, com a flexibilidade relativa à possibilidade do utilizador introduzir os valores relativos às condições de implementação que serão posteriormente utilizados nos cálculos.

De modo a poder concretizar este projeto, foram sendo atravessadas diversas fases de preparação. Inicialmente, foi realizada uma reunião com as associações interessadas no desenvolvimento da ferramenta de forma a definir os termos nos quais ela teria de ser desenvolvida.

De seguida, foram definidos os dados que seria necessário recolher, bem como as fontes dos mesmos. Após a recolha, tratamento e carregamento dos mesmos para a ferramenta, foram desenvolvidas as equações e cálculos necessários às análises finais.

Por fim, foram feitos ajustes estéticos e funcionais às folhas da ferramenta, de modo que a mesma fosse de compreensão mais fácil possível para o utilizador final.

Em futuros trabalhos do mesmo género que esta dissertação, seria sobretudo pertinente a possibilidade de desenvolvimento de uma ferramenta com possibilidade de análise ao nível das freguesias, com dados mais atuais do que aqueles que foram recolhidos para esta.

Também seria importante a inclusão na análise de outras variáveis e cálculos que não foram incluídos neste trabalho e que podem igualmente ser influenciadores dos resultados finais, tornando-os ainda mais consistentes e fiáveis, através da inclusão de, por exemplo, variáveis relativas a emissões de metano oriundas do processo de compostagem doméstica, oscilações de preços relativas a maiores quantidades de compostores adquiridos ou ainda custos evitados associados aos fertilizantes agrícolas.

A nível tecnológico, seria interessante a inclusão da possibilidade ao utilizador de transformar facilmente o relatório final ao seu gosto, podendo, em tempo real, alterar o tipo de gráfico, as variáveis utilizadas e os cálculos realizados, de forma a aumentar ainda mais a flexibilidade da solução.

Por fim, outra opção muito pertinente seria a adaptação da ferramenta para aplicá-la a casos de implementação de compostagem comunitária, além da compostagem doméstica. Tal seria possível com, na mesma, a maioria das variáveis selecionadas para esta ferramenta, adicionando apenas, por exemplo, as variáveis relativas aos alojamentos em edifícios com mais de 2 alojamentos, em vez de apenas edifícios com 1 ou 2 alojamentos como é caso da compostagem doméstica. Este modelo seria, eventualmente, mais aplicável às grandes áreas metropolitanas (Lisboa, Porto, Braga) nas quais a

maioria dos edifícios tem mais de 2 alojamentos, dificultando, aí, a implementação de compostagem doméstica, mas na qual a compostagem comunitária pode ser uma solução válida, tornando, assim, importante a existência de uma ferramenta deste tipo.

6 Referências

- [1] B. K. Adhikari, A. Trémier, J. Martinez e S. Barrington, "Home and community composting for on-site treatment of urban organic waste: perspective for Europe and Canada," *Waste Management & Research*, vol. 28 (11), pp. 1039-1053, 2010. DOI: 10.1177/0734242X10373801.
- [2] A. V. A. Sabino Charrua, "Recolha seletiva de biorresíduos – medidas para a sua implementação," 2018. Dissertação de Mestrado para a Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa.
- [3] Agência Portuguesa do Ambiente, "Estudo prévio sobre a implementação da recolha seletiva em Portugal Continental incidindo em especial sobre o fluxo de biorresíduos," EY, 2019.
- [4] Decreto de Lei 102 D/2020. Diário da República n.º 239/2020, 1º Suplemento, Série I), 10-12-2020, pp. 1-2, Regime Geral de Gestão de Resíduos.
- [5] Diretiva 2018/851 do Parlamento Europeu. Jornal Oficial da União Europeia, pp. 1-32.
- [6] Eurostat. Base de Dados de Resíduos Europeus. [Online]. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/data/database>. [Acedido em abril 2021].
- [7] C. Bruni e D. Caniani, "Decentralized Community Composting: Past, Present and Future Aspects of Italy," *Sustainability*, vol. 12, p. 3319, 2020. DOI: 10.3390/su12083319.
- [8] BIOFACTOR - Reciclagem e Inovação, "Compostagem Industrial - Unidades de Compostagem," [Online]. Disponível em: <https://biofactor.pt/compostagem-industrial/>. [Acedido em julho 2021].
- [9] SAPO MAGG, "Lidl lança compostor doméstico e só custa 24.99€," [Online]. Disponível em: <https://magg.sapo.pt/sustentabilidade/artigos/lidl-lanca-compostor-domestico-e-so-custa-24-99e>. [Acedido em julho 2021].
- [10] Junta de freguesia de São Domingos de Benfica, "São Domingos de Benfica já tem instalado o seu primeiro Compostor Comunitário," [Online]. Disponível em: <https://jf-sdomingosbenfica.pt/sao-domingos-de-benfica-ja-tem-instalado-o-seu-primeiro-compostor-comunitario/>. [Acedido em 27 novembro 2021].
- [11] J. Martínez-Blanco, J. Colón, X. Gabarell, X. Font, A. Sánchez, A. Artola e J. Rieradevall, "The use of life cycle assessment for the comparison of biowaste composting at home and full scale," *Waste Management*, vol. 30 (6), pp. 983-994, 2010. DOI: 10.1016/j.wasman.2010.02.023.

- [12] R. P. González-Sierra, J. S. Arizmendiarieta, B. P. Sánchez, I. I. Iriarte e G. N. Duarte, "Community Composting: A Practical Guide for Local Management of Biowaste," *Zero Waste Europe Guides*, vol. 01, 2019.
- [13] R. Barrena, X. Font, X. Gavarrell e A. Sánchez, "Home composting versus industrial composting: Influence of composting system on compost quality with focus on compost stability," *Waste Management*, vol. 34, pp. 1109-1116, 2014. DOI: 10.1016/j.wasman.2014.02.008.
- [14] T. D. Evans, "Domestic food waste – the carbon and financial costs of the options," *Proceedings of Institution of Civil Engineers, Municipal Engineer*, vol. 165, pp 3-10, 2010.
- [15] J. Andersen, A. Boldrin, Y. Christensen e C. Scheutz, "Home composting as an alternative treatment option for organic household waste in Denmark: An environmental assessment using life cycle assessment-modelling," *Waste Management*, vol. 32, pp. 31-40, 2011. DOI: 10.1016/j.wasman.2011.09.014.
- [16] V. Sousa, C. Dias-Ferreira, J. M. Vaz e I. Meireles, "Life-cycle cost as basis to optimize waste collection in space and time: A methodology for obtaining a detailed cost breakdown structure," *Waste Management & Research*, vol. 36 (9), pp. 788-799, 2018. DOI: 10.1177/0734242X18774618.
- [17] A. Gomes, M. Matos e I. Carvalho, "Separate collection of the biodegradable fraction of MSW: An economic assessment," *Waste Management*, vol. 28 (10), pp. 1711-1719, 2007. DOI: 10.1016/j.wasman.2007.08.017.
- [18] V. Sousa, C. Dias-Ferreira, A. Fernández-Braña e I. Meireles, "Benchmarking operational efficiency in waste collection: Discussion of current approaches and possible alternatives," *Waste Management & Research*, vol. 37 (8), pp. 803-814, 2019. DOI: 10.1177/0734242X19854119.
- [19] "Fundo Ambiental," "2.^a Fase do Programa de apoio à elaboração de estudos de sistemas de recolha de Biorresíduos", 2021. [Online]. Disponível em: <https://www.fundoambiental.pt/avisos-2021/residuos-e-economia-circular/2-fase-do-programa-de-apoio-a-elaboracao-de-estudos-de-sistemas-de-recolha-de-biorresiduos.aspx>. [Acedido em 27 outubro 2021].
- [20] A. Silveira, J. Pina e J. B. Ana, "Metodologia para o planeamento de sistemas de recolha de biorresíduos," 2020. Desenvolvida em parceria com a Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa, a MARE e o Fundo Ambiental.
- [21] Despacho nº 7202/2020 de 17 de julho, Diário da República n.º 136/2020, Série II, 15-07-2020, pp. 216 – 216.

- [22] Instituto Nacional de Estatística, “INE - População, Alojamentos,” 2011. [Online]. Disponível em: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0006272&selTab=tab0. [Acedido em abril 2021].
- [23] Instituto Nacional de Estatística, “INE - Superfície Territorial,” 2011. [Online]. Disponível em: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0007822&contexto=bd&selTab=tab2. [Acedido em abril 2021].
- [24] ERSAR, “Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal Volume 1,” 2020. [Online]. Disponível em: <http://www.ersar.pt/pt/site-publicacoes/Paginas/edicoes-anuais-do-RASARP.aspx>. [Acedido em abril 2021].
- [25] J. P. de Brito Ana, “Desenvolvimento de um modelo de recolha seletiva de biorresíduos,” 2018. Dissertação de Mestrado pela Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade Nova de Lisboa.
- [26] A. M. Gomes e A. I. Silveira, “Modelo de recolha seletiva de biorresíduos: utopia ou realidade?,” Atas do 16º ENASB - Encontro de Engenharia Sanitária e Ambiental, março 2014. [Online]. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/313655406>.