



# **A reciclagem dos resíduos orgânicos para o caminho da sustentabilidade**

**Jéssica Lana Menezes Silva**

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para  
obtenção do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental.*

**Orientado por**

**Professora Doutora Margarida Maria Pereira Arrobas Rodrigues**

**Bragança**

**2021**

## AGRADECIMENTOS

A concretização desta dissertação de mestrado não seria possível sem o precioso contributo e apoio de várias pessoas. Assim, contribuindo para mais uma etapa na minha formação académica.

Em primeiro lugar, gostaria de deixar meus sinceros sentimentos de gratidão a minha Professora Doutora Margarida Maria Pereira Arrobas Rodrigues, por toda a paciência, profissionalismo, empenho e carisma para orientar a minha dissertação. Muito obrigada pela sua disponibilidade e entrega, por ter me ensinado tantas coisas e por sua motivação para elaboração deste trabalho.

Desejo agradecer imensamente a minha família, em especial ao meu pai Orisvaldo Batista, a minha mãe Joselia Patrícia e a minha irmã Kallina Lorena, por acreditarem nos meus sonhos e caminharem ao meu lado durante toda a minha vida. Pela educação, ensinamentos e por serem minha maior fonte de inspiração. Pelo apoio durante essa jornada, por todo amor e carinho doado em toda a minha trajetória. Agradeço também ao meu cunhado Paulo Eduardo, pelo companherismo e por estar presente nos momentos mais especiais.

Em especial, ao meu companheiro e amado Nuno Pereira, sem ele nada disso seria possível. Agradeço por fazer parte do meu caminhar aqui em Portugal. Por acreditar no meu potencial e por ter me ajudado em todo esse processo, tanto com apoio sentimental, bem como, na disponibilidade e ajuda para o desenvolvimento deste trabalho. Ao meu sogro Joaquim José, por me receber de braços abertos na sua casa, e por disponibilizar a Quinta de Melila para a realização da compostagem. Aos meus cunhados, Damiana e Diogo pela partilha diária e por estarem presentes nesta importante fase.

Desejo igualmente agradecer a todos os meus amigos do Brasil e aos que fiz aqui. Pelos momentos compartilhados, pelas vivências de vida académica e pessoal. Pela aprendizagem, amizade, carinho e troca. Em especial a Agnes Dias, cujo apoio, amizade e parceria estiveram presentes em todos os momentos desde a nossa chegada em Portugal. Também a todos os meus colegas de Mestrado pela partilha e colaboração.

Expresso minha sincera gratidão a todos os professores que me lecionaram durante as minhas formações no IPB, em especial ao professor Manuel Feliciano pelo incentivo aos alunos e motivação proporcionado no curso.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Utilização do C/N durante a decomposição da matéria orgânica.....	13
Figura 2: Esquema ideal para a compostagem, com as frações orgânicas, água e circulação do ar.....	21
Figura 3: Perfil da temperatura em uma pilha aeróbia.....	22
Figura 4: Esquema dos processos de constituição, mineralização e humificação da MO.....	24
Figura 5: Etapas do processo de compostagem.....	27
Figura 6: Unidade de compostagem com três módulos de tela de madeira e ferragens.....	30
Figura 7: Unidade de três módulos de cimento.....	30
Figura 8: Caixa de compostagem com pallet de madeira.....	31
Figura 9: Caixa de compostagem com cerca de arame.....	31
Figura 10: Copo de compostagem tipo tambor.....	31
Figura 11: Área onde decorreu o processo de compostagem.....	34
Figura 12: Material seco e lenhoso utilizado no trabalho: a) Folhas secas b) Material seco lenhoso c) Relva seca d) Relva verde e) Restos de relva fresca f) Restos alimentares.....	36
Figura 13: (a) Material acondicionado: a) Material verde e seco b) Material lenhoso c) Restos alimentares.....	37
Figura 14: Equipamentos e máquinas disponíveis. a) Moto-roçadora b) Engaço c) Tesoura de poda (Grande) d) Serrote e) Foice f) Forquilha g) Sachola h) Pá i) Tesoura de poda j) Catana l) Motosserra m) Corta-Relva.....	37
Figura 15: Processo de trituração do material lenhoso: a) Máquina b) Processo de trituração c) Material final triturado.....	38
Figura 16: Equipamentos de proteção individual utilizados no processo.....	39
Figura 17: Desenho técnico do compostor.....	41
Figura 18: Compostor concluído: a) Estrutura interna da composteira; b) Estrutura modular utilizada no trabalho.....	42
Figura 19: Pesagem dos materiais utilizados: (a) Balança, (b) Pesagem dos materiais.....	43
Figura 20: Sequência de materiais verdes e castanhos nas pilhas 1 e 2.....	44
Figura 21: Montagem do módulo 1 com materiais verdes e castanhos. ....	44
Figura 22: Montagem do módulo 2.....	45
Figura 23: Esquema de medição da temperatura nas pilhas.....	47
Figura 24: Termômetro utilizado nas medições.....	48
Figura 25: Processo de reviramento do material nas pilhas.....	48
Figura 26: Avaliação do teor de humidade do composto usado o teste da esponja.....	49
Figura 27: Primeira amostra no laboratório.....	50
Figura 28: Evolução da temperatura média na pilha 1. A seta preta indica arejamento e as setas vermelhas indicam os reviramentos realizados durante o processo de compostagem.....	54
Figura 29: Comportamento da temperatura média na pilha 2 durante o processo de compostagem. A seta verde indica a introdução dos restos alimentares na pilha, a seta preta o arejamento e as setas vermelhas indicam os reviramentos realizados durante o processo.....	57
Figura 30: Perfil da temperatura na pilha 1.....	59
Figura 31: Perfil da temperatura na pilha 2.....	59
Figura 32: Material no início do processo de compostagem.....	60
Figura 33: Material na fase final do processo de compostagem.....	61

**LISTAS DE TABELAS**

Tabela 1: Produção de resíduos urbanos em Portugal em 2019.....	5
Tabela 2: Materiais a utilizar no processo de compostagem.....	12
Tabela 3: Classificação da compostagem.....	16
Tabela 4: Caracterização dos resíduos usados na compostagem .....	42
Tabela 5: Resíduos introduzidos nos módulos 1e 2.....	46
Tabela 6: Caracterização dos resíduos usados na compostagem (macronutrientes).....	53
Tabela 7: Caracterização dos resíduos usados na compostagem (micronutrientes).....	53
Tabela 8: Caracterização dos resíduos usados na compostagem (metais pesados) .....	53
Tabela 9: Resultado dos parâmetros de qualidade dos compostos nas pilhas 1 e 2 .....	61
Tabela 10: Comparação dos parâmetros do composto final com um composto semelhante no mercado.....	62
Tabela 11: Valores máximos admissíveis para os teores «totais» de metais pesados na matéria fertilizante com componentes orgânicos, por classe (miligramas por quilograma de matéria seca) .....	63

**LISTAS DE ABREVIATURAS**

RU	Resíduo Urbano
PERSU	Plano Estratégico Setorial dos Resíduos Sólidos Urbanos
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
UE	União Europeia
SGRU	Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos
PGGR	Regime Geral de Gestão de Resíduos
ENRUBA	Estratégia nacional para a redução dos resíduos urbanos biodegradáveis destinados aos aterros
TMB	Tratamento Mecânico e Biológico
RUB	Resíduos urbanos biodegradáveis

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
2.1	Geral.....	2
2.2	Específicos.....	2
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
3.1	Os resíduos em Portugal.....	4
3.1.1	Produção dos resíduos urbanos em Portugal.....	4
3.1.2	Gestão dos resíduos biodegradáveis em Portugal.....	6
3.1.3	Resíduos Sólidos Biodegradáveis.....	7
<b>3.2</b>	<b>COMPOSTAGEM.....</b>	<b>8</b>
3.2.1	Breve história da compostagem.....	8
3.2.2	Definição, objetivos e aplicações da compostagem.....	9
<b>3.3</b>	<b>RESÍDUOS ORGÂNICOS COMPOSTÁVEIS.....</b>	<b>10</b>
3.3.1	Caracterização dos materiais.....	11
3.3.2	Mistura de materiais.....	12
3.3.3	Necessidade de rega.....	13
3.3.4	Local e volume da pilha de compostagem.....	14
<b>3.4</b>	<b>O PROCESSO DA COMPOSTAGEM.....</b>	<b>15</b>
3.4.1	Fatores que afetam o processo de compostagem.....	17
3.4.2	Microrganismos.....	17
3.4.3	Aeração e oxigênio.....	18
3.4.4	Nutrientes.....	19
3.4.5	Teor de humidade.....	19
3.4.6	Tamanho das partículas.....	20
3.4.7	Temperatura.....	21
3.4.8	Mineralização e humificação.....	23
3.4.9	Azoto orgânico e mineral.....	24
3.4.10	Relação Carbono /Azoto (C/N).....	24
3.4.11	pH.....	25
3.4.12	Tempo.....	26
<b>3.5</b>	<b>FASES DA COMPOSTAGEM.....</b>	<b>26</b>
<b>3.6</b>	<b>COMPOSTO.....</b>	<b>27</b>
3.6.1	Qualidade do composto.....	28

<b>3.7</b>	<b>MODELOS DO COMPOSTOR.....</b>	<b>28</b>
<b>3.8</b>	<b>A INFLUÊNCIA DA MATÉRIA ORGÂNICA NO SOLO.....</b>	<b>32</b>
<b>3.9</b>	<b>ECONOMIA CIRCULAR E A RECICLAGEM DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS .</b>	<b>32</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>34</b>
4.1	Caracterização da área de estudo.....	34
4.2	Caracterização dos materiais.....	34
4.3	Acondicionamento dos materiais.....	36
4.4	Equipamentos e máquinas.....	37
4.5	Equipamentos de proteção individual – EPI.....	39
4.6	Construção do compostor.....	40
4.7	Realização do estudo.....	42
4.8	Pesagem dos materiais e enchimento da composteira.....	43
4.9	Monitorização do processo de compostagem.....	47
4.10	Coleta das amostras.....	49
4.11	Determinações.....	50
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>53</b>
5.1	Caracterização da matéria-prima depositados no início do estudo. (Resultados das análises realizadas em laboratório).....	53
5.2	Evolução da temperatura durante o processo de compostagem.....	54
5.3	Gradiente térmico nas pilhas.....	59
5.4	Redução da massa e do volume durante o processo.....	60
5.5	Composição do composto no final do processo.....	61
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>64</b>
<b>7</b>	<b>PROPOSTAS / OPORTUNIDADE DE TRABALHO FUTURO .....</b>	<b>65</b>
7.1	Compostagem como ferramenta para a educação ambiental.....	65
<b>8</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>66</b>

## RESUMO

A sustentabilidade ambiental é um dos desafios principais do século XXI. Tratando-se dos resíduos orgânicos, o método da compostagem tem vindo a motivar cada vez mais cidadãos a mudar comportamentos e a contribuir na redução da pegada ecológica.

A compostagem doméstica além de ser uma alternativa ecologicamente sustentável, contribui em aspectos económicos. Bem como, a redução do volume de resíduos orgânicos biodegradáveis que seriam destinados aos aterros. O composto resultante deste processo contribui para a redução do recurso a fertilizantes sintéticos, e, simultaneamente, produz um material rico em nutrientes, que pode ser utilizado no cultivo de plantas, tornando mais sustentável a produção das culturas. Sendo o destino mais indicado para os resíduos orgânicos resultantes de hortas, jardins, quintal, áreas verdes e para os restos alimentares da cozinha.

Sendo assim, o foco do presente trabalho, aplica-se ao processo de compostagem doméstica dos resíduos orgânicos, de modo, a fomentar os benefícios agronómicos dos materiais compostados e diminuir os impactos ambientais associados, principalmente aqueles que estão relacionados a poluição dos solos, da água e do ar. A fim, de estimular o processo de compostagem como uma alternativa correta para destinar os resíduos orgânicos biodegradáveis, com o objetivo de conservar os nutrientes dos materiais a serem compostados e contribuir para a valorização de resíduos que têm um potencial elevado de utilização, principalmente na melhoria de características físicas e químicas do solo e na disponibilização de nutrientes para a produção de alimentos.

**Palavras chaves:** *Sustentabilidade, resíduos orgânicos biodegradáveis, nutrientes, compostagem.*

## **ABSTRACT**

Environmental sustainability is one of the main challenges of the 21st century. In the case of organic waste, the composting method has been motivating more and more citizens to change their behavior and contribute to reducing the ecological footprint.

Domestic composting, in addition to being an ecologically sustainable alternative, it contributes in economic aspects. As well as reducing the volume of biodegradable organic waste that would be sent to landfills. The compost results from this process contributes to reducing the use of synthetic fertilizers, and, at the same time, produces a material rich in nutrients, which can be used in plant cultivation, making crop production more sustainable. It is the most suitable destination for organic waste resulting from vegetable gardens, gardens, backyards, green areas and food waste from the kitchen.

Therefore, the focus of this work is applied to the domestic composting process of organic waste, in order to promote the agronomic benefits of composted materials and reduce the associated environmental impacts, especially those related to soil pollution, water and air. In order to encourage the composting process as a correct alternative to dispose of biodegradable organic waste, with the goal to conserve the nutrients in the materials to be composted and contribute to the recovery of waste that has a high potential for use, especially in improvement physical and chemical characteristics of the soil and the availability of nutrients for food production.

**Key words:** Sustainability, biodegradable organic waste, nutrients, compost.

## 1. INTRODUÇÃO

Em tempos mais antigos o Homem cumpria com as leis da natureza, não se verificando interferência significativa nos ecossistemas, sendo os resíduos produzidos nessa época, principalmente, biomassa morta. Entretanto, com a evolução das sociedades, houve uma transição do nomadismo para o sedentarismo, surgindo problemas relacionados com a gestão dos resíduos.

A produção dos resíduos é resultado do uso de recursos nas atividades socioeconômicas, que representam o nosso dia a dia. Esses resíduos são originados nas diversas fases dos processos, que envolvem desde a sua extração do meio ambiente até ao momento em não tem mais utilidade ao consumidor. Os resíduos urbanos possuem diversas características, que podem ser relacionadas com a sua origem, a composição e o volume produzido. Nos grandes aglomerados populacionais os resíduos são produzidos em quantidades elevadas e por produtores distintos, o que ocasiona algumas dificuldades à sua gestão.

A atividade humana produz grandes quantidades de resíduos orgânicos. Quando são destinados a aterros sanitários, geram impactos ambientais negativos, relacionados à biodegradação da matéria orgânica aterrada e a consequente geração de gases e lixiviados. Sendo assim, deve-se buscar soluções para o tratamento adequado dos resíduos orgânicos, minimizando a quantidade destes resíduos que são destinados de maneira incorreta.

Os resíduos orgânicos, com origem nos resíduos sólidos urbanos e domiciliares, mas também nas atividades agrícolas podem ser reutilizados através do processo de compostagem, na qual a sua reciclagem visa economizar energia e matérias-primas, garantindo melhores condições de vida. Quando devidamente tratados, os resíduos orgânicos podem contribuir para a produção e manutenção de recursos naturais, como sejam novas plantas que podem ter diversas utilizações, e ainda, constituírem fonte de alimento para o Homem e para os animais.

De maneira a reduzir os resíduos orgânicos no sistema público de coleta, pode-se realizar a compostagem no próprio domicílio. Segundo Furedy (2001), a compostagem pode ser realizada em uma menor escala utilizando os resíduos orgânicos gerados nestes locais. Um dos impactos positivos da compostagem em pequena escala, é que está menos sujeito a contaminações derivadas de outros materiais, pois os resíduos utilizados no processo, são em grande parte gerados no próprio local e onde serão incorporados posteriormente (Brito, 2008).

De acordo com Salvaro et al. (2007), a compostagem é o processo que melhor valoriza os resíduos orgânicos, sendo possível produzir um material rico em nutrientes, que posteriormente pode ser utilizado no cultivo de plantas. Este processo contribui para as metas

que visam diminuir a deposição de resíduos em aterro, aumentando a vida útil dos materiais e, por consequência, contribuem também para o aumento da vida útil dos aterros sanitários. Assim, o conhecimento das fases do processo de compostagem de resíduos orgânicos constitui uma ferramenta que contribui para a valorização de resíduos que têm um potencial de utilização elevado, nomeadamente na melhoria de características físicas e químicas do solo e na disponibilização de nutrientes para a produção de alimentos.

O composto resultante deste processo contribui para a redução do recurso a fertilizantes de origem industrial e, simultaneamente, para a redução dos custos com fatores de produção tornando mais sustentável a produção das culturas. Esta é a motivação deste trabalho que tem como objetivos os descritos em seguida.

Sendo assim, o foco do presente trabalho está centrado no processo de compostagem de resíduos biodegradáveis, de modo a potencializar os benefícios agronômicos dos materiais compostados e diminuir os impactos ambientais, principalmente aqueles que se referem a poluição dos solos, da água e do ar e a transmissão de doenças. Dá-se também ênfase ao processo de compostagem como uma alternativa para destinar os resíduos biodegradáveis de forma correta, a fim de conservar os nutrientes dos materiais a serem compostados, que posteriormente poderão ser utilizados como corretivo orgânicos, e aumentar a disponibilidade de nutrientes para as culturas agrícolas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

O objetivo geral deste trabalho é contribuir para a construção de um modelo de valorização de resíduos orgânicos, de diferentes características de uma exploração agrícola. Resultando-se em um composto orgânico através do processo de compostagem, para posterior utilização agronômica.

### **2.2 Específicos**

- Caracterizar e quantificar os resíduos orgânicos de uma exploração agrícola;
- Realizar a construção da composteira;
- Montar a pilha de compostagem para produzir o composto orgânico;

- Monitorar parâmetros físico-químicos do processo de compostagem;
- Avaliar a qualidade final do composto produzido.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 Os resíduos em Portugal**

##### **3.1.1 Produção dos resíduos urbanos em Portugal**

O crescimento da produção de resíduos sólidos na sociedade moderna tem acontecido a um ritmo elevado. Só por si, a natureza não consegue processá-los, o que torna o descarte e o tratamento dos resíduos em um problema ambiental (Horta, 2014).

A gestão dos resíduos sólidos urbanos em Portugal até 1996 era efetuada pelas prefeituras e incluía somente as etapas de coleta e disposição, sem nenhuma triagem na fonte. Os resíduos produzidos eram encaminhados para as lixeira, e posteriormente depositados em solos desprotegidos, onde seriam queimados, sem nenhuma monitorização ambiental e de saúde pública. Se tratando dos resíduos industriais, hospitalares e urbanos, eles eram depositados em um mesmo local, sem uma separação correta (Trotta, 2011).

Conforme o autor, a partir de 1996, a gestão de resíduos sólidos urbanos sofreu uma alteração, através da aprovação do Plano Estratégico Setorial dos Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU). Entre os anos de 1997-2006 foi implementado o primeiro instrumento de planeamento no âmbito dos resíduos sólidos urbanos que tinha como objetivo três prioridades importantes: o encerramento de todos os locais de deposição ilegal e a recuperação ambiental dos lixões; a criação; e construção de infraestruturas para o tratamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) com apoio para o desenvolvimento da coleta seletiva e reciclagem.

No período de 2007 a 2016, surge o Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos – PERSU II, com o objetivo de cumprir as metas europeias de reciclagem e valorização dos resíduos. O PERSU II define algumas metas, como a prevenção e redução na produção de resíduos, sensibilização da população para um consumo consciente e para as práticas relacionadas a reciclagem, melhorias nos planos de gestão de resíduos, qualificação e otimização da intervenção das entidades públicas nas questões da gestão de RSU.

Atualmente a gestão de resíduos em Portugal continental é feita majoritariamente a partir do Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos, PERSU 2020, onde é avaliado o volume de resíduos que passou por um determinado processo, visando a sua recuperação e as soluções que envolvem as medidas de recolha seletiva, os ecocentros e ecopontos e a valorização dos resíduos através da reciclagem.

A recolha seletiva dos resíduos urbanos biodegradáveis (RUB) propõe a valorização orgânica através do processo da compostagem ou digestão anaeróbia.

De acordo com o Relatório Anual de Resíduos Urbanos (RARU) publicado pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA), em 2019 foram produzidos em Portugal continental mais de 5 milhões de toneladas de resíduos (APA, 2019). Cerca de 40% desta quantidade são biorresíduos e destes apenas 2% sofreu valorização orgânica. Há um caminho ainda longo a percorrer no sentido de se proceder à valorização destes resíduos e caminhar no sentido da diminuição da deposição em aterro. De referir que as metas nacionais para o ano de 2020 eram de deposição em aterro de 35% de RSU da quantidade depositada em 1995, mas os valores situam-se em 45% da quantidade depositada em 1995 (Secretaria de Estado do Ambiente, 2020). Dada a relevância dos biorresíduos na quantidade total de resíduos produzidos, todas as estratégias que contribuam para a valorização desta tipologia de resíduos contribuirão de forma significativa para a diminuição da quantidade de resíduos no aterro, para além das estratégias que devem ser implementadas no sentido da diminuição da quantidade de resíduos produzida *per capita*.

Em Portugal em 2019 foram produzidos 5,281 milhões de toneladas de RU, com um aumento de 1% em relação ao ano de 2018. Percebe-se assim um crescimento na produção contrariando a tendência de descida que se deveria verificar (Tabela 1).

Atualmente a produção média de resíduos por habitante em Portugal situa-se nos 511 kg por ano, valor superior à média europeia que é de 489 kg por habitante em cada ano (APA, 2019), uma tendência que é urgente inverter.

**Tabela 1:** Produção de resíduos urbanos em Portugal em 2019.

<b>Região/Ano</b>	<b>2015</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>
<b>Portugal Continental</b>	4 523	4 640	4 745	4 945	5 007
<b>Região Autónoma da Madeira</b>	110	119	124	126	129
<b>Região Autónoma dos Açores</b>	132	132	137	142	146
<b>TOTAL</b>	4 765	4 891	5 006	5 213	5 281
<b>Variação face ao ano anterior</b>	↑ 1%	↑ 3%	↑ 2%	↑ 4%	↑ 1%

Fonte: Adaptado de APA, 2019.

### 3.1.2 Gestão dos resíduos biodegradáveis em Portugal

Segundo o Relatório Anual de Resíduos Urbanos em 2018, a gestão dos resíduos biodegradáveis é extrema importância, quando se trata da política europeia de resíduos. O Decreto-Lei n.º 152/2002, que transpõe a Diretiva 1999/31/CE do Conselho Europeu referente à deposição em aterro, já visava estratégias para a diminuição dos resíduos urbanos biodegradáveis (biorresíduos, resíduos verdes de jardim e o papel cartão).

A economia circular propõe vários objetivos de prevenção de resíduos, valorização dos materiais e tratamento final descritas em novas orientações em três Diretivas essenciais: a Diretiva Resíduos, a Diretiva Embalagens e a Diretiva Aterros, transpostas para a legislação nacional no Decreto-Lei n.º 102-D/2020 de 10 de dezembro.

As alterações introduzem a necessidade de implementação de redes de recolha seletiva de biorresíduos, ou à separação e reciclagem dos biorresíduos na sua origem, prevendo que os produtores de produtos abrangidos sejam responsáveis pela gestão da fase de resíduo dos seus produtos. Estabelece-se ainda uma meta de redução dos resíduos enviados para os aterros. Os estados-membros devem garantir que, a partir de 2030, os resíduos que podem ser reciclados ou valorizados, não sejam aceitos nos aterros.

Ainda foram definidas novas metas em relação a preparação para a reutilização e reciclagem para 2025 (55%), 2030 (60%) e 2035 (65%). Foi ainda introduzida uma alteração, relativa ao cálculo das taxas de reciclagem e da meta para a destinação em aterro (10%), apenas para os materiais que não podem ser valorizados, visando garantir as soluções definidas pela “hierarquia de gestão de resíduos” para a gestão dos resíduos urbanos.

Os biorresíduos fazem parte do cotidiano do Homem, desde o momento da preparação dos alimentos para uma refeição até o momento em que se descartam os restos de comida. As maneiras de gestão desses resíduos podem resultar em consequências negativas relacionadas ao seu processo de degradação, por exemplo, quando misturados com outros materiais, como as embalagens, papel e cartão, causando mau-cheiro, dificultando a sua separação nas linhas de triagem e principalmente resultam no desperdício de um importante recurso que, quando valorizado corretamente através do processo da compostagem, pode vir a ser utilizado em solos agrícolas e florestas.

De acordo com Slorach et al. (2019), estudos atuais demonstram que a gestão de resíduos orgânicos domésticos recolhidos de forma separada e que passam por um tratamento de digestão anaeróbia, possuem um melhor desempenho ambiental, quando comparado com a

incineração ou o aterro. Desta forma, quando os biorresíduos passam por uma recolha seletiva e são corretamente destinados para o tratamento e valorização, podem ser aproveitados em sua totalidade, gerando impactos positivos em relação aos aspetos económicos e ambientais, justificando-se desta forma as alterações introduzidas na legislação no que respeita a este tipo de resíduos em particular. A separação dos biorresíduos na origem pode ter consequências como se descrevem em seguida (Secretária de Estado do Ambiente, 2020):

- Ao separar os biorresíduos do lixo comum, diminui-se a formação de gases de efeito estufa nos aterros e canaliza-se o material gasoso para sistemas independentes e fechados.
- Vários subprodutos podem ser retirados a partir dessa separação como o composto orgânico e o biogás, que posteriormente pode substituir o gás natural, ser utilizado como combustível para os automóveis e para a produção de energia.

### **3.1.3 Resíduos Sólidos Biodegradáveis**

Os resíduos biodegradáveis são aqueles que possuem uma capacidade de se decompor de maneira natural, pela ação de micro-organismos como os fungos, as bactérias entre outros organismos, sob condições adequadas de temperatura, humidade, luz, oxigénio e nutrientes. Isso ocorre pela facilidade da sua reciclagem e por serem materiais renováveis, minimizando impactos ambientais.

Uma das definições mais claras entre diferenças de biodegradabilidade ou não de um material é que os materiais biológicos se decompõem de forma natural e o produto resultante beneficia a natureza. Em contra partida, os materiais não biodegradáveis, quase nunca fornecem um benefício ao meio e ambiente e necessitam de atenção em relação ao seu tratamento.

Em relação aos resíduos biodegradáveis, eles são provenientes de múltiplas origens. Podem destacar-se as atividades da agricultura, florestais e industriais e as atividades domésticas. Esses materiais se encontram na forma sólida ou líquida e se decompõem de maneira natural. Entretanto, são necessários tratamentos, como a compostagem, para acelerar o processo. O composto gerado pode ser utilizado como um corretivo no solo, disponibilizando um teor de carbono que ajuda a manter a fertilidade para sistemas agrícolas (Tera-ambiental, 2016).

## 3.2 COMPOSTAGEM

### 3.2.1 Breve história da compostagem

A compostagem é um processo antigo utilizado pelos agricultores para obtenção de fertilizante orgânico. A definição desse processo passou por diversas modificações até se alcançar o conceito que melhor o caracteriza, a partir do pensamento de vários autores e os respectivos estudos sobre o processo de compostagem.

Segundo Brito (2007), existem várias referências bíblicas e registros na China, há mais de 2000 anos, sobre operações de compostagem em pilhas, com o objetivo de produção de um produto para correção do solo. Howard (1943) referenciado por Epstein (2017), menciona que na China, Índia, Japão e América do Sul as primeiras civilizações praticavam uma agricultura intensiva e que utilizavam os resíduos agrícolas, humanos e de animais como fertilizantes.

Esses resíduos eram colocados em poços ou em montes por longos períodos de tempo a apodrecer, a fim de uma produção de uma emenda para o solo. De acordo com Cordeiro (2010), na América em 1843, foi registada uma patente que mencionava a decomposição de resíduos.

O famoso autor do método de compostagem, desenvolvido no século XX na Índia, Albert Howard, citado por Brito (2007), tentou, sem bons resultados, desenvolver a compostagem com apenas um tipo de resíduo, como os restos da cultura do algodão, da cana do açúcar, esterco animal, etc, mas depressa percebeu que para uma boa eficiência no processo, deveria misturar os resíduos.

Em 1920 foram iniciadas as primeiras tentativas de aplicação no processo de compostagem. Albert Howard, o fitopatologista inglês, progrediu o processo tradicional para um método de compostagem chamado Processo Indore. O método era conhecido com esse nome devido a localidade em que foi praticado pela primeira vez, gerando um avanço na prática da compostagem moderna. Inicialmente, o processo utilizava apenas o esterco de animal, e mais tarde, os resíduos vegetais, como a palha e folhas, nos quais eram estruturados em camadas alternadas de materiais biodegradáveis, em solo aberto, a fim de atingir o aumento da temperatura (Diaz & Bertoldi, 2007).

Segundo o autor, os materiais eram empilhados em uma altura de cerca de 1,5 m ou colocados em poços de 0,6 a 0,9 m de profundidade. A princípio, o processo de compostagem durou cerca de 6 meses, no qual o material foi revirado apenas duas vezes. O método sofreu algumas modificações posteriormente, a fim de acelerar o processo, realizando ciclos menores

de reviramento para manter as condições aeróbicas e a adição de água mais frequente, com o objetivo de fornecer a quantidade de ar e a humidade necessárias, alcançando assim uma degradação mais acelerada e encurtando o período no processo.

Os processos modernos de compostagem aeróbica foram desenvolvidos, a partir de 1920, principalmente na Europa. Muitas pesquisas concentraram-se nos sistemas fechados de compostagem, com o objetivo de proporcionar um controle mais cuidadoso e a otimização na produção do composto.

Pesquisadores como o Waksman realizaram importantes descobertas, entre 1926 e 1940, relacionadas aos parâmetros que influenciam o processo da compostagem, como: a temperatura, os diversos tipos de resíduos utilizados durante o processo, a destruição de microrganismos patogênicos, o controle de moscas e a utilidade da aplicação de composto nos solos (Cordeiro, 2010).

A eficiência da compostagem foi também relacionada com a relação C/N e o arejamento da massa. Ainda, segundo Cordeiro (2010), muitos investigadores voltaram aos seus estudos para atingir um controle mais eficiente desse processo, visando um método mais rápido e com um produto final adequado. Sendo assim, até finais de 1960 a compostagem foi vista como um processo interessante para estabilização da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos. Além disso, foi considerado o interesse lucrativo, em relação à venda do produto final, com função de uso no solo.

Entretanto, houve um desinteresse pela compostagem nos países desenvolvidos, entre as décadas de 1970 e 1980 sobretudo relacionado com a qualidade dos resíduos e o tempo necessário para finalização do processo. O processo manteve-se então somente nos meios rurais e na população mais velha. Porém, devido à preocupação com o crescente volume de resíduos, essa prática ressurge atualmente com interesse acrescido (Cordeiro, 2010).

### **3.2.2 Definição, objetivos e aplicações da compostagem**

A compostagem é um processo de oxidação biológica e de estabilização da matéria orgânica (MO) com a intervenção de microrganismos (fungos, bactérias e actinomicetes). Os materiais orgânicos biodegradáveis passam por uma decomposição, em condições de temperaturas mais elevadas que a temperatura ambiente, resultante da atividade microbiana que liberta calor (fase termófila). No processo liberta-se dióxido de carbono e vapor de água, e termina com a formação de um produto estabilizado .

Este material final deve estar homogêneo, estabilizado, higienizado e não pode conter substâncias fitotóxicas ou moléculas orgânicas que são prejudiciais para a qualidade do solo. Obtendo as características necessárias, o material compostado pode ser armazenada e utilizado a fins de corretivos orgânicos do solo e como substratos agrícolas, com benefícios a respeito ambiental e agrônômico (Brito, 2017).

Como os principais objetivos da compostagem, podem citar-se os seguintes:

- Transformação dos resíduos biodegradáveis em materiais biologicamente estáveis;
- Redução da massa, do volume e do teor de humidade dos resíduos tratados;
- Destruição dos organismos indesejáveis, como as sementes de plantas daninhas e os patogénicos;
- Produção de um composto rico em nutrientes e com interesse agrícola. Que posteriormente poderá ser usado para o desenvolvimento de plantas e como corretor do solo, contribuindo para a redução da utilização de fertilizantes químicos;
- Transformação dos resíduos orgânicos em um recurso valioso.

(Cunha Queda, 1999).

### **3.3 RESÍDUOS ORGÂNICOS COMPOSTÁVEIS**

Para o método da compostagem, a composição bioquímica dos diversos materiais incorporados na mistura inicial é de grande relevância, visto que indica a sua sensibilidade à decomposição microbiana. Materiais que contém hidratos de carbono, proteínas e lípidos, consistem em uma fonte de carbono ideal, e energia para os microrganismos. Materiais que possuam uma fração de celulose e lenhina elevada e pouca disponibilidade em compostos azotados serão degradados mais devagar (Batista & Batista, 2007).

Os resíduos necessários para a compostagem, são os resíduos orgânicos biodegradáveis como, os restos de jardim, alimentares ou da horta. Os materiais orgânicos são resultado de uma mistura de carbono (C) e azoto (N), conhecida como a relação C:N. Conforme esta relação, os resíduos utilizados na compostagem, são classificados em “Verdes”, os materiais que possuem azoto (N), e “Castanhos”, os materiais que possuem carbono (C). Considera-se os materiais ricos em carbono como materiais secos e lenhosos, como, a casca de árvores, as aparas de madeira, as podas resultantes dos espaços verdes, folhas secas, feno, palha, papel, etc. E os materiais ricos em azoto incluem-se as folhas verdes, estrumes animais, restos de vegetais, solo, erva verde e fresca, hortícolas, etc (Guia de compostagem, Resíduos do Nordeste, 2020). Vale

ressaltar, que grande parte destes materiais, estavam disponíveis na área em estudo, sendo utilizado no presente trabalho.

### **3.3.1 Caracterização dos materiais**

Segundo Brito (2017), os materiais utilizados para a compostagem podem ser originados dos resíduos de produção agrícolas, estrumes, efluentes da pecuária, matos, resíduos verdes de jardim, resíduos florestais, da produção de cogumelos, de supermercados hortícolas, resíduos alimentares da restauração e domiciliários, resíduos e lamas de agroindústria (ex: cooperativas, adegas e lagares de azeite), lamas de estações de tratamento de águas residuais, restos de material lenhoso e do processamento de madeira, embalagens biodegradáveis, entre outros. Muitos desses materiais permitem produzir um composto de qualidade e viável para ser usado na agricultura como fertilizante e outros na produção de compostados para a recuperação de áreas degradadas.

Ainda segundo o autor, de maneira geral, os materiais vegetais verdes e frescos tendem a ser mais ricos em azoto (N), do que quando se trata dos materiais castanhos e secos. Pode-se concluir que o verde é resultado da clorofila, que possui azoto, enquanto o material castanho está relacionado com o material lenhoso. A senescência, ou seja, o amarelecimento das folhas devido à degradação da clorofila, está associada a mobilização de azoto para outras partes da planta. Então essas folhas são mais pobres em azoto do que as folhas verdes.

Os materiais destinados a compostagem não devem conter plásticos, óleos, vidros, tintas, alimentos com excesso de gorduras (pois podem liberar ácidos gordos de cadeia curta), que causam maus odores e atrasam o processo de compostagem, e ainda, afetam na qualidade do composto. Restos de ossos só devem ser utilizados se estiverem moídos. É importante evitar restos de carne, pois pode atrair animais para a pilha. No caso do papel, não deve ultrapassar 10% da pilha, e os papeis coloridos e encerados devem ser evitados por conterem metais pesados e serem de difícil decomposição.

A dimensão das partículas dos materiais é outra característica relevante para o processo, pois afeta fatores como a densidade, capacidade de retenção de água, porosidade e outras características dos compostados. O ideal é que os materiais não possuam muitas partículas com dimensões superiores a 3 cm de diâmetro. As partículas pequenas se decompõem mais rapidamente, pois quanto menor for as partículas, maior será a superfície específica, tornando

o ataque microbiano mais fácil. Em contrapartida facilitam os riscos de compactação e falta de oxigénio, sendo assim, necessário um arejamento adequado na pilha de compostagem (Brito, 2017).

### 3.3.2 Mistura de materiais

Para a construção da pilha de compostagem é importante introduzir uma mistura conveniente de materiais ricos em carbono (carbonáceos), normalmente designados como produtos “castanhos”, com os materiais mais ricos em azoto (azotados), em geral designados de “verdes”. Os carbonáceos disponibilizam a matéria orgânica e a energia para o processo de compostagem, enquanto os azotados aceleram a compostagem, pois o azoto influencia no desenvolvimento dos microrganismos. De maneira genérica, quanto mais baixa for a relação C/N mais depressa termina a compostagem (Brito, 2017).

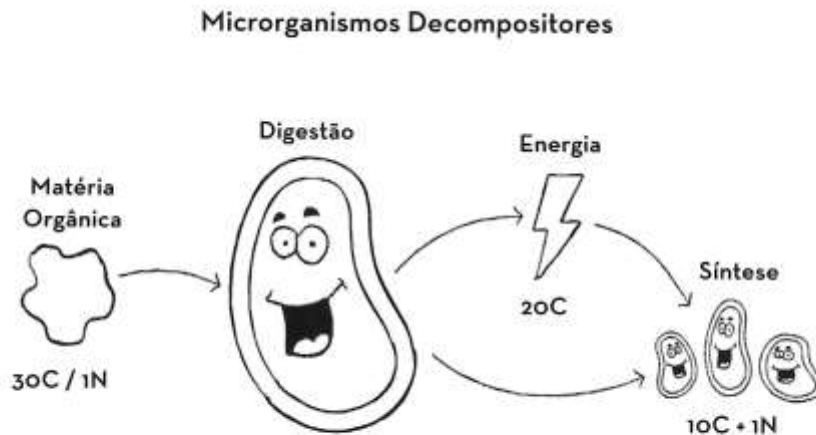
A Tabela 2 apresenta um resumo dos resíduos não compostáveis e resíduos compostáveis, divididos em “verdes” e “castanhos”,

**Tabela 2:** Materiais a utilizar no processo de compostagem.

O que não compostar	Verdes	Castanhos
Ossos, espinhas, carne e peixe	Restos de frutas e legumes	Aparas secas de relva
Resíduos não biodegradáveis ( vidro, plástico, metal, etc)	Restos de comida cozinhada (excepto carne, peixe e lacticínios)	Restos de plantas ( sem doenças, pesticidas ou sementes de erva daninhas)
Cascas de marisco ou conchas	Cascas de ovos esmagadas	Restos de frutos secos
Ovos e lacticínios	Restos de cereais	Cabelos e pelos de animais
Grandes quantidades de gorduras e óleos	Leguminosas	Guardanapos e outros papeis sem corantes e sem plastificados
Carvão, cinzas e beatas de cigarro	Pão	Folhas e ramos secos
Ervas daninhas com sementes	Borras e filtros de café	Palha ou feno
Excrementos de animais domésticos	Aparas frescas de relva	Aparas de madeira e serradura
Plantas doentes / tratamento químico	Ervas	Caruma (pouca quantidade)
Madeiras tratadas com produtos químicos	Flores	Casca de batata
Ramos grandes e cortiça	Plantas verdes	Resíduos da cultura do milho

Fonte: Adaptado do Mini-Guia da compostagem (RDN/IPB/CMB, 2008).

A relação C/N (peso em peso) de 30 é a mais indicada para uma boa compostagem. (Figura 1).



**Figura 1:** Utilização de C e N durante a decomposição da matéria orgânica (Brito, 2017).

Brito, (2017) refere que, para razões C/N menores que 30, o azoto ficará em excesso e poderá ser perdido como amónia ( $\text{NH}_3$ ), no estado gasoso, ou seja, amoníaco, ocasionando em maus odores. Em razões C/N mais elevados, a falta de azoto poderá limitar o desenvolvimento microbiano. O carbono não será degradado em sua totalidade, resultando que a temperatura não aumente e o processo da compostagem ocorra mais lentamente. Uma relação de uma a três partes de materiais ricos em carbono, para uma parte de materiais ricos em azoto, é a mistura mais indicada.

Para calcular a relação C/N (p/p) da mistura dos materiais, pode-se utilizar a seguinte fórmula:

$$C/N_{\text{final}} = P_1 [C_1 (100-H_1)] + P_2 [C_2 (100-H_2)] + \dots / P_1 [N_1 (100-H_1)] + P_2 [N_2 (100-H_2)] + \dots \text{[Eq. 1]}$$

Sendo, o P o peso fresco, H a humidade (%), o C o teor de carbono (%) e o N o teor de azoto (%) na matéria seca dos materiais.

### 3.3.3 Necessidade de rega

A água é um fator fundamental para o desenvolvimento dos microrganismos. No processo de compostagem, devido ao aumento da temperatura, da ventilação, do reviramento do composto e da atividade microbiana, tende a ocorrer um processo de secagem dos materiais.

Para alguns materiais serem compostados é necessário que possuam valores de humidade entre 75 a 90 % (por exemplo a serradura e a palha), no entanto, outros materiais, como a erva fresca cortada, necessitam de valores de humidade entre 50 a 60 %. Sendo assim, o valor de percentagem de humidade mais indicado, varia em função da natureza dos materiais em compostagem, devendo estar entre 45 e 70 %, (Jeris e Ryan, 1973; Suler e Finstein, 1977), citado por (Batista & Batista, 2007).

Segundo Oliveira et al. (2008) é necessário que ocorra o controle de humidade durante o processo, quando não chove nos primeiros 14 dias, será necessário fazer a rega na leira ou na pilha, a fim de manter valores de humidade entre 50% a 60%. Caso, a humidade esteja acima do desejado, deve-se adicionar material seco que absorverá o excesso, como folhas secas, serragem, entre outros. Entretanto se o problema estiver relacionado com o teor baixo de água, a pilha deverá ser regada, com o intuito de alcançar os padrões exigidos para o desenvolvimento da compostagem (Oliveira, 2019).

### **3.3.4 Local e volume da pilha de compostagem**

De acordo com Brinck (2020), o local escolhido para realizar a compostagem deve conter alguns aspectos importantes. Como: a facilidade de acesso, não deverá estar diretamente exposta ao sol ou ao vento, para que o material não seque. O ideal é ser construída em um local sombreado e com proteção contra ao vento, e ainda, com a presença do solo que permita a infiltração da água das chuvas.

Segundo o autor o material não deve receber sol em excesso, pois pode secar demasiado o material e influenciar na ação dos microrganismos. Em contrapartida, se estiver muito a sombra, o material ficará muito húmido, dificultando na estabilização do composto.

A compostagem pode ser realizada em leiras, pilhas ou pátios. As pilhas são montes em forma cônica já as leiras são montes prismáticos. O que difere o método a ser escolhido será o espaço disponibilizado e a quantidade de materiais. Normalmente, para processos menores utilizam-se as pilhas, e para processos maiores utilizam-se as leiras (Wangen, 2010).

Conforme Brito (2017), o local escolhido deve conter algumas condições, como ter água perto para a rega, pois a chuva pode não ser suficiente, e estar próximo do local onde o compostado será incorporado. O formato e o tamanho da pilha também interferem no tempo de compostagem, devido ao efeito que tem em relação a dissipação de calor e o arejamento. Um

volume de 1,5 m x 1,5 m x 1,5 m poderá ser o mais indicado para a maioria dos materiais. Volumes inferiores a 1m<sup>3</sup> podem não alcançar elevadas temperaturas, por um longo período de tempo, fundamentais para a higienização do compostado.

De acordo com o autor, uma pilha muito baixa não aquece rapidamente e não composta bem. Principalmente em locais mais frios, é preferível pilhas mais altas do que 1,5 m. Em contrapartida pilhas muito altas (2,5 m a 3,0 m), podem torna-se muito quentes e acabar por destruir os microrganismos responsáveis na compostagem, além de correr o risco de compactar com mais facilidade, diminuindo o arejamento no seu interior.

### **3.4 O PROCESSO DA COMPOSTAGEM**

A compostagem é conhecida como o processo biológico, capaz de transformar os resíduos orgânicos em substâncias húmicas, através da ação de microrganismos, principalmente as bactérias. Essa decomposição da matéria orgânica ocorre de forma natural no ambiente, mas o termo “compostagem” relaciona-se o processo de decomposição associada a forma praticada pelo homem, que a partir da sua observação reproduziu esses processos naturais, desenvolvendo maneiras eficientes de acelerar e melhorar essa técnica e ainda, produzir um produto final (Pereira Neto,1987).

A decomposição da matéria orgânica ocorre na presença de oxigênio (aeróbia) ou na ausência de oxigênio (anaeróbia). Porém um ambiente aeróbio oferece melhores condições, acelera a decomposição e evita os impactes relacionados a liberação de odores e gases de efeito estufa, que ocorre em condições anaeróbias. Sendo assim, a compostagem é um método simples e eficiente de reciclar resíduos orgânicos de natureza diversa (restos de vegetais e aparas de quintal, como folhas, aparas de grama, restos de jardim e arbustos, entre outros). O composto obtido no processo é de fácil manuseio e rico em matéria orgânica, e muito valorizado como fonte de nutrientes para as plantas (Orientações biorresíduos, 2020).

Segundo, Kiehl (1998) o processo de compostagem deve ser classificado, da seguinte maneira (Tabela 3):

**Tabela 3:** Classificação da Compostagem.

<b>Classificação da Compostagem</b>	<b>Quanto à Biologia</b>	Aeróbio
		Anaeróbio
		Misto
	<b>Quanto à Temperatura</b>	Criofílico
		Mesofílico
		Termofílico
	<b>Quanto ao Ambiente</b>	Aberto
		Fechado
	<b>Quanto ao Processamento</b>	Estático/Natural
		Dinâmico/Acelerado

Fonte: Adaptado de Kiehl (1998).

Segundo o Kiehl (1998) o processo pode acontecer em diferentes condições:

- Processo aeróbio: quando o estágio de fermentação ocorre na presença de ar, a temperatura da massa em decomposição é alta e há liberação de gases, como CO<sub>2</sub> e vapor d'água.
- Processo anaeróbico: quando o estágio de fermentação ocorre na ausência de oxigênio, a temperatura da massa em decomposição é baixa e há liberação de gases CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, etc.
- Processo misto: no início do processo a fermentação é aeróbica, em função da presença de oxigênio, e quando ocorre a redução do O<sub>2</sub>, desenvolve-se em processo anaeróbico.
- Processo criofílico: a matéria orgânica é digerida a temperaturas mais baixas.
- Processo mesofílico: a temperatura altera de acordo com o desenvolvimento da população de microrganismos, quanto maior for a população, mais elevada será a temperatura.
- Processo termofílico: quando a fermentação ocorre em temperaturas superiores a 55°C, podendo alcançar os 70°C. Esta fase permite a destruição de sementes, ovos e formas vegetativas patogênicas.
- Processo aberto: quando a compostagem ocorre a céu aberto, como por exemplo, em pátio de maturação.
- Processo fechado: compostagem ocorre a partir de dispositivos, como digestores, bioestabilizadores, células de fermentação, entre outros.
- Processo estático: o revolvimento da massa é feito esporadicamente.
- Processo dinâmico: a massa em decomposição é constantemente revolvida, favorecendo a aeração, a atividade e o controle biológico.

### 3.4.1 Fatores que afetam o processo de compostagem

A compostagem é um método que necessita de diversos fatores, destacando-se a temperatura e a humidade, pois eles exercem um papel fundamental para o desenvolvimento do processo. Os microrganismos, a relação C/N, a granulometria, pH, aeração, oxigénio, entre outros também desempenham um papel importante na estabilização e na qualidade do composto final.

### 3.4.2 Microrganismos

Segundo Brito (2017) a compostagem depende de fatores como: água, carbono, oxigénio e os nutrientes derivados dos materiais, os quais incentivam o crescimento microbiano. Durante o processo, os microrganismos desempenham um papel de decompor a matéria orgânica, e com isso, produzem calor, dióxido de carbono, amoníaco, água, sais minerais, alguns outros gases azotados e húmus. Os fungos, as bactérias e actinomicetes excretam as enzimas (celulases, proteases, amílases, etc), capazes de catalisar a hidrólise das moléculas orgânicas complexas, deixando-as mais simples, e assim mais disponíveis para serem absorvidas pelos microrganismos.

Durante o processo de compostagem os microrganismos desempenham funções essenciais, como: crescimento, regulação e reprodução. A partir de características mínimas em elementos químicos componentes da sua estrutura, que os permitem realizar essas funções. Observa-se um conjunto de atividades biológicas independentes que são responsáveis por 95% das transformações que ocorrem no material orgânico inicial, sendo fundamentais para o processo (Batista & Batista,2007).

Comunidades diferentes de microrganismos (os fungos, bactérias, leveduras e actinomicetes), prevalecem em fases diferentes do processo de compostagem, em função da natureza do substrato, do ambiente e são de grande relevância para a degradação do material orgânico (Charnay, 2005). Para que predomine os microrganismos termófilos, as temperaturas devem permanecer superiores a 40-45°C, principalmente para as bactérias termófilas do género *Bacillus*. Quando as temperaturas atingem os 55°C, muitos organismos patogênicos para as plantas e humanos são destruídos. Acima de 65°C já são destruídos grande parte dos microrganismos, até aqueles que são responsáveis pela decomposição, apenas resistindo

esporos de bactérias e de actinomicetes que suportam os 70°C, podendo ainda, algumas enzimas extracelulares mais resistentes permanecer ativas até 80°C (Brito, 2017).

Conforme Batista & Batista (2007), dos muitos elementos indispensáveis para que os microrganismos sejam capazes de decompor a matéria orgânica, o carbono e o azoto são considerados os mais importantes. Durante um processo de decomposição aeróbia ativa, são consumidos a partir dos microrganismos 15 a 30 vezes mais carbono do que azoto.

Segundo o autor, nas misturas iniciais ricas em carbono e pouco degradável, a ligação das celuloses e hemiceluloses á lenhina, ocorre uma limitação do ataque a partir dos microrganismos. E ainda, encontram-se em outros materiais que podem integrar na sua composição formas resistentes de celulose, adiando assim a decomposição microbiana da mistura.

### **3.4.3 Aeração e oxigénio**

A compostagem é um processo aeróbio, ou seja, necessita de oxigénio. Pois os decompositores dos resíduos necessitam desse fator para realização da decomposição. O oxigénio consumido durante o tratamento deve ser substituído em diversos momentos por aeração, ou seja, o ar através dos materiais. Quando o oxigénio não está disponível, ocorre a decomposição anaeróbica, não sendo um método aconselhável para a pilha de composto. Desta forma, ocorrem odores desagradáveis, decomposição lenta e pouca produção de calor (Kiehl, 1998).

Segundo Russo (2003), é importante a presença de ar no interior do material em compostagem, pois auxilia no metabolismo dos microrganismos. Um nível de oxigénio inferior (20-15%), pode acarretar no desenvolvimento de organismos anaeróbios, resultando em uma respiração anaeróbia, formando CH<sub>4</sub>. Quando ocorre regularmente um arejamento e um reviramento, haverá uma decomposição da matéria orgânica mais acelerada, mantendo-se em um processo aeróbio.

Para uma boa aeração é necessário que seja colocado materiais de maior dimensão na pilha, criando abertura para o movimento do ar e para virar os materiais com mais facilidade. Também é este o papel dos resíduos classificados como “castanhos”.

Segundo Batista & Batista (2007), o espaço poroso na matriz do composto ocupado pelo ar é influenciado pela granulometria dos materiais, o aspecto das partículas orgânicas e a quantidade de humidade presente.

O reviramento do composto desempenha um papel importante, pois a mistura de diferentes camadas, possibilita a redistribuição da umidade, assim permitindo uma decomposição mais homogênea. Vale ressaltar, que mesmo em situações de bom arejamento, há sempre a presença de microrganismos anaeróbios. Sendo assim, Batista & Batista (2007) referem que a compostagem não é um método inteiramente aeróbio.

#### **3.4.4 Nutrientes**

Os materiais orgânicos utilizados na compostagem são a única fonte de alimento para os organismos decompositores realizarem a atividade de decomposição. A qualidade e a quantidade dos elementos nutritivos desempenham um papel importante para alcançar o equilíbrio dinâmico, assim como, os diversos estágios de crescimento e as condições ambientais. Referindo-se, a compostagem, os aspectos mais importantes, também conhecidos como indicadores, são: as relações entre os macronutrientes (carbono, azoto, fósforo, potássio e enxofre), o pH e a % de matéria seca e orgânica (Batista & Batista, 2007).

Dos vários elementos fundamentais para que microrganismos possam estabilizar a matéria orgânica, o carbono e o azoto são os mais importantes. O carbono representa 50% da massa das células microbianas, e o nitrogênio de 2 a 8 %. O carbono é a fonte básica de energia para as atividades vitais dos microrganismos. Já o azoto é um elemento essencial na composição das proteínas, aminoácidos, ácidos nucleicos, enzimas, entre outros, necessários para o bom funcionamento e crescimento das células (Batista & Batista, 2007). O equilíbrio da relação (C/N) pode ser alcançado combinando materiais ricos em carbono ou “castanhos” com materiais ricos em azoto ou “verdes”.

#### **3.4.5 Teor de umidade**

A umidade é um fator muito importante no processo de compostagem. Os microrganismos precisam de água para decompor a matéria orgânica. Quando os materiais estão muito secos, o processo se torna mais lento. Em contrapartida, se os materiais estão com excesso de umidade, a pilha do composto fica encharcada e densa, dificultando a aeração. Os materiais de compostagem devem estar húmidos de forma adequada, para não inibir a atividade microbiológica (Brito, 2017).

Segundo o autor Kader (2007), o teor de humidade indicado para a compostagem é de 50 a 70 %. Valores inferiores a 35-40% de humidade, é reduzida fortemente a decomposição da matéria orgânica, e ainda, inferior a 30 % a decomposição é interrompida. Porém, vale ressaltar, que o limite vai depender do material a ser compostado e o tamanho das partículas, sendo normalmente indicados valores 55 e 65 %. Uma humidade superior a 65 % pode ocasionar em maus odores, principalmente em zonas de anaerobiose e uma decomposição mais lenta.

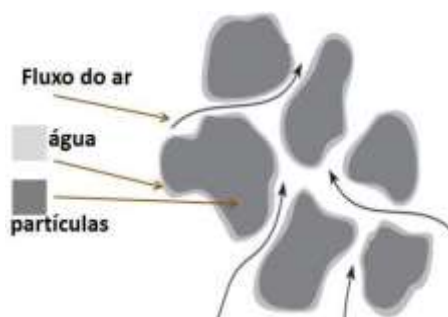
O teste destinado para analisar se o material apresenta um teor de humidade adequado é o teste da esponja. De forma breve, este teste baseia-se em pegar uma quantidade do material em compostagem com a mão, e em seguida, apertar. O indicado é que não escorra líquido entre os dedos, mas que seja possível sentir o material húmido na luva ou na mão (Compostagem Doméstica APA, 2021).

### **3.4.6 Tamanho das partículas**

Os microrganismos decompositores atuam na superfície das partículas. A velocidade de degradação dos materiais compostáveis está associada com a granulometria dos materiais em processo de compostagem. Os materiais quando estão triturados ou picados em pequenos pedaços favorecem o processo de compostagem pois oferecem mais área de para o ataque microbiano. No entanto, uma pilha com apenas partículas pequenas se torna densa e não há uma boa aeração. Desta forma pode ficar comprometida a porosidade do material, sendo necessário encontrar um equilíbrio viável, no qual, normalmente é com partículas de 0,5 cm e 5 cm (Cordeiro, 2010).

O autor recomenda ainda que os materiais incorporados em pilhas estáticas, contenha partículas maiores, garantindo uma estrutura mais resistente e evitando a compactação. Segundo Brito (2007) o recomendável são partículas de diâmetro de 1,3 cm e 7,6 cm.

O esquema ideal para uma compostagem, incluindo as frações orgânicas, a água e a circulação de ar, está demonstrado na (Figura 2).



**Figura 2:** Esquema ideal para a compostagem, com as frações orgânicas, água e circulação do ar; (Adaptado de Richard et al, 1996).

### 3.4.7 Temperatura

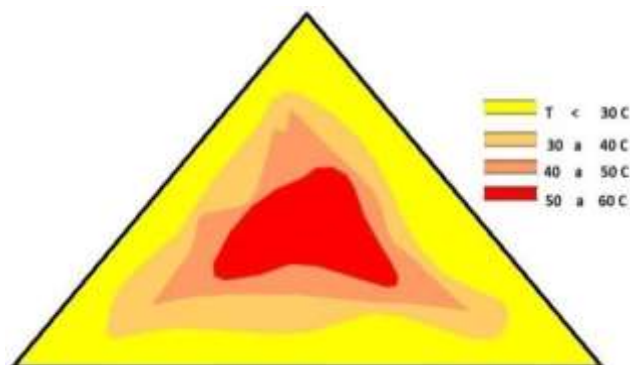
O fator mais importante para definir se o processo de compostagem está a decorrer bem e como desejável, é a temperatura. A produção de calor é a indicação da atividade biológica, e também, indiretamente, o seu grau de decomposição (Bidingmaier, 1984).

Segundo Brito (2007) para que ocorra a produção de calor é necessário que o processo decorra a uma determinada velocidade, ou seja, a velocidade em que os microrganismos crescem e atuam. Consequentemente, essa, depende do teor de humidade, da relação C/N, do arejamento, do tamanho da pilha (que afetará o arejamento e a dissipação do calor), e ainda do sistema utilizado.

A compostagem, pode ser definida em duas principais fases. A primeira é caracterizada por uma fase mais ativa, com uma atividade metabólica forte e pelo aumento da temperatura na pilha, incluindo-se uma fase inicial mesófila, e outra termófila. A segunda fase caracteriza-se por taxas metabólicas menores e por uma fase de arrefecimento e maturação, onde o material se estabiliza, tornando-se mais escuro, com cheiro de terra e aspecto de húmus. (Wintter & Lopez-Real, 1987) citado por Brito (2017).

Tratando-se da decomposição, ela ocorre mais rapidamente na fase termófila, e pode durar semanas ou até meses. Essa condição vai depender do tamanho e da composição dos materiais compostados. De acordo com alguns autores, na fase termófila inicial, a temperatura varia entre 40 e 55 °C. As temperaturas elevadas aceleram a hidrólise das principais moléculas estruturantes dos materiais e neste período podem ser eliminados também organismos patogénicos e sementes infestantes, pois são uma preocupação quando são aplicados juntos com o composto no solo. (Cunha Queda, 1999).

Segundo Russo (2003) quando ocorre uma compostagem aeróbia, as temperaturas se desenvolvem do interior para o exterior com um gradiente térmico decrescente, como demonstrado na figura 3.



**Figura 3:** Perfil da temperatura em uma pilha aeróbia, (Adaptado de Russo 2003).

As temperaturas elevadas tem sido apontadas como um dos fatores mais necessários para uma boa compostagem. Porém, com alguns limites, pois uma temperatura acima dos 80 °C por longos períodos podem ser prejudicial, ocasionando na inibição do crescimento de microrganismos ou até mesmo na morte dos organismos que não são termotolerantes (Russo, 2003).

Segundo Brito (2017) a temperatura é um fator que otimiza o processo. Por isso, o registo da temperatura na pilha, deve ser realizada em vários pontos no seu interior, e no exterior. Sendo, a temperatura mais elevada geralmente no centro e na região superior da pilha. A temperatura pode alcançar aos 40 a 50 °C nos dois a três primeiros dias, sabendo-se, que quanto mais rápido o material se decompõe, mais cedo a temperatura descerá.

Conforme o autor, durante a primeira semana a temperatura na pilha de compostagem deve aumentar. O material em compostagem deve atingir a temperatura ambiente ao fim de três meses, dependendo das condições ambientais. Nesta fase a pilha deverá ser revolvida para que haja arejamento. Entretanto, se não houver um aumento significativo da temperatura, pode-se considerar que a compostagem está terminada. Considera-se ainda, que o material estará estabilizado quando a temperatura permanecer constante, mesmo após o seu reviramento (Jeménezes & Garcia, 1989).

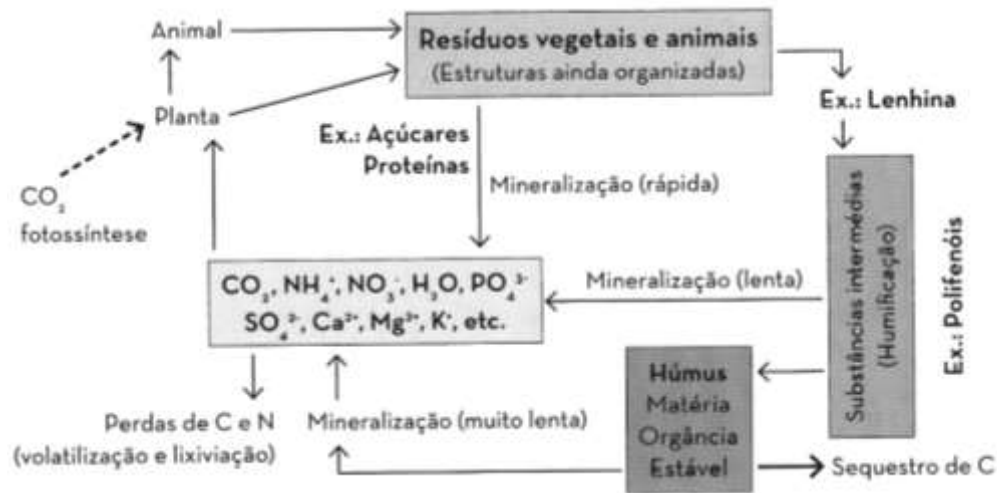
### 3.4.8 Mineralização e humificação

Os microrganismos precisam de muitos elementos para realizar a compostagem, sendo o carbono e o azoto os principais. O carbono, além de fornecer energia para a atividade biológica, representa mais da metade de massa das células microbianas.

Praticamente metade ou mais da metade da massa e do volume da pilha será perdida durante a compostagem, devido à decomposição dos materiais. Sabe-se ainda, que metade do carbono da pilha será perdida, basicamente em forma de dióxido de carbono (Brito, 2017).

Ainda de acordo com o autor, normalmente, nos três primeiros meses de compostagem, diminui rapidamente o teor de matéria orgânica presente na matéria seca, pois é quando o processo de mineralização é mais rápido. À medida que a temperatura vai diminuindo até alcançar a temperatura ambiente, segue-se a fase de maturação do composto, ou seja, a fase de formação de um composto estável.

Embora, grande parte da matéria orgânica seja mineralizada, outra parte é humificada resultando na formação do composto estável designado de húmus. Durante a compostagem ocorrem então dois processos principais, porém com características opostas: a mineralização e a humificação. Em um ocorre o processo de destruição, direcionando a decomposição dos materiais e a sua transformação em compostos minerais, a partir da mineralização. Já no outro, ocorre um processo conservador, a humificação, a partir de reações de oxidação, condensação e polimerização. No processo formam-se complexos coloidais (formados por partículas de diâmetro inferior a  $2\mu\text{m}$ ), com peso molecular crescente, resistentes e estáveis a decomposição (Figura 4).



**Figura 4:** Esquema dos processos de constituição, mineralização e humificação da MO (Brito, 2017).

### 3.4.9 Azoto orgânico e mineral

Na compostagem o azoto é disponibilizado nos materiais, basicamente na forma orgânica. Já na fração mineral o N é encontrado principalmente como azoto amoniacal. Quando o azoto está disponível em excesso, pode-se acumular-se e haver perda por volatilização de amoníaco, ou outros gases azotados, pois os microrganismos podem não conseguir utiliza-lo por ausência na disponibilidade de carbono. E ainda, pode ocorrer lixiviação e desnitrificação dos nitratos (Brito, 2017).

### 3.4.10 Relação Carbono /Azoto (C/N)

A relação C/N é considerada um fator que melhor caracteriza o equilíbrio dos substratos. Os microrganismos precisam do carbono, pois atua como fonte de energia, e do azoto para a síntese de proteínas.

Entre vários elementos essenciais, o carbono e o azoto são os mais importantes, para que os microrganismos sejam capazes de decompor a matéria orgânica. O carbono representa cerca de 50 % da massa das células microbianas. Em um processo aeróbio ativo, são consumidos pelos microrganismos 15 a 30 vezes mais carbono do que azoto. O azoto é um componente

determinante na composição das proteínas, aminoácidos, enzimas, ácidos nucleicos, que são essenciais para o bom funcionamento e crescimento das células. (Batista & Batista, 2007).

A relação C/N inicial mais indicada deve situar-se em torno de 30/1. Quando a relação C/N for muito baixa, ocorre grande perda de nitrogênio a partir da volatilização da amônia. Porém quando a relação C/N é muito elevada, os microrganismos não encontram azoto suficiente para a sintetizar as proteínas e conseqüentemente terão uma limitação no seu desenvolvimento, resultando em um processo mais demorado (Silva, 2017).

Segundo Brito (2017) a razão C/N pode alterar-se em função das características dos materiais que serão utilizados na compostagem. Apesar da razão C/N 30 ser a mais aconselhável, é necessário analisar a disponibilidade do carbono e azoto presente nos materiais a serem compostados para, a partir do seu conhecimento, se proceder a misturas de materiais que resultem numa disponibilidade adequada de carbono e azoto para os microorganismos.

### 3.4.11 pH

O estado de compostagem dos resíduos orgânicos pode ser indicado pelo pH do composto, sendo um fator determinante para demonstrar a bioestabilização do material durante o processo (Oliveira et al. 2008). Segundo Jiménez & Garcia (1989) durante as horas iniciais da compostagem, há um decréscimo do pH até valores aproximados de 5. Este valor vai aumentar gradualmente no decorrer do processo, atingindo, em geral, valores entre 7 e 8 na fase de estabilização do composto.

Deste modo, valores mais baixos de pH indicam uma maturação incompleta, devido ao período curto do processo ou ainda, a presença de processos anaeróbios no interior da pilha de compostagem. O pH ideal varia entre 6 e 8, para as bactérias decompositoras e entre 5 e 8,5 para os fungos (Brito, 2017).

Segundo Mustin (1987), existem quatro principais fases na evolução do pH.

- **Fase I** – diminui o valor de pH, ocorrendo um período de acidificação, que resulta em uma produção intensa de CO<sub>2</sub> e de ácidos orgânicos, predominando nesta altura os microrganismos mesófilos.

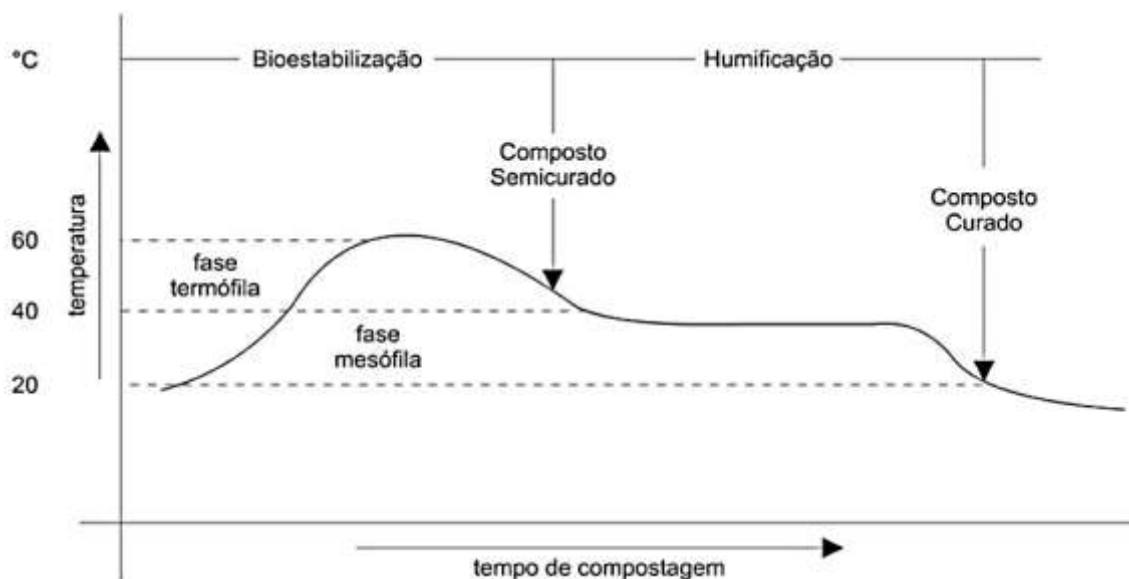
- **Fase II-** o valor pH aumenta, em consequência da produção de azoto na forma amoniacal, resultante da hidrólise do azoto orgânico. Trata-se de um período de alcalinização, predominando nesta altura os microrganismos termófilos.
- **Fase III-** é definida pelo início da estabilização do pH. O amoníaco produzido anteriormente diminui, devido ao efeito da sua volatilização, em função de algumas condições, como a temperatura e pH elevados.
- **Fase IV** o valor de pH aproxima-se para a neutralidade. A estabilização do pH é resultado da maturação e do poder tampão do húmus.

#### 3.4.12 Tempo

Para o composto ficar pronto para uso, é necessário condições favoráveis na pilha. Dependendo de alguns fatores os materiais podem demorar várias semanas a mais de um ano para produzir o produto desejado. Em situações normais, o composto fica pronto para uso em três a seis meses, levando em conta, o revolvimento regular, a humidade adequada e uma boa mistura de materiais (Brito, 2017).

### 3.5 FASES DA COMPOSTAGEM

Durante o processo de compostagem é possível considerar três fases: a primeira fase inicial ocorre de maneira rápida de composto cru ou imaturo, em seguida, uma segunda fase de semi-cura ou bioestabilização, a fim de atingir a terceira fase, onde ocorre a humificação, acompanhada da mineralização dos componentes da matéria orgânica. Na (Figura 5) podem ver-se as etapas do processo de compostagem relacionando a temperatura e o tempo.



**Figura 5:** Etapas do processo de compostagem (Andreoli, 2001).

Na primeira etapa ocorre a decomposição dos materiais facilmente biodegradáveis, a partir, da evolução dos microrganismos mesófilos. Acompanhando a diminuição do volume dos materiais verifica-se o aumento da temperatura. Seguidamente da segunda etapa, termofílica, onde os materiais, como a celulose, são decompostos através da atividade oxidativa biológica, verifica-se um aumento significativo da temperatura, eliminando organismos patogênicos e as sementes. A terceira etapa é responsável pela maturação ou estabilização, quando ocorre a humificação.

### 3.6 COMPOSTO

O composto é o resultado do processo da compostagem, onde obtém-se um produto final estabilizado, que quando aplicado ao solo lhe confere características positivas em funções de correção de algumas propriedades e de aumento de nutrientes para as plantas.

Segundo Francou (2003), a qualidade do composto está diretamente relacionada com a sua maturidade, ou seja, que ele apresente uma matéria orgânica estabilizada e não possua efeitos inibidores para as plantas. A maturidade de um composto é um elemento de grande importância para o produtor, pois é através dela que se identifica o processo da compostagem e se o material orgânico está estabilizado o que evita possíveis consequências adversas em relação a sua aplicação, tais como: decomposição incompleta, aumento da temperatura, odores e a presença de substâncias fitotóxicas. A qualidade do composto é baseada na sua avaliação, a

partir da análise dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos no produto final.

### **3.6.1 Qualidade do composto**

Na compostagem ocorre um processo de decomposição aeróbia, havendo necessidade de uma monitorização e um controle dos aspectos físicos, físico-químicos e biológicos para a obtenção de um composto que demonstre uma qualidade considerável para ser aplicado como condicionador do solo ou ainda como fertilizante orgânico. As análises realizadas no composto demonstram, que as características relacionadas a sua qualidade são especialmente herdadas dos materiais que deram origem ao processo, mesmo havendo influência dos parâmetros como humidade, concentração de N, pH, tamanho das partículas e condutividade (Massukado & Schalch, 2010).

Destaca-se ainda que o grau de qualidade do composto está associado ao seu uso. Um parâmetro importante para analisar o grau de qualidade do composto e a partir da condutividade elétrica, pois indica os níveis de fitotoxicidade. Segundo os autores (Massukado & Schalch, 2010) elevados valores de condutividade elétrica e a alta concentração de ácidos orgânicos impedem a germinação de sementes.

Conforme Brito (2017) são necessárias especificações que definam a qualidade do produto final da compostagem. Ainda que a legislação determine as regras que devem ser seguidas para o produto final poder ser comercializado como fertilizante, é indispensável a realização de métodos analíticos e agronômicos que cumpram os critérios exigidos.

Segundo o autor, entre os vários fatores indicadores da qualidade do composto, um que normalmente vem sendo considerada é a relação C/N, como um bom indicador do grau de decomposição dos materiais orgânicos. Considera-se que valores inferiores a 20 são indicativos de uma aceitável maturação (Morel et al., 1985). Em alguns casos, esse valor pode ser superior a 20 em compostados maturados, por exemplo, quando parte do carbono orgânico, se encontra moléculas resistentes a decomposição, como é o caso da lenhina.

## **3.7 MODELOS DE COMPOSTOR**

A compostagem em larga escala ocorre em estruturas industriais onde todos os parâmetros do processo são controlados por via informática. No entanto, dado que este trabalho pretende dar um contributo para o incentivo da realização da compostagem numa escala menor,

contribuindo para a sustentabilidade dos sistemas onde os resíduos são produzidos, discutem-se em seguida os modelos que facilmente podem ser adotados sem grandes investimentos.

Existem diversos tipos de compostores. Cada uma delas, apresentam suas características e particularidades. O tipo de resíduos produzidos e outras condições que interferem no processo, são o fator de decisão para escolha do modelo da composteira. Tendo em vista, que essa escolha vai depender das condições disponíveis, do tempo, do espaço e da disponibilidade de materiais para a sua construção.

O sistema escolhido para desenvolver a compostagem pode evitar alguns problemas desnecessários, como por exemplo: odores desagradáveis, invasão de ratos, insetos parasitas e organismos patogênicos, sementes viáveis de infestantes. Esses problemas podem ser evitados a partir da seleção do modelo de compostagem adequado para os materiais a compostar. (Thstrup, 1989) citado por Brito (2017).

Existem diversos sistemas para a produção do compostado, porém, normalmente são agrupados em dois tipos: a fermentação em pilhas (digestão aeróbia ou compostagem) e a fermentação em digestores (digestão) ou câmaras fechadas (Jiménez & Garcia, 1989).

Estes sistemas podem ser definidos em quatro categorias: pilhas longas com revolvimento (windrow), pilhas estáticas ou com arejamento forçado, recipientes e reatores abertos ou fechados (in-vessel). Tratando-se de pilhas longas, essas devem ser revolvidas frequentemente na fase de compostagem, pois necessita de mais oxigênio e é produzido mais calor, enquanto nas pilhas estáticas são revolvidas com menor frequência ou não são revolvidas. Já nos outros sistemas é possível realizar um controle mais contínuo do oxigênio, bem como, a temperatura, organismos patogênicos, odores, etc (Brito, 2017).

O método de compostagem mais utilizado na agricultura é a realização de pilhas de compostagem, sendo longas ou estáticas, por aproximadamente três meses, acompanhado de um período igual para a maturação do composto (Brito, 2017).

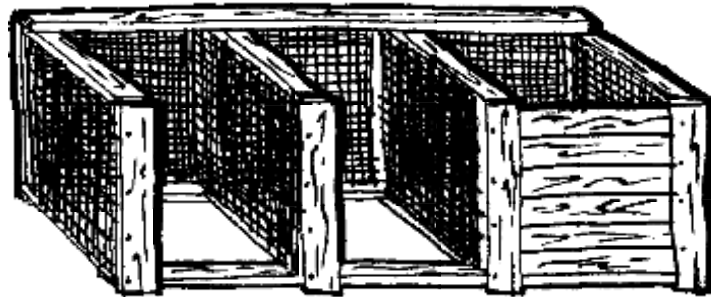
A compostagem de quintal compreende na mistura dos materiais, mantendo os resíduos húmidos e realizando o reviramento para ajudar na aeração. O que diferencia de um método para o outro é como os materiais são armazenados e tratados. As opções incluem as pilhas, caixas, contêineres ventilados e copos giratórios.

As pilhas são a maneira mais simples de compostagem e funcionam bem. Os materiais devem ser inseridos na pilha a medida que estão disponíveis ou que seja necessário para criar

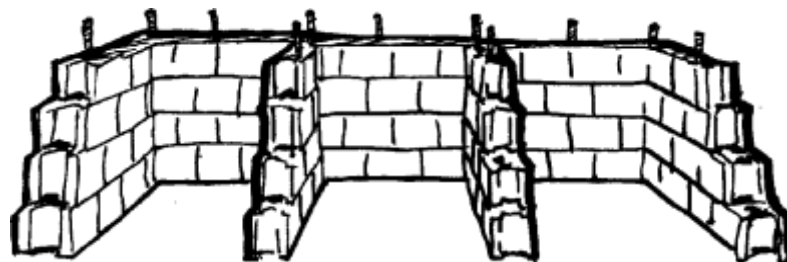
uma dinâmica favorável entre os resíduos. De qualquer forma, é aconselhável ter duas ou três pilhas: a primeira para os ingredientes frescos, outra para a fase de compostagem e uma terceira para amadurecer o composto. A pilha deve ser revirada com uma certa constância com a ajuda de uma ferramenta adequada.

As caixas de compostagem funcionam de forma parecida com as pilhas. Entretanto, elas armazenam os materiais de compostagem de forma mais organizada e permitem empilhamentos mais altos. Também protegem os materiais do clima e de possíveis pragas. Assim, como é indicado, ter dois ou três montes de composto, será mais fácil gerenciar na sua evolução.

Vários modelos de caixas podem ser utilizados, entre elas: composteiras com círculos de cerca de arame, paletes de madeira, tela de arame emoldurada em madeira, como demonstrado nas figuras a seguir (figuras 6 a 10):



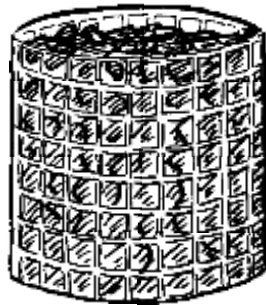
**Figura 6:** Unidade de compostagem com três módulos de tela de madeira e ferragens (Rynk & Colt, 1997).



**Figura 7:** Unidade de compostagem de três módulos em bloco de cimento (Rynk & Colt, 1997).



**Figura 8:** Caixa de compostagem com palete de madeira  
(Rynk & Colt, 1997).



**Figura 9:** caixa de compostagem com cerca de arame  
(Rynk & Colt, 1997).



**Figura 10:** Copo de compostagem do tipo tambor  
(Rynk & Colt, 1997).

### **3.8 A INFLUÊNCIA DA MATÉRIA ORGÂNICA NO SOLO**

A matéria orgânica (MO) do solo representa muitos benefícios, entre elas, a principal fonte de azoto para o solo e para as culturas. Um elevado teor de matéria orgânica, desempenha um papel relevante na melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, disponibilizando mais nutrientes e o aumento da sustentação para a produção vegetal. (Weil & Brady, 2017)

A agricultura sustentável e a preservação da paisagem dependem da disponibilidade de matéria orgânica nos solos. A sua ausência pode acentuar os processos erosivos, dificuldade de armazenamento de nutrientes, irreparável quebra na biodiversidade, na qualidade da água e do solo, entre outros.

As características da matéria orgânica influenciam diretamente a temperatura, a cor, na densidade aparente dos solos, e assim, conseqüentemente na facilidade de penetração das raízes no solo, arejamento, porosidade, nos riscos de compactação, controle de processos erosivos, aumento de formação de complexos argilo-húmicos, retenção de água e nutrientes, na drenagem, entre outros.

A aplicação da matéria orgânica ao solo altera de forma positiva as suas propriedades. Por exemplo, aumenta a sua capacidade de troca catiônica (CTC) e o seu poder tampão com conseqüências diretas na estabilização de uma quantidade de nutrientes para as plantas que, sendo retidos nas suas cargas elétricas, vão sendo fornecidos gradualmente, reduzindo a sua lixiviação por influência do eventual excesso de água. A presença da matéria orgânica no solo, ainda pela sua elevada carga elétrica, tem a capacidade de diminuir a biodisponibilidade de metais pesados, diminuindo assim a sua toxicidade. A matéria orgânica tem ainda a capacidade de reciclar nutrientes e sequestrar o carbono (Wil & Brady, 2017).

No que respeita à influência da matéria orgânica nas propriedades biológicas do solo, destacam-se a sua capacidade de disponibilizar energia e nutrientes para os microrganismos decompositores, simbiontes e supressivos de pragas ou doenças das culturas. (Brito, 2017).

### **3.9 ECONOMIA CIRCULAR E A RECICLAGEM DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS**

Economia Circular é um conceito estratégico que estabelece a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia. Substituindo o conceito de economia linear e o fim de vida dos produtos, visam-se fluxos circulares voltados para a restauração e reutilização,

vistas como um elemento importante para dissociar o desenvolvimento econômico e o aumento no consumo dos recursos naturais.

O tratamento dos resíduos pela técnica da compostagem é um exemplo desse modelo, pois traz grandes benefícios ao ambiente e ainda pode fornecer muitos insumos para a agricultura. Incentivando uma economia restaurativa, que tem como prioridade atuar na reutilização ou transformação de resíduos em recursos, evitam-se problemas ambientais, e apontam-se novos caminhos economicamente sustentáveis para solucionar os graves impactos oriundos de toda cadeia de produção de alimentos, as grandes concentrações nos centros urbanos e a geração de resíduos.

A economia circular possibilita a criação de produtos de ciclos diversos de uso, reduzindo a dependência em relação aos recursos naturais, e ao mesmo tempo, evitando o desperdício. Os produtos produzidos nesse modelo, são elaborados com uma eficiência circular, com matéria prima biológicas. Tratando-se dos resíduos sólidos orgânicos, esses retornam para a cadeia produtiva como fertilizantes (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Essa abordagem aplicada à compostagem de resíduos, determina novos cenários voltados para a agricultura sustentável e grandes oportunidades de negócios para as questões ambientais.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em uma Quinta familiar. Os materiais utilizados para o processo de compostagem consistiram em resíduos de exploração agrícola, como: os resíduos verdes de jardim, restos de poda, folhas secas, e ainda, nos restos alimentares, cascas de frutas, verduras, borra de café, casca de ovo, etc., provenientes dos moradores residentes no local.

### 4.1 Caracterização da área de estudo

A quinta de Melila está localizada no município de Tarouca, possui uma área de aproximadamente 1 hectare (10.000 m<sup>2</sup>). Sendo a maior parte em área verde, com a presença de oliveiras, azevinhos, castanheiro, fetos, silvas, cedros, pereiras, aveleira, entre outras espécies (Figura 11). Durante muitos anos a Quinta foi utilizada para fins de produção agrícola. A área possuía: vinha, horta com cebola batata e hortaliças variadas. Atualmente não existe atividade agrícola, sendo estritamente residencial.



**Figura 11:** Área onde decorreu o processo de compostagem.

Google Earth (consultado em 2021).

### 4.2 Caracterização dos materiais

Os resíduos utilizados para o processo de compostagem consistiram em materiais orgânicos compostáveis, a partir da disponibilidade no espaço e dos meios disponíveis. Foi previamente feita a identificação dos resíduos que podem ser compostados, classificados como

verdes e castanhos. Em relação aos materiais castanhos, ricos em carbono e normalmente secos foram selecionados e armazenados os resíduos de jardim como as folhas e ervas secas, aparas de relva secas, resíduos de cortes e podas, materiais secos lenhosos, todos as sobras resultantes da manutenção de jardins e espaços verdes.

Os materiais verdes, normalmente húmidos eram constituídos por restos de folhas verdes, aparas de relvas verdes e relvas frescas, restos de vegetais e frutas, borras de café, casca de ovo, restos de hortaliça, entre outros.

Em relação a quantidade dos resíduos provenientes do jardim, foi possível identificar um valor anual de resíduos, incluindo todos os materiais verdes e secos resultantes da manutenção, de aproximadamente 5 a 8 metros cúbicos (5000 a 8000 litros), a partir de informações fornecidas pelo proprietário da área em estudo. Para o presente trabalho não foi utilizada toda essa quantidade de materiais.

No que respeita aos resíduos de cozinha, foram avaliados cerca de 10 litros produzidos por semana, com uma estimativa anual de 480 litros, um valor referente a um agregado familiar com uma média de 5 pessoas. Nestes resíduos incluem-se os restos alimentares, como as cascas de frutas e vegetais.

Os resíduos verdes e castanhos recolhidos e utilizados na compostagem, estão demonstrados nas figuras a seguir: (Figura 12).



**Figura 12:** Material seco e lenhoso utilizado no trabalho: a) Folhas secas b) Material seco lenhoso c) Relva seca d) Relva verde e) Restos de relva fresca f) Restos alimentares.

### 4.3 Acondicionamento dos materiais

Os resíduos orgânicos utilizados na compostagem, foram acondicionados de maneira segura e correta até o momento da montagem das pilhas da composteira. Após serem recolhidos, foram colocados em sacos plásticos impermeáveis e resistentes, adquiridos em lojas de produtos agrícolas. O material seco lenhoso, como os galhos e restos de poda, como se encontravam em maior quantidade, foram acondicionados em uma carreta metálica. Como já era previsto o desenvolvimento deste trabalho, no outono de 2020 foram recolhidas as folhas secas do jardim e armazenadas em sacos plásticos normais, tendo em vista, que nessa época estavam disponíveis em maior quantidade.

Posteriormente, foram guardadas em local seco e com sombra. Para os restos alimentares, foi utilizado um contentor de 10 litros, que ficava na cozinha da residência. A medida que o contentor enchia, o mesmo, era depositado em um contentor maior (20 litros) que estava fora da casa, em um espaço reservado para guardar os resíduos e os equipamentos utilizados no processo, conforme representado na (Figura 13):



**Figura 13:** Material acondicionado: a) Material verde e seco b) Material lenhoso c) Restos alimentares.

#### 4.4 Equipamentos e máquinas

Na área de estudo, Quinta de Melila, há uma grande diversidade de equipamentos e máquinas que foram utilizados no processo, desde os usados na recolha dos materiais, na construção dos compostores e no desenvolvimento do processo da compostagem. Entre eles, uma roçadora, engaçó, moto-serra, tesoura de corte, vários tipos de enxadas, pá, serra, tesoura de poda, máquina de corta relva, carrinho de mão, entre outros, como demonstrado na (Figura 14).



**Figura 14:** Equipamentos e máquinas disponíveis. a) Moto-roçadora b) Engaçó c) Tesoura de poda (Grande) d) Serrote e) Foíce f) Forquilha g) Sachola h) Pá i) Tesoura de poda j) Catana l) Motosserra m) Corta-Relva.

A velocidade de decomposição dos materiais está associada à granulometria das partículas em processo de compostagem. Quando estão triturados ou picados em pedaços menores é favorecida a atividade microbiana, como referido no ponto (3.4.6). Levando isso em conta, os materiais secos lenhosos foram triturados, com o intuito de reduzir o tamanho das partículas a aproximadamente 3 a 7 centímetros. O recomendável é utilizar partículas na faixa de 1,3 cm e 7,6 cm (Brito, 2005). Os resíduos alimentares e o restante dos resíduos verdes de jardim, não passaram por esse processo pois já apresentavam tamanhos adequados, além de serem mais facilmente degradáveis.

Sendo assim, os materiais secos lenhosos foram triturados por uma máquina adequada para destroçar os materiais. Foi utilizado um biotriturador elétrico de modelo RYOBI RSH2545B de 2.500 w, a fim de reduzir os resíduos orgânicos de jardim, tais como ramos, galhos e os restos de poda em geral, respeitando as regras descritas no manual de instruções da máquina (Figura 15).

À medida que os materiais secos lenhosos iam sendo triturados eles ficavam acondicionados na caixa de recolha, localizado na parte inferior do equipamento. Assim que a caixa estava cheia, os materiais castanhos eram colocados na mesma carreta metálica.



**Figura 15:** Processo de trituração do material lenhoso: a) Máquina b) Processo de trituração c) Material final triturado.

Para o desenvolvimento do trabalho também foi utilizado uma balança para a pesagem dos materiais, um termômetro para a realização do monitoramento da temperatura, além de outros equipamentos que foram necessários para realização do processo. Apresentados nos tópicos a diante.

#### 4.5 Equipamentos de proteção individual – EPI

Segundo a Diretiva 89/656/CEE o equipamento de proteção individual é “qualquer equipamento destinado a ser usado ou detido pelo trabalhador para sua proteção contra um ou mais riscos suscetíveis de ameaçar a sua segurança ou saúde no trabalho, bem como qualquer complemento ou acessório destinado a esse objetivo”.

Os EPI são equipamentos que auxiliam no manuseio dos materiais e máquinas. São essenciais para a proteção da saúde e para o desenvolvimento do trabalho em segurança, afim, de evitar acidentes, contaminações e outros riscos à saúde.

Mesmo utilizando o biotriturador seguindo as instruções, continua ser impossível eliminar por completo certos fatores de riscos residuais. Então, durante o processo de trituração dos materiais foram utilizados protetores para os ouvidos, afim de evitar lesões devido ao ruído, e também foi determinado um limite de tempo de exposição. Com a finalidade de evitar algum prejuízo causado por detritos lançados pelo equipamento, foram utilizados óculos de proteção em todos os momentos de trituração dos materiais e também luvas, evitando riscos relacionados aos materiais cortantes (Figura 16).



**Figura 16:** Equipamentos de proteção individual utilizados no processo.

## 4.6 Construção do compostor

- **Compostor modular- Três caixas fixas**

Para se dar início ao processo de compostagem, foi necessário proceder à construção e instalação de um compostor nas imediações do jardim da Quinta de Melila. Segundo Neves (2017), o local escolhido deve conter algumas condições que favorecem o ritmo da biodegradação, assim como a qualidade final do composto. Antes da construção e instalação do compostor, foi realizada a olho nu na área em estudo uma análise relativa aos possíveis lugares que permitissem uma melhor acessibilidade para deposição dos materiais, bem como, para a monitorização ao longo do processo de compostagem.

Um parâmetro considerado importante foi ser instalada em um local sombreado e com proteção contra ao vento, com o intuito de proporcionar um equilíbrio entre sol e sombra, evitando que os materiais em decomposição ficassem demasiado secos. Outro fator que foi ponderado foi estar próximo do local onde o composto será incorporado. Verificou-se também a disponibilidade de água próximo do local para a rega, facilitando na monitorização da humidade, pois a chuva pode não ser o suficiente durante o processo. Além disso, segundo Brito (2017), o mais aconselhável é que a pilha não esteja destampada, pois pode ocorrer lixiviação ou encharcamento do material.

Ao planejar a implementação do compostor foi considerado o formato e o tamanho da pilha, pois também interferem no tempo de compostagem. As pilhas não devem conter volumes inferiores a  $1\text{ m}^3$ , pois podem não alcançar elevadas temperaturas por um período de tempo suficientemente longo, que são fundamentais para a higienização do composto (Brito, 2017). Levando isso em conta, foi desenvolvida um compostor que atendessem as necessidades do espaço, além de apresentar uma elevada qualidade e eficiência no processo.

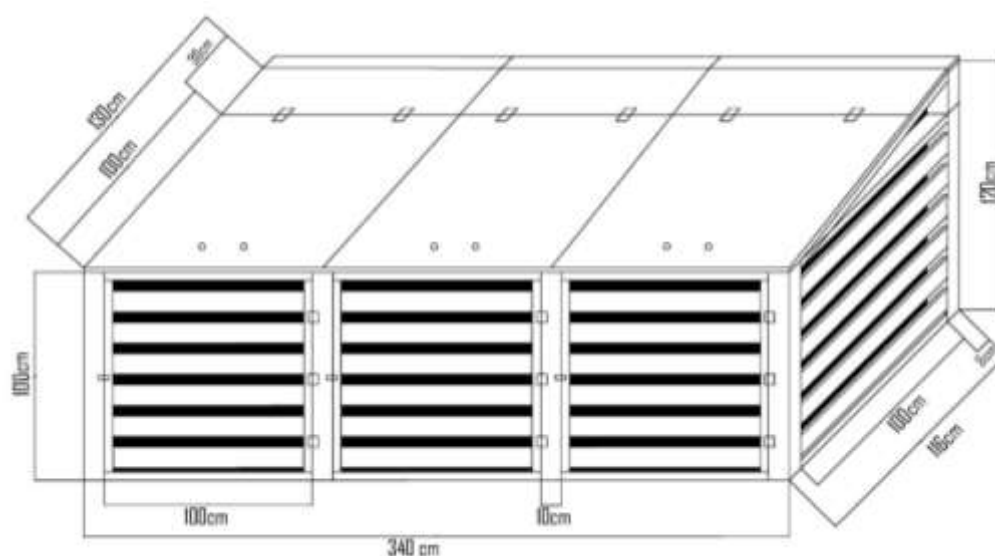
Neste trabalho foi desenvolvido um compostor de forma modular. Sendo construído com três partes, cada módulo com a dimensão de  $1\text{ m}^3$ , tendo um total de  $3\text{ m}^3$ , visando tornar o processo mais prático e dinâmico. A construção do compostor foi baseada em três caixas fixas de madeira e de pallet, rede de galinheiro para as divisórias entre os módulos, com portas de acesso ao material pela parte da frente, e abertura superior.

Visando incentivar a aplicação da reciclagem, os conceitos da sustentabilidade e da economia circular, praticamente todos os materiais utilizados para a construção do compostor foram baseados na reutilização de madeiras e pallets “velhos”, que se encontravam sem uso na área em estudo, evitando que fossem desperdiçados. A rede utilizada para criar a divisória entre um módulo e outro, também foi reaproveitada de uma estrutura que se encontrava sem utilidade

na Quinta. Construiu-se assim um modelo de compostor que visa o reaproveitamento e a circularidade dos materiais.

Os pallets foram desmontados utilizando um pé de cabra e com auxílio de um martelo para a remover os pregos. Posteriormente, as ripas foram usadas para a montagem da estrutura do compostor. O mesmo foi feito com a rede de galinheiro e com sobras da madeira.

Para a montagem do compostor foi desenvolvido inicialmente um desenho técnico no software AutoCAD, com as dimensões descritas na (Figura 17). Em seguida, foram feitas as medições, para a abertura dos oito buracos onde foram instalados os postes principais da estrutura. A união da estrutura foi feita com uma ripa de madeira provisória com o intuito de a estabilizar, enquanto se realizava a montagem das restantes partes. Finalmente, foi concluída a montagem da estrutura e das tampas superiores, para desta forma se dar início ao processo (Figura 18).



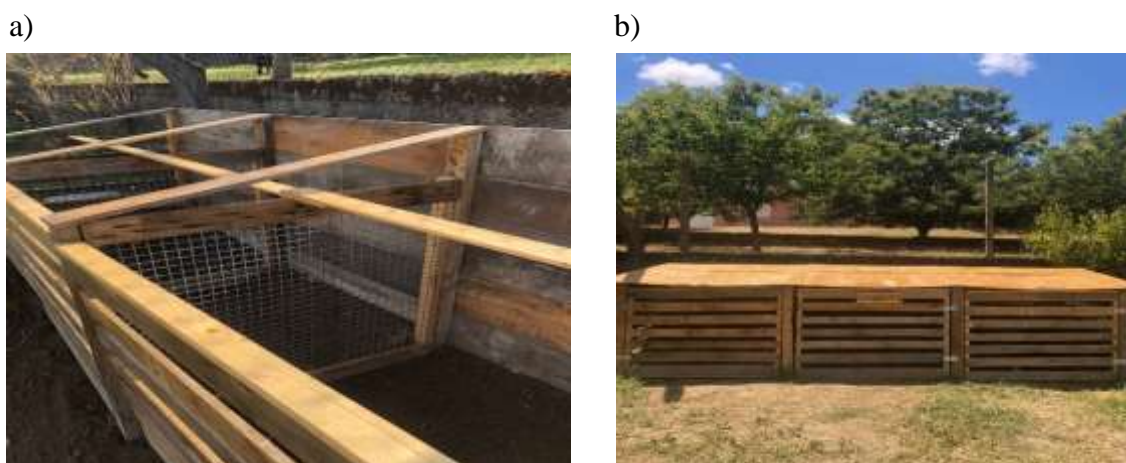
**Figura 17:** Desenho técnico do compostor.

(Produzido pelo AutoCAD, versão 2019)

#### 4.7 Realização do estudo

O estudo foi realizado no local destinado na área em estudo e após a montagem do compostor. Os resíduos utilizados para o processo de compostagem consistiram em resíduos de exploração agrícola, como os resíduos verdes e castanhos resultantes das áreas verdes e do jardim, e também nos restos alimentares, como cascas de frutas, verduras, etc. Para realização

do experimento montaram-se duas pilhas iniciais, com a mistura de resíduos ricos em carbono, como, o material seco lenhoso (podas de árvore e das silvas), que já havia passado pela trituração, com o objetivo de reduzir o tamanho das suas partículas, além das folhas secas, relva seca, etc. E os resíduos ricos em azoto, como relva fresca, relva verde, folhas verdes e os restos alimentares.



**Figura 18:** Compostor concluído: a) Estrutura interna do compostor; b) Estrutura modular utilizada no trabalho.

Todos os resíduos orgânicos utilizados no processo de compostagem, foram pesados antes de serem introduzidos nos compostores para se ter ideia da quantidade de resíduos dos diferentes tipos na realização das misturas. Foram montadas duas pilhas com diferença entre as duas da inclusão dos resíduos alimentares na pilha 2. Nestes dois tipos de pilha pretendeu-se verificar qual a influência da presença dos resíduos alimentares na qualidade do composto final. O terceiro módulo não foi utilizado no presente trabalho, ficando reservado para guardar alguns equipamentos utilizados no processo da compostagem.

Na Tabela 4 pode ver-se a caracterização dos materiais selecionados para o processo de compostagem em termos de propriedades mais relevantes para as misturas no cálculo das misturas. Os resultados apresentados a seguir, deve-se as amostras levadas para o laboratório.

**Tabela 4:** Caracterização dos resíduos usados na compostagem.

Identificação	Humidade (%)	Carbono (%)	Azoto (%)	C/N
Material seco lenhoso <sup>(1)</sup>	27,6	56,48	0,58	98,06
Folhagem seca (folhas, silvas) <sup>(2)</sup>	28,5	52,52	1,56	33,67
Aparas de relva verde <sup>(3)</sup>	67,8	49,80	2,72	18,31
Folhagem verde <sup>(4)</sup>	63,8	55,00	2,89	19,03
Restos de alimentos <sup>(5)</sup>	71,1	29,25	2,23	13,18

Os materiais apresentaram um teor de carbono muito semelhante. A exceção vai para os restos alimentares com o menor valor (29,25%), materiais aplicados apenas na pilha 2. Outro valor em destaque é o menor teor de azoto do material seco lenhoso. Por este motivo a decisão foi de aplicar os materiais secos e verdes em partes iguais: Cada parte de secos era constituída por meia parte de material lenhoso (1) e meia parte de folhagem seca de natureza diversa (2). Não se fez distinção entre os materiais verdes (aparas de relva e folhagem verde (materiais 3 e 4) considerados equivalentes. Desta forma, e considerando os valores de humidade dos resíduos, a mistura fica com um teor médio de humidade à volta de 47%, valor a corrigir com a adição de água.

#### 4.8 Pesagem dos materiais e enchimento da composteira

Para o enchimento dos compostores os materiais foram previamente pesados com o auxílio de um balde com volume de 20 L e uma balança digital, modelo da Sanda SD-0223. A pesagem era feita após enchimento do balde que era levantado pelo gancho da balança afim de se registar o peso dos resíduos (Figura 19).

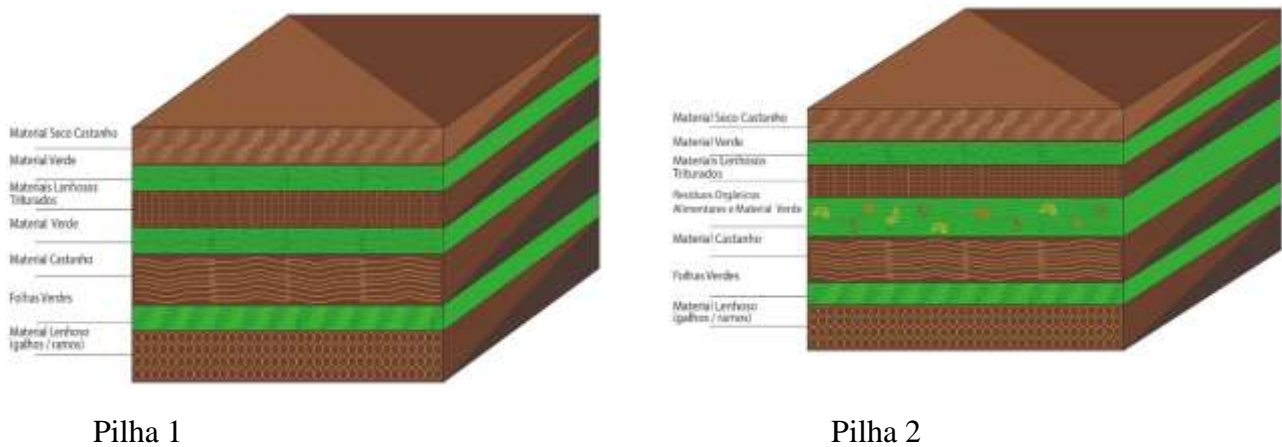


**Figura 19:** Pesagem dos materiais utilizados: (a) Balança, (b) Pesagem dos materiais.

Dentro do módulo preparou-se uma base com cerca de 3 cm de espessura no fundo do compostor com o material lenhoso, como os ramos disponíveis na área em estudo. Estes foram colocados diretamente no solo aplanado. O objetivo foi que exercessem uma função de estrutura para impedir a compactação dos resíduos sobrepostos, bem como para facilitar o arejamento e o processo de drenagem evitando o encharcamento e ainda permitindo a penetração de ar pela parte inferior da pilha.

Os resíduos recolhidos e acondicionados, foram transportados até o local da compostagem de forma braçal, com o auxílio de um carrinho-de-mão. Vale relembrar que os materiais secos lenhosos por serem de difícil biodegradação, antes de serem introduzidos foram fracionados/cortados em pequenos pedaços, cerca de 3 a 7 cm de modo a permitir um aumento da superfície específica, e também acelerar no processo de decomposição.

Os materiais orgânicos utilizados na compostagem (verdes e castanhos) foram dispostos alternadamente, em camadas, até formar uma pilha de aproximadamente 1 m (Figura 20).



**Figura 20:** Sequência de materiais verdes e castanhos nas pilhas 1 e 2.

A montagem da pilha 1 teve início no dia 14 de junho de 2021, e foi finalizada no dia 18 de junho de 2021. Na semana da montagem da pilha 1 estava a chover na região do estudo, dificultando um pouco na sua finalização. Desta forma, os materiais foram colocados como já citado, alternadamente em camadas, até a altura desejada. Esses resíduos eram essencialmente os resíduos castanhos (resíduos secos lenhosos, restos de silvas, folhas secas, relva seca, e resíduos verdes (folhas verdes, relva verde e relva fresca), como demonstrado na figura 21.



**Figura 21:** Montagem do módulo 1 com materiais verdes e castanhos.

A montagem da pilha 2 teve início no dia 05 de julho de 2021. A sequência de montagem foi semelhante à da pilha 1 mas foram adicionados resíduos orgânicos alimentares, como, restos de frutas, legumes, casca de ovo, borra de café, etc (Figura 22).



**Figura 22:** Montagem do módulo 2.

As camadas foram feitas com espessuras aproximadamente iguais. Na última camada ficaram materiais orgânicos castanhos, ricos em carbono, com o intuito de evitar a entrada e a proliferação de bichos e insetos em geral, assim como problemas relacionados com maus odores. Na tabela 5 podem ver-se as quantidades totais de resíduos incorporadas em cada um dos módulos.

**Tabela 5:** Resíduos introduzidos nos módulos 1 e 2.

<b>Módulo 1</b>	
<b>Tipo de resíduos</b>	<b>Massa (kg)</b>
Castanho- Material seco lenhoso	38,21
Verde- Folhas verdes	23,06
Castanho- Restos de silvas e folhas secas	22,83
Verde- Aparas de relva verde/relva fresca	39,19
Peso dos resíduos castanhos	61,04
Peso dos resíduos verdes	62,25
<b>Total de Resíduos no Módulo</b>	<b>123,29</b>
<b>módulo 2</b>	
<b>Tipos de resíduos</b>	<b>Massa (kg)</b>
Castanho- Material seco lenhoso	27,87
Verde- Restos alimentares	34,90
Castanho- Restos de silvas e folhas secas	34,17
Verde- Aparas de relva verde/relva fresca	32,52
Peso dos resíduos castanhos	62,04 kg
Peso dos resíduos verdes	67,42 kg
<b>Total de Resíduos no Módulo</b>	<b>129,46 kg</b>

A correção do teor de humidade nas pilhas foi feita de acordo com a fórmula usada por Batista & Batista (2007).

$$z = \frac{Hb' - H}{H - Ha'}$$

em que:

z – quantidade de água necessária para ajustar o teor de humidade por cada kg da mistura

Hb' - % de humidade da mistura

Ha' - % humidade da água

H - % de humidade pretendida

Assim, tendo como exemplo a pilha 1 que tinha 123,29 kg de resíduos e um teor médio de humidade de 47%, a quantidade de água a adicionar para um valor adequado de 55% seria:

$$z = \frac{47 - 55}{55 - 100}$$

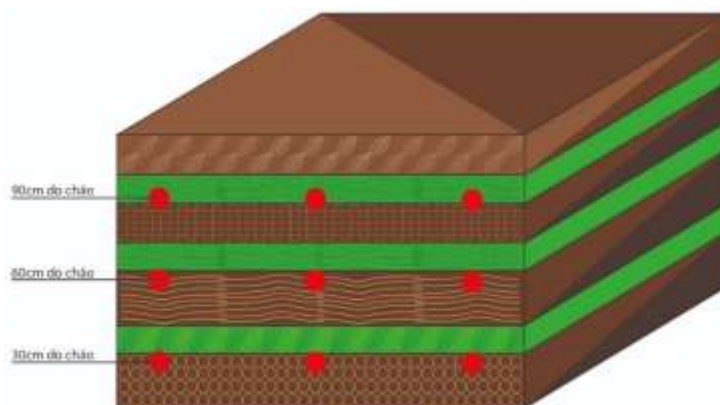
o valor z, ou seja, a quantidade de água a adicionar a cada kg da mistura é de 0,18 kg. Na pilha aplicam-se 123,29 x 0,18 kg de água o que dá 22,2 kg ou 22,2 litros de água.

#### 4.9 Monitorização do processo de compostagem

Os dois módulos foram acompanhados durante todo o processo de compostagem. A medição da temperatura na pilha 1 teve início desde o primeiro dia da sua montagem (18 de junho), e assim ocorreu diariamente até o dia 22 de julho. A partir dessa data as medições começaram a ser realizadas três vezes na semana durante todo o mês de agosto. Em setembro as temperaturas já estavam próximas da temperatura ambiente, então, as medições ocorreram de maneira mais esporádica, até o período de estabilização e maturação do composto, mês de outubro.

As medições da temperatura da pilha 2 tiveram início no dia 07 de julho, a partir do primeiro dia que estava completo com os materiais. As medições ocorreram diariamente até o dia 24 de julho. A contar dessa data, eles ocorreram três vezes por semana, juntamente com as medições da pilha 1. E a partir do mês de setembro até outubro também foram feitos em momentos pontuais, normalmente, quando observava uma necessidade, por exemplo quando sentia que a pilha estava muito seca (teste da esponja) e após os reviramentos.

As temperaturas eram medidas em 9 pontos das pilhas, os primeiros a 30 cm da base, no meio a 60 cm, e os últimos, na parte superior da pilha a 90 cm do solo (Figura 23).



**Figura 23:** Esquema de medição da temperatura nas pilhas.

No decorrer do processo, em função da diminuição do volume da pilha, as medições continuaram sendo realizadas nos 9 pontos, entretanto, com uma distância do solo que se alterava com o decorrer do processo.

As temperaturas foram medidas com um auxílio de um termômetro digital, modelo Hanna HI145-20 (Figura 24).



**Figura 24:** Termômetro utilizado nas medições.

Os revolvimentos foram realizados nas duas pilhas, com o objetivo de introduzir mais oxigênio e homogeneizar os compostos. Na pilha 1 foram realizados seis reviramentos até o início do mês de outubro. O primeiro foi feito um pouco antes de completar um mês, desde a data da sua montagem (11 de julho). Os restantes foram efetuados com intervalos de aproximadamente 20 dias. A partir do mês de outubro, os reviramentos foram realizados com mais frequência, a fim de acelerar o processo de decomposição, principalmente dos materiais secos lenhosos, sendo realizado até meados de novembro um total de dez reviramentos durante o processo.

Na pilha 2 foram feitos cinco reviramentos, até o mês de outubro, sendo o primeiro realizado um mês e meio após a sua montagem. Os restantes também foram feitos com intervalos parecidos com o da pilha 1, totalizando nove reviramentos até o mês de novembro. Para auxiliar nos reviramentos foi utilizado um equipamento conhecido como forquilha, com o qual conseguia revirar e homogeneizar os materiais em compostagem com mais facilidade (Figura 25).



**Figura 25:** Processo de reviramento do material nas pilhas.

Tratando-se de compostores domésticas, o controlo da humidade foi feito recorrendo ao teste “esponja”.

Durante o processo ocorre perda de água nos lixiviados produzidos e por evaporação, dado que a compostagem decorreu no verão. Para avaliar a necessidade de correção do teor de humidade utilizou-se o “teste da esponja”, que consistiu em pegar uma certa quantidade do material do interior do compostor e apertar com a mão. O ideal era sentir uma certa humidade entre os dedos, ao espremer o material, sem que pingasse demasiada água (Figura 26).



**Figura 26:** Avaliação do teor de humidade do composto usando o teste da esponja.

Sempre que era notada falta de humidade era acrescentada água até se sentir humidade no material quando era apertado, como se vê na (Figura 26).

#### **4.10 Coleta das amostras**

Para a amostragem e a avaliação de alguns parâmetros relacionados com a qualidade do composto, fizeram-se duas colheitas de amostras:

- Primeira amostra- As primeiras amostras de cada módulo (pilha 1 e pilha 2) foram recolhidas no dia 21 de setembro (2021), após 96 dias de início do processo de compostagem da pilha 1 e após 77 dias da montagem da pilha 2. Antes das amostras serem recolhidas foi realizado um reviramento do composto em ambas as pilhas, com o objetivo de homogeneizar o material em compostagem. As amostras foram recolhidas em sacos plásticos, devidamente identificados, pesadas na balança utilizada

no presente trabalho (valores entre 500 e 600 g) e foram posteriormente levadas para o Laboratório de Análises de Solos e Plantas da Escola Superior Agrária de Bragança, sendo pesadas em uma balança para registo do seu peso (Figura 27). Em seguida, foram conduzidas para uma estufa de ventilação forçada com o objetivo de avaliação do seu teor de humidade, determinado após o registo do peso seco das amostras. A determinação das características do composto seco foi feita após moagem do composto num moinho Cyclotec com um crivo de malha de 1 mm.



**Figura 27:** Primeira amostra no laboratório.

- Segunda amostra- As segundas amostras (pilha 1 e pilha 2) foram recolhidas no dia 18 de novembro (2021). Foi realizado um reviramento do composto em ambas as pilhas, com o objetivo de homogeneizar o material em compostagem. As amostras (valores entre 500 e 600 g) foram recolhidas da mesma maneira realizada na recolha da primeira amostra, e posteriormente foram levadas para o Laboratório de Análises de Solos e Plantas da Escola Superior Agrária de Bragança. Entretanto não consta os resultados dessas amostras no presente trabalho, devido ao tempo de finalização do mesmo.

#### **4.11 Determinações**

As determinações analíticas efetuadas no composto seguiram as metodologias em vigor no Laboratório de Análises de Solos e Plantas da Escola Superior Agrária de Bragança.

Foram determinados os elementos carbono (C), azoto (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), que são elementos que se encontram em maior proporção nos vegetais, normalmente designados de macronutrientes. Entre os micronutrientes foram

determinados: boro(B), cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn) e manganês (Mn). Foram determinadas também as concentrações de metais pesados como o níquel (Ni), cádmio (Cd), chumbo (Pb) e crómio (Cr), uma vez que se trata de metais monitorizados normalmente para avaliar e classificar a qualidade do composto.

De forma breve, as metodologias analíticas relativas à quantificação dos nutrientes foram as seguintes:

*Determinação do carbono:* O carbono foi determinado pelo método gravimétrico que consiste na diferença de peso antes e depois da ignição da amostra a 450°C durante 6 horas. A perda do mesmo está diretamente relacionada com constituintes da matéria orgânica (Carbono, oxigénio e hidrogénio). O valor do carbono é determinado dividindo o valor de matéria orgânica pelo fator 1,72, correspondente ao teor médio de 58% de carbono na matéria orgânica, a estimativa usada pelos laboratórios de análises de solos e plantas.

*Determinação do azoto:* O azoto foi determinado pelo método Kjeldahl que envolve 2 passos: a digestão da amostra para converter o azoto orgânico em ião amónio ( $\text{N-NH}_4^+$ ) e determinação deste ião na amostra digerida. A digestão foi conduzida a 400 °C com ácido sulfúrico num bloco de alumínio. O ião  $\text{NH}_4^+$  é determinado pela recolha de  $\text{NH}_3$  libertado por destilação do digerido com uma base (NaOH) e avaliado numa titulação com ácido bórico.

*Os restantes elementos:* Os restantes elementos (P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Zn, Mn, Ni, Cd, Pb e Cr) foram determinados por metodologias próprias após a digestão das amostras com ácido nítrico num digestor por microondas. O fósforo foi determinado por espectrofotometria após desenvolvimento de uma cor azul associada a um complexo fosfomolibdato de amónio e os cátions foram todos determinados por espectrofotometria de absorção atómica.

*Determinação do boro:* O boro foi determinado após a queima de uma amostra do composto (1 g) com ácido de cálcio (CaO) 0,10 g a 500 °C durante 90 minutos. As cinzas foram dissolvidas com uma solução sulfúrica e a concentração de boro foi determinada pelo método colorimétrico Azometina-H.

*Determinação do pH e condutividade:* pH e a condutividade do composto foram determinados de acordo com a norma ISO 10390. Preparou-se uma mistura 1:5 (massa/volume) de composto e água, agitado durante 5 minutos a 180 balanços por minuto. Após esta agitação a suspensão ficou em repouso cerca de 2 horas e o pH foi medido no sobrenadante. No mesmo

extrato foi determinado a condutividade com o objetivo de avaliar a presença de sais em excesso.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Caracterização da matéria-prima depositados no início do estudo. (Resultados das análises realizadas em laboratório)

Os resultados ao teor de humidade, carbono e azoto dos materiais usados na produção do composto encontram-se já na tabela 4. Nas tabelas 6, 7 e 8 encontram-se os resultados dos macronutrientes, micronutrientes e metais pesados destes materiais.

**Tabela 6:** Caraterização dos resíduos usados na compostagem (macronutrientes)

Identificação	Fosforo (%)	Potássio (%)	Cálcio (%)	Magnésio (%)
Material seco lenhoso	0,02	0,28	0,48	0,06
Folhagem seca (folhas, silvas)	0,08	0,37	0,73	0,15
Aparas de relva verde	0,38	3,19	1,12	0,23
Folhagem verde	0,27	1,14	0,90	0,12
Restos de alimentos	0,28	3,16	1,96	0,55

**Tabela 7:** Caraterização dos resíduos usados na compostagem (micronutrientes)

Identificação	Boro (mg kg <sup>-1</sup> )	Ferro (mg kg <sup>-1</sup> )	Manganês (mg kg <sup>-1</sup> )	Zinco (mg kg <sup>-1</sup> )	Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )
Material seco lenhoso	15,63	11,79	162,49	20,46	4,71
Folhagem seca (folhas, silvas)	21,83	1068	229	186,87	10,62
Aparas de relva verde	22,71	974,5	169,85	63,32	15,22
Folhagem verde	17,93	102,3	431,48	191,9	10,99
Restos de alimentos	21,45	2230	116	55,93	16,93

**Tabela 8:** Caraterização dos resíduos usados na compostagem (metais pesados)

Identificação	Cádmio (mg kg <sup>-1</sup> )	Crómio (mg kg <sup>-1</sup> )	Chumbo (mg kg <sup>-1</sup> )	Níquel (mg kg <sup>-1</sup> )
Material seco lenhoso	2,53	3,27	5,51	24,31
Folhagem seca (folhas, silvas)	2,97	2,07	4,17	27,53
Aparas de relva verde	3,12	6,32	6,14	28,30
Folhagem verde	3,23	1,17	6,15	29,6
Restos de alimentos	0,28	9,05	14,59	5,95

De uma forma geral os valores encontrados estão dentro do que é esperado para este tipo de materiais. As diferenças verificadas, por exemplo nos macronutrientes, estão relacionadas

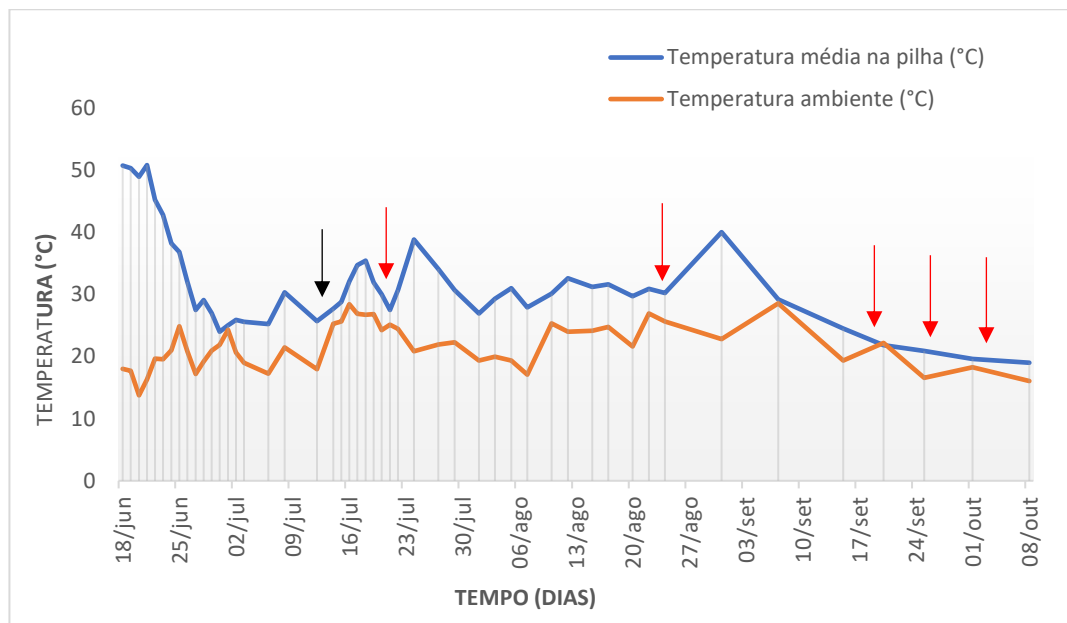
com a natureza dos tecidos. Em geral, os tecidos lenhificados contêm concentrações menores em nutrientes do que os tecidos verdes (Santos, 2015).

## 5.2 Evolução da temperatura durante o processo de compostagem

A temperatura influencia no desenvolvimento dos microrganismos decompositores durante as fases de decomposição do material orgânico.

A temperatura ambiente e a temperatura das pilhas foram monitorizadas durante o processo de compostagem. Utilizando o *Microsoft Excel*, calculou-se a média das temperaturas nas duas pilhas, usando os nove pontos medidos regularmente. Também foi realizado o registo diário da temperatura ambiente.

A evolução da temperatura média registada nos pontos, bem como, a temperatura ambiente, os arejamentos e reviramentos realizados são apresentados a seguir (Figura 28).



**Figura 28:** Evolução da temperatura média na pilha 1. A seta preta indica arejamento e as setas vermelhas indicam os reviramentos realizados durante o processo de compostagem.

Registou-se um aumento inicial da temperatura nos primeiros dias do processo, logo após a montagem da pilha 1 (18/06 até 22/06), com as temperaturas médias nos 3 locais de medição (base, meio e no topo) da pilha superiores 45°C, com valores variando entre 45,2 °C e 50,7 °C. Este aumento da temperatura ocorreu devido a ação microbiana e pelo aumento da atividade metabólica dos microrganismos existentes nessa fase termofílica (temperaturas > 45 °C). Na

parte superior da pilha as temperaturas variaram entre 38,4°C e 59°C. Na zona intermédia registaram-se valores entre 41°C e 63,4°C, e na base da pilha, os valores registados situaram-se os 38,5°C e 56,3°C, com os valores mais elevados registados no centro da pilha.

Após essa fase iniciou-se a fase mesofílica (temperaturas < 45 °C), onde foram registados valores característicos de temperatura referentes a essa fase. As temperaturas médias nos pontos de medição variaram aproximadamente entre 20°C a 42,8 °C. Tratando-se das temperaturas mínimas e máximas, durante essa fase, registadas nos pontos de medição, variaram entre 18,3 °C a 55,2°C. Percebeu-se que na fase mesofílica, as temperaturas no topo da pilha variaram entre 21,7 °C a 44,5 °C, as da posição intermédia variaram entre 22 °C a 55,2 °C e as da base variaram entre 18,3 °C a 40,3 °C. Praticamente em todo o tempo, as temperaturas médias na pilha, foram registadas acima da temperatura ambiente, demonstrando assim, a intensa atividade microbiana na decomposição da matéria orgânica.

Posteriormente a esta fase, ocorreu uma diminuição gradual da temperatura até atingir a estabilização, com temperaturas bem próximas da temperatura ambiente.

A cada reviramento, ocorreu a introdução de oxigénio na pilha em compostagem, resultando em um aumento da temperatura, aos quais estão relacionados com a variação na atividade microbiana, como demonstrado na (figura 28). As setas em vermelho, demonstram um aumento considerável da temperatura logo após o arejamento e os reviramentos realizados durante o processo. Vale ressaltar, que durante o processo houve o aparecimento de organismos diferentes na massa em compostagem, que posteriormente acabaram por desaparecer.

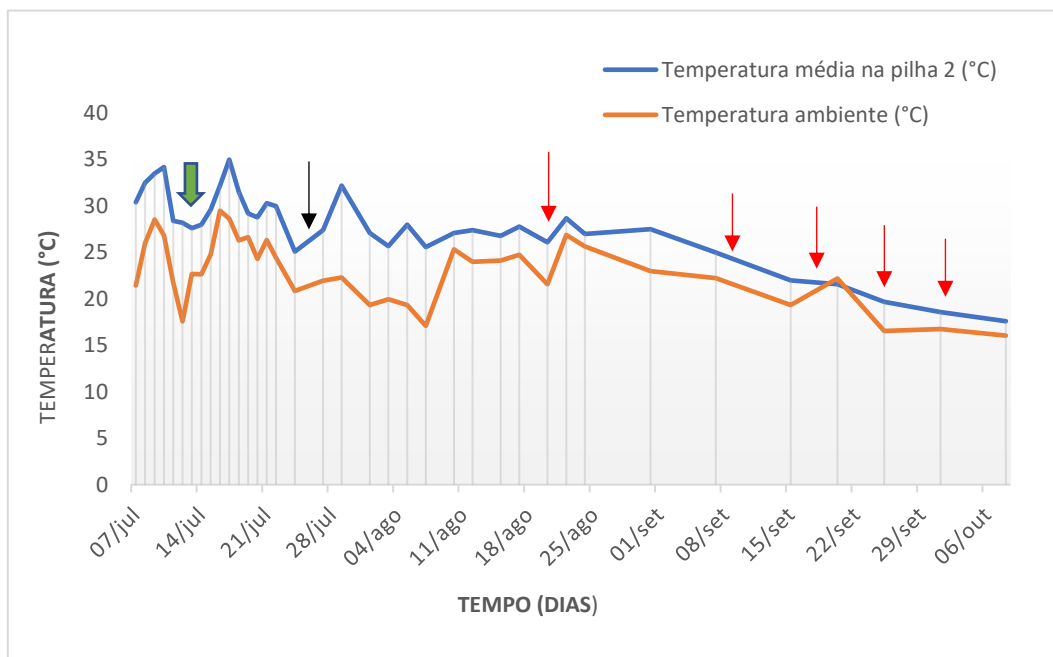
Na primeira semana de compostagem não foi necessário realizar a rega na pilha 1, pois foi um período chuvoso na área em estudo, onde houve a entrada de uma certa quantidade de água na composteira, sendo a primeira rega realizada no dia 07/07, e os restantes quando se notava que a pilha estava seca (teste da esponja), no total foram realizadas 13 regas durante o processo. Como citado anteriormente, nos primeiros dias de compostagem, observa-se um aumento considerável da temperatura (fase termofílica) e depois as temperaturas diminuem de maneira relevante, sendo necessário realizar um arejamento na pilha (dia 11 de julho), e assim, observa-se uma elevação na temperatura média (35,4 °C). No dia 21 de julho foi realizado o primeiro reviramento do material, ocorrendo outra elevação na temperatura, atingindo uma temperatura média de 38,8 °C (Fase mesofílica).

O segundo reviramento foi realizado no dia 27 de agosto, resultando em uma nova elevação da temperatura média na pilha, atingindo 40 °C. Em seguida, foram realizados outros

3 reviramentos na pilha (21/09, 28/09, 03/10) e assim sucessivamente durante o mês de outubro, com intervalos curtos, a fim de fornecer oxigenação na massa e acelerar o processo de decomposição, principalmente dos materiais mais resistentes (resíduos secos lenhosos). Observa-se nessa fase (setembro e outubro) que as temperaturas estão muito próximas da temperatura ambiente, com um registo máximo de 29 °C e mínimo de 19 °C, apontado no dia 08 de outubro, demonstrando assim, um período de estabilização e maturação do composto.

As medições da temperatura na pilha 2, tiveram início no dia 07 de julho, após a finalização da montagem da pilha. Vale ressaltar que nessa pilha, houve a introdução dos resíduos orgânicos alimentares, como, restos de vegetais, frutas, legumes, etc. O comportamento da temperatura média durante o processo de compostagem, assim como as respetivas variações da temperatura ambiente, bem como, os reviramentos realizados, estão demonstradas na (Figura 29).

Um aumento inicial de temperatura ocorre nos primeiros dias de compostagem. Derivado do aumento da população microbiana, e da atividade metabólica ali existente. A fase termofílica acontece nesse período. Apesar da temperatura média não ter atingido valores superiores a 45°C, foram registados em diversos pontos no decorrer do processo, temperaturas máximas próximas ou superiores a esse valor. No dia 12/07 observou-se uma queda na temperatura, e a partir de análise física, verificou-se que a pilha estava demasiada seca. Sendo assim realizado um arejamento inicial e introdução de novos resíduos verdes (relva fresca, restos alimentares) e uma quantidade razoável de material seco. Sendo possível registar uma elevação na temperatura, com temperaturas médias atingindo os 35°C. Sendo a temperatura máxima registada durante o processo.



**Figura 29:** Comportamento da temperatura média na pilha 2 durante o processo de compostagem. A seta verde indica a introdução dos restos alimentares na pilha, a seta preta o arejamento e as setas vermelhas indicam os reviramentos realizados durante o processo.

Durante o mês de julho observa-se uma variação da temperatura média na pilha de 35°C a 25 °C. Em agosto registou-se uma média de temperatura em torno de 28 °C a 25 ,6 °C. E no período de estabilização do composto, em finais de setembro e outubro, as temperaturas baixaram progressivamente chegando próximas da temperatura ambiente.

A introdução dos materiais verdes no compostor, gerou um impacto bastante acentuado, no que se trata, da elevação da temperatura no interior da pilha. Os materiais colocados permitiram um registo térmico interno elevado, destacando-se a as temperaturas no centro da pilha. Este aumento deve-se aos tipos de resíduos introduzidos no processo, pois, os mesmos, acabaram por favorecer no desenvolvimento dos microrganismos na massa em compostagem.

Através da observação da figura anterior, constata-se que a temperatura no início do processo, encontrava-se na fase termofílica (temperaturas > 45 °C). A pilha 2 teve como temperatura máxima registada, na zona intermédia de 50,4 °C (10/07), ou seja, no centro da pilha e temperatura mínima de 17,4 °C (08/10) registada no final do processo. Em julho (13/07) foi registado uma temperatura mínima 20,3 °C, na zona inferior, ou base da pilha e máxima de 50,4 °C, como citado anteriormente. No mês de agosto registou-se uma temperatura máxima de 33 ,4 °C no dia 05/08 na zona intermédia, e uma temperatura mínima de 22 °C (07/08) na zona superior da pilha. Em setembro foram registadas temperaturas mínimas e máximas

variando de 28,5 °C a 20,6 °C. E no mês de outubro muito próximas da temperatura ambiente, com uma média de registo máximo a volta de 19,4 °C e mínimo de 17,4 °C.

Na fase mesofílica (temperaturas < 45 °C), na parte superior da pilha as temperaturas variaram entre 21,7 °C e 44,5°C. Na zona intermédia registaram-se valores entre 22,5 °C e 50,4 °C, e na base da pilha, os valores registados situaram-se entre 20,5 °C e 38°C.

Na pilha 2 foram realizados um arejamento inicial (26/07), seguido de cinco reviramentos principais (21/08, 15/09, 21/09, 28/09, 03/10), e assim, continuamente, até meados do mês de outubro, a fim de auxiliar na oxigenação e acelerar a degradação final dos materiais. Sendo possível observar uma elevação considerável na temperatura, até o mês de setembro. Pois, observa-se que após esse período a temperatura na pilha não oscila em relação a temperatura ambiente. Tratando-se das regas, foram realizadas 11 regas, a fim de manter a pilha húmida, efetuadas a partir das necessidades durante o processo.

A partir dos dados obtidos e registados nas figuras anteriores, percebeu-se que a pilha 1 destacou-se com temperaturas médias, bem como, com as temperaturas mínimas e máximas superiores que as médias atingidas na pilha 2. Isto pode ter ocorrido devido à altura e a quantidade de materiais introduzidos em cada módulo, a pilha 2 recebeu uma quantidade total de materiais inferior que a pilha 1, devido a disponibilidade, principalmente de material seco castanho para a conclusão da sua montagem, não alcançando 1 m, como a pilha 1. A pilha 2 teve aproximadamente 90 cm de altura. Entretanto, percebeu-se uma similaridade entre o comportamento da temperatura durante o processo, de um modo geral.

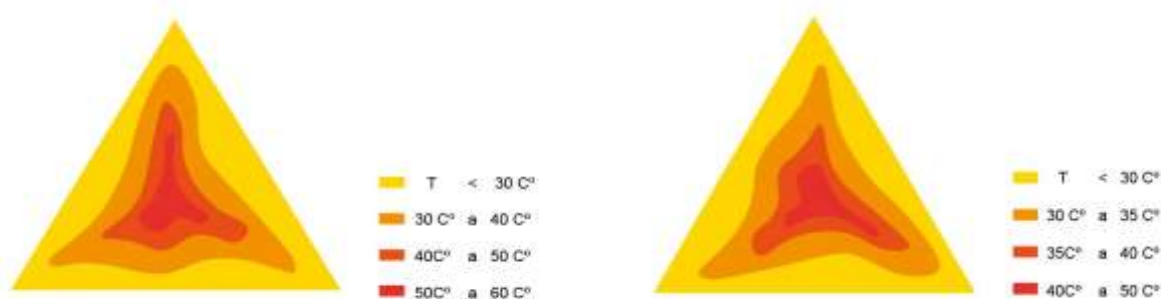
Destaca-se que no início da decomposição dos resíduos orgânicos, sempre há uma elevação térmica dos materiais em compostagem. Neste estudo, a fase termofílica não permaneceu por um longo período. Os gráficos relativos ao comportamento da temperatura nas duas pilhas mostraram oscilações no decorrer do processo, que pode ser explicado, por exemplo pelas condições meteorológicas, pelo processo de compostagem ter sido realizado ao ar livre. De facto, a evolução da temperatura mínima e máxima também registaram algumas variações durante o período de compostagem das pilhas.

Através da observação dos gráficos, das análises físicas durante o processo de compostagem nas duas pilhas, observou-se que houve uma homogeneização e uma decomposição significativa dos materiais, assim como, a cor, o cheiro, e ainda, na redução da massa e do volume dos materiais, indicando que o processo ocorreu de maneira desejável.

### 5.3 Gradiente térmico nas pilhas

Sabe-se que quando o processo de compostagem ocorre de maneira aeróbia, as temperaturas na pilha, tendem a desenvolverem-se do interior para o exterior com um gradiente térmico decrescente (Russo, 2004).

Levando em conta que a temperatura otimiza o processo, o registo das temperaturas na pilha 1 e 2 foram realizados em vários pontos no seu interior, e no exterior (9 pontos). Sendo a temperatura mais elevada normalmente no centro e na região superior da pilha. Sendo as temperaturas mais altas registadas nos primeiros dias do processo (Figura 30 e 31).



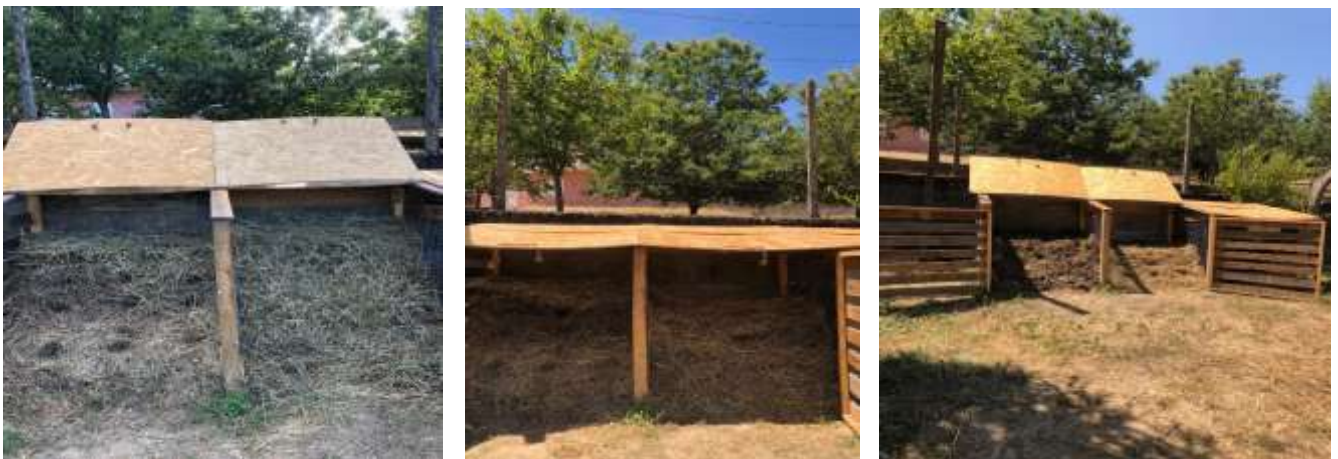
**Figura 30:** Perfil da temperatura na pilha 1.      **Figura 31:** Perfil da temperatura na pilha 2.

Percebeu-se através dos registos realizados durante o processo de compostagem, que as temperaturas mais elevadas na pilha 1 se desenvolveram geralmente do interior da pilha para o exterior, registando as temperaturas mais altas no centro e na parte superior da pilha, com valores variando nas camadas superiores da pilha entre  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  e no centro atingindo valores de  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  até os  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , principalmente nos primeiros dias do processo (temperaturas mínimas e máximas).

As temperaturas na pilha 2 também expressaram um comportamento como um gradiente térmico decrescente. Com registos de temperaturas mais elevadas do centro para o exterior da pilha. A pilha 2 não atingiu temperaturas tão altas como a pilha 1, mas, sendo os valores mais altos atingidos no centro da pilha, com uma variação de  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , alcançados nos primeiros dias do processo. Do centro para as camadas superiores e exteriores as temperaturas variaram de  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . As temperaturas mais elevadas atingidas nas duas pilhas permitiram que ocorresse o a decomposição dos resíduos orgânicos e a sua higienização.

#### 5.4 Redução da massa e do volume durante o processo

No início do processo da compostagem, foram introduzidos na pilha 1, um total de 61,04 kg de resíduos castanhos e 62,25 kg de resíduos verdes (123,29 kg de resíduos). Já na pilha 2 foram colocados um total de 62,04 kg de materiais castanhos e 67,426 kg de materiais verdes (129,46 kg de resíduos). Observou-se durante o processo uma redução bastante relevante da massa e volume (Figura 32 e 33). Esta redução ocorre devido ao fato dos microrganismos ali presentes, consumirem carbono e oxigênio ao realizarem a decomposição da matéria orgânica. Nessa atividade microbiana, ocorre a geração de calor e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), além de vapor de água que são liberados para a atmosfera.



**Figura 32:** Material no início do processo de compostagem.

Devido a perda de  $\text{CO}_2$  e água, os materiais iniciais podem atingir metade do seu peso inicial, podendo-se concluir, que o processo de compostagem resulta na redução do volume e da massa da matéria-prima, transformando-os em um rico composto orgânico (Rynk,1992).

A Figura 33 apresenta o volume final dos resíduos nas pilhas 1 e 2. Em finais de setembro e no mês de outubro, tratando-se da fase de estabilização e maturação do composto, foi possível analisar uma redução significativa da massa e do volume correspondente à fase de estabilização do composto.



**Figura 33:** Material na fase final do processo de compostagem.

### 5.5 Composição do composto no final do processo

Na Tabela 9 pode ver-se o estado dos compostos das pilhas 1 e 2, 96 dias após o início do processo da pilha 1 e 77 dias após o início do processo na pilha 2. Essa diferença se dá ao fato que as pilhas foram montadas em datas diferentes (pilha 1 :18 de junho de 2021 e pilha 2: 07 de julho de 2021). O valor da razão C/N mostra que o composto está praticamente estabilizado já que este valor deverá andar à volta de 15 ou menos (Batista & Batista, 2007). Quando comparados os parâmetros com outros compostos do mercado (Tabela 10) pode ver-se que se trata de compostos muito equivalentes em termos de qualidade.

**Tabela 9:** Resultado dos parâmetros de qualidade dos compostos nas pilhas 1 e 2

Parâmetro	unidades	Pilha 1	Pilha 2
Humidade	%	70,7	69,7
Carbono (C)	%	34,95	29,2
Azoto (N)	%	2,32	2,34
Razão C/N		15,06	12,48
Matéria Orgânica	%	60,11	50,22
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,26	0,35
K <sub>2</sub> O	%	1,44	2,27
CaO	%	1,27	1,54
MgO	%	0,35	0,48
B	mg kg <sup>-1</sup>	24,49	29,15
Cu	mg kg <sup>-1</sup>	14,82	19,48
Zn	mg kg <sup>-1</sup>	92,71	124,4
Pb	mg kg <sup>-1</sup>	1,21	1,10
Cr	mg kg <sup>-1</sup>	10,91	21,72
Ni	mg kg <sup>-1</sup>	0,22	3,79
Cd	mg kg <sup>-1</sup>	0,29	0,32
pH (1/5 v/v)		6,92	7,11
Condutividade eléctrica (1/5 v/v)	mS cm <sup>-1</sup> (25°C)	1,90	3,78

**Tabela 10:** Comparação dos parâmetros do composto final com um composto semelhante no mercado

Parâmetro	unidades	Pilha 1	Pilha 2	Valores de um composto de mercado
Humidade	%	70,7	69,7	10,52 ± 1,95
Carbono (C)	%	34,95	29,2	29,15 ± 2,15
Azoto (N)	%	2,32	2,34	2,41 ± 0,21
Razão C/N		15,06	12,48	11,94 ± 1,01
Matéria Orgânica	%	60,11	50,22	52,47 ± 3,87
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0,26	0,35	1,49 ± 0,27
K <sub>2</sub> O	%	1,44	2,27	1,81 ± 0,14
CaO	%	1,27	1,54	1,5 ± 0,95
MgO	%	0,35	0,48	0,70 ± 0,07
B	mg kg <sup>-1</sup>	24,49	29,15	38,00 ± 1,00
Cu	mg kg <sup>-1</sup>	14,82	19,48	49,00 ± 18,19
Zn	mg kg <sup>-1</sup>	92,71	124,4	160,00 ± 34,64
Pb	mg kg <sup>-1</sup>	1,21	1,10	32,00 ± 8,72
Cr	mg kg <sup>-1</sup>	10,91	21,72	22,33 ± 3,79
Ni	mg kg <sup>-1</sup>	0,22	3,79	7,47 ± 2,03
Cd	mg kg <sup>-1</sup>	0,29	0,32	0,35 ± 0,11
pH (1/5 v/v)		6,92	7,11	8,68 ± 0,48
Condutividade eléctrica (1/5 v/v)	mS cm <sup>-1</sup> (25°C)	1,90	3,78	2,64 ± 0,61

\*Valores de mercado referentes as análises efetuadas ao composto da NUTRIMAIS (2015).

Vale ressaltar que os valores da pilha 2, tratando-se dos parâmetros analisados, estão mais semelhantes aos valores do composto de mercado NUTRIMAIS.

Considerando ainda os resultados dos metais pesados destes compostos e comparando-os com os do Decreto Lei 103/2015, que classifica os compostos com base no seu teor em metais pesados (Tabela 11) pode concluir-se que os compostos obtidos podem enquadrar-se na classe I, classe dos compostos autorizados para a agricultura biológica.

**Tabela 11:** Valores máximos admissíveis para os teores «totais» de metais pesados na matéria fertilizante com componentes orgânicos, por classe (miligramas por quilograma de matéria seca).

Parâmetro	Matéria fertilizante			
	Classe I	Classe II	Classe II A	Classe III
Cádmio (Cd).....	0,7	1,5	3	5,0
Chumbo (Pb).....	100	150	300	500
Cobre (Cu).....	100	200	400	600
Crómio (Cr).....	100	150	300	400
Mercúrio (Hg).....	0,7	1,5	3	5,0
Níquel (Ni).....	50	100	200	200
Zinco (Zn).....	200	500	1000	1500

Fonte: Adaptado do Diário da República, 1.ª série- N.º 114- (15 de junho de 2015).

## 6. CONCLUSÃO

A partir da metodologia proposta, os resíduos orgânicos (de exploração agrícola e restos alimentares) foram caracterizados e valorizados através do processo de compostagem. O processo possibilitou a redução do seu volume e a disposição desadequada em aterros. O processo de compostagem permitiu ainda, a transformação dos resíduos em um recurso valioso, possibilitando a produção de um composto adequado para usar no modo de produção biológica das culturas e adequado para uma agricultura regenerativa e biológica. A sua utilização contribui para a redução da dependência de recursos fertilizantes de síntese, tornando mais eficiente a atividade agrícola.

A partir dos resultados obtidos no trabalho, percebeu-se que a pilha 1 destacou-se com temperaturas médias, bem como, com as temperaturas mínimas e máximas em relação as médias atingidas na pilha 2.

Através da observação dos gráficos e das análises físicas durante o processo, observou-se que houve uma homogeneização e uma decomposição significativa dos materiais, indicando que o processo ocorreu de maneira desejável.

Este trabalho permitiu ainda reconhecer o modelo de composteira como adequado para uma exploração agrícola, fácil de construir, de custo reduzido, constituindo a sua construção mais um passo na sustentabilidade das explorações agrícolas.

## **7. PROPOSTAS / OPORTUNIDADE DE TRABALHO FUTURO**

### **7.1 Compostagem como ferramenta para a educação ambiental e a reciclagem dos resíduos orgânicos**

Sabendo que os restos alimentares podem ser valorizados e quando não são separados corretamente, são depositados em aterros, resultando em impactos negativos. Tenho como proposta, desenvolver um “projeto” de recolha porta a porta dos resíduos orgânicos. Onde irei selecionar algumas pessoas próximas, como familiares e vizinhos da Quinta. Visando um trabalho de educação ambiental e soluções sustentáveis para a reciclagem desses resíduos.

Em função do aprendizado desenvolvido neste trabalho, pretendo ainda, desenvolver um projeto com apoio e aprovação da CÂMARA MUNICIPAL DE TAROUCA e dos munícipes que demonstrem o interesse pela compostagem. Com a implementação de um compostor comunitária. A fim, da redução e reutilização dos resíduos orgânicos domiciliares (restos de alimentos, resíduos verdes de jardim), como uma forma de realizar um tratamento local e centralizado. A compostagem neste modelo surge como uma solução de tratamento local dos resíduos orgânicos, desempenhando um trabalho relacionado com a economia circular, reduzindo os custos e diminuindo também os impactos socioambientais associados ao descarte e destinação incorreta.

A compostagem pode ser aplicada em diversas escalas e modelos. Como em meios urbanos, apartamentos, restaurantes e empresas. Pensando nisso, e nas inúmeras maneiras de compostar. Pretendo ampliar futuramente o projeto da compostagem caseira/comunitária, para um modelo de compostagem que visa transformar em uma escala menor, os resíduos orgânicos em um fertilizante natural. Em um modelo baseado no processo de vermicompostagem. Sendo uma forma prática de acelerar o processo da compostagem. A grande vantagem desse modelo em relação a compostagem tradicional é que pode ser utilizada em pequena escala, como para um agregado familiar, empresas e restaurantes, de forma económica, prática e higiénica.

Tratando-se das empresas e restaurantes seria disponibilizado, uma possível contratação de consultoria ambiental. No âmbito da sensibilização, desenvolvimento do projeto e educação ambiental.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abd El Kader, N., Robin, P., Paillat, J. M., & Leterme, P. (2007). Turning, compacting and the addition of water as factors affecting gaseous emissions in farm manure composting. *Bioresource Technology*, 98 (14), 2619-2628.
- Batista, J. G. F., & Batista, E. R. B. (2007). *Compostagem: Utilização de compostos em horticultura*. Universidade dos Açores-CITA-A.
- Bidlingmaier, D. I. W. (1984). Quality-testing of waste sewage-sludge composts. *Composts as Horticultural Substrates* 172, 99-116.
- Brinck, R. R. L. (2020). *Compostagem: Ferramenta Sustentável de Educação Ambiental e Redução de Resíduos*. *Cadernos de Agroecologia*, 15(4).
- Brito, L. M. (2007). *Manual de compostagem da Escola Superior Agrária de Ponte Lima*. Escola Superior Agrária, Instituto Superior de Viana de Castelo.
- Brito, L. M. (2017). *Compostagem, fertilização do solo e substratos*. Publindústria, Edições Técnicas.
- Brito, M. J. C. (2008). *Processo de compostagem de resíduos urbanos em pequena escala e potencial de utilização do composto como substrato (Doctoral dissertation, Dissertação de Mestrado–Engenharia de Processos, Universidade Tiradentes, Aracajú, SE)*.
- Cordeiro, N. M. (2010). *Compostagem de resíduos verdes e avaliação da qualidade dos compostos obtidos-caso de estudo da algar SA (Doctoral dissertation, ISA)*.
- Cruz das Almas, B. A. (2005). *Compostagem Caseira de Lixo Orgânico Doméstico*.
- Cunha Queda, A. C. F. (1999). *Dinâmica do azoto durante a compostagem de materiais biológicos putrescíveis*.
- de Aquino, A. M., Oliveira, A. M. G., & Loureiro, D. C. (2005). *Integrando compostagem e vermicompostagem na reciclagem de resíduos orgânicos domésticos*. Embrapa Agrobiologia-Circular Técnica (INFOTECA-E).
- Demetrio, L. F. F., Nakagawa, D. H., de Sá Pinto, A. A., Presumido, P. H., Bertozzi, J., Michels, R. N., ... & Prates, K. V. M. C. (2016). *Compostagem em pequena escala de resíduos sólidos*

- de restaurante universitário associado a poda de árvores. In IN: CONGRESSO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Vol. 13, pp. 1-8).
- Diaz, L. F., & De Bertoldi, M. (2007). History of composting. In Waste Management Series (Vol. 8, pp. 7-24). Elsevier.
- Epstein, E. (2017). The science of composting. CRC press.
- Francou, C. (2003). Stabilisation de la Matière Organique au Cours du Compostage de Dechets Urbains : Influence de la nature des déchets et du procédé de compostage - Recherche d'indicateurs pertinents (Doutoramento). Institut National Agronomique Paris-Grignon, Paris-Grignon.
- Furedy, C. (2001). Reduzindo os riscos para a saúde do uso do lixo orgânico sólido urbano. Revista Agricultura Urbana, (3).
- Gonçalves, A., & Arrobas, M. (2010). Resíduos de jardim. Manual de Boas Práticas em Espaços Verdes, 153-156.
- Jimenez, E. I., & Garcia, V. P. (1989). Evaluation of city refuse compost maturity: a review. Biological wastes, 27(2), 115-142.
- Kiehl, E. J. (1998). Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto. Edmar José Kiehl.
- Massukado, L. M., & Schalch, V. (2010). Avaliação da qualidade do composto proveniente da compostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares. Revista DAE, 58, 9-15.
- Morel, J. L., Colin, F., Germon, J. C., Godin, P., & Juste, C. (1985). Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse compost. Composting of agricultural and other wastes/edited by JKR Gasser.
- Mustin, M. (1987). Le compost: gestion de la matière organique.
- Neves, J. S. (2017). Mecanismos de compostagem em hortas comunitárias: o caso das hortas urbanas do IPB (Doctoral dissertation).
- Oliveira, A., Sartori, H., & Garcez, B. (2008). Compostagem, Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Programa de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Piracicaba-SP.

- Oliveira, L. T. D. (2019). Compostagem doméstica: uma solução para os resíduos sólidos urbanos.
- Pereira-Neto, J. T., Stentiford, E. I., & Mara, D. D. (1987). Low cost controlled composting of refuse and sewage sludge. *Water Science and Technology*, 19(5-6), 839-845.
- Russo, M. A. T. (2003). Tratamento de resíduos sólidos. Universidade de Coimbra.
- Salvaro, E., Baldin, S., Costa, M. M., Lorenzi, E. S., Viana, E., & Pereira, E. B. (2007). Avaliação de cinco tipos de minicomposteiras para domicílios do bairro Pinheirinho da cidade de Criciúma/SC. *Revista Com Scientia*, 3(3), 12-21.
- Santos, J.Q. 2015. Fundamentos agroambientais da Utilização de adubos e corretivos. Publindústria. Porto.
- Silva, F. M. D. (2017). Diagnóstico e tratamento por compostagem dos resíduos sólidos orgânicos provenientes do mercado público do município de Pombal-PB.
- Slorach, P. C., Jeswani, H. K., Cuéllar-Franca, R., & Azapagic, A. (2019). Environmental and economic implications of recovering resources from food waste in a circular economy. *Science of The Total Environment*, 693, 133516.
- Trotta, P. (2011). A gestão de resíduos sólidos urbanos em Portugal. In *VII Congresso nacional de Excelência em Gestão* (Vol. 17).
- Wangen, D. R. B., & Freitas, I. C. V. (2010). Compostagem doméstica: alternativa de aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos. *Revista brasileira de agroecologia*, 5(2), 81-88.
- Weil, R.R., Brady, N.C. (2017). *The nature and properties of soils*. 15th edition, Pearson, London, England.

### **Webgrafia:**

- Agência Portuguesa do Ambiente (2019). Dados sobre Resíduos, disponível em URL: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=933&sub3ref=936>  
Acesso em: 4 de março de 2021.
- Agência Portuguesa do Ambiente (2019). Orientações-Biorresíduos. Disponível em URL: <https://eco.nomia.pt/contents/documentacao/2020-orientacoes-biorresiduos-v1.pdf>  
Acesso em: 07 de março de 2021.

Agência Portuguesa do Ambiente (2019). Política de Resíduos e Estudo Biorresíduos. Disponível em: [https://apambiente.pt/\\_zdata/Políticas/Residuos/EstudoBiorresiduos2019.pdf](https://apambiente.pt/_zdata/Políticas/Residuos/EstudoBiorresiduos2019.pdf). Acesso em: 1 de março de 2021.

Agência Portuguesa do Ambiente (2021). *Resíduos*, disponível em URL: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84>. Acesso em: 2 de março de 2021.

Compostagem doméstica APA (2021). Disponível em: [https://apambiente.pt/sites/default/files/\\_Residuos/Licenciamento/RG%20Compostagem\\_Dom%C3%A9stica\\_APA\\_29JUN2021.pdf](https://apambiente.pt/sites/default/files/_Residuos/Licenciamento/RG%20Compostagem_Dom%C3%A9stica_APA_29JUN2021.pdf). Acesso em: 22 de agosto de 2021.

Ellen MacArthur Foundation (2017). Disponível em: <https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/pt/economia-circular/conceito>. Acesso em: 15 de junho de 2021.

Guia de compostagem, Resíduos do Nordeste (2020). Disponível em: [https://www.cm-mirandela.pt/uploads/writer\\_file/document/1822/Guia\\_de\\_Compostagem.pdf](https://www.cm-mirandela.pt/uploads/writer_file/document/1822/Guia_de_Compostagem.pdf). Acesso em: 07 de setembro de 2021.

Relatório do Estado do Ambiente (2019). Produção e gestão de resíduos urbanos, disponível em URL: <https://rea.apambiente.pt/>. Acesso em: 4 de março de 2021.

Tera-ambiental. Afinal o que são resíduos biodegradáveis. Disponível em: <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/afinal-o-que-sao-residuos-biodegradaveis>. Acesso em: 12 de maio de 2021.