

Bruno Antunes da Silva Dionísio

**A VERMICOMPOSTAGEM COMO TÉCNICA DE
TRATAMENTO PARA OS RESÍDUOS DE CÂNHAMO**

Orientadora: Professora Doutora Cândida Leonor Pinto Rocha

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

Faculdade de Engenharia

Bruno Antunes da Silva Dionísio

A VERMICOMPOSTAGEM COMO TÉCNICA DE TRATAMENTO PARA OS RESÍDUOS DE CÂNHAMO

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente no curso de Mestrado em Engenharia do Ambiente, conferido pela Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias.

Orientadora: Professora Doutora Cândida Leonor Pinto Rocha

Nomeação do júri pelo despacho nº 199/2021 com a seguinte composição:

Presidente: Prof^ª Doutora Isabel Abreu dos Santos - ULHT

Arguente: Prof^ª Doutora Maria Albertina Raposo - IPB

Orientadora: Prof^ª Doutora Cândida Rocha - ULHT

Data da defesa: 21 de junho de 2021

VERSÃO FINAL

Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

Faculdade de Engenharia

Lisboa 2021

“Preocupe-se mais com os outros e estará também a cuidar de si”

Mark Hughes

Agradecimentos

Aos meus pais, mano e avós, por tudo na vida.

À Cândida pelo suspiro em setembro de 2017 que me fez perguntar sobre a oportunidade desta bela aventura e um obrigado por tudo o que aconteceu até hoje. Não estaria aqui se não fosse ela. Obrigado.

À professora Isabel A.S. pela sua contribuição, apoio e amizade desde o primeiro dia. Pela assertividade e o pensamento crítico e pela simpatia que tanto a representam.

À professora Anabela pela ajuda, acompanhamento e sofrimento partilhado com os alunos durante a vida académica. Sabemos que está sempre disponível quando precisamos.

Ao Carlos pela ajuda infinita no Excel. Foi essencial para não me perder nos registos.

A todos os professores da FE, principalmente ao Luís Alves, António Roque, Joana Lage, Adelino Soares, Adília Charmier e Joaquim Barbosa, que nos encaminham para este fim, fim este que é o início de algo.

Ao Gonçalo por estar sempre a dizer “já está quase” e ajuda na apresentação.

Ao André por me ajudar a “passear” o cânhamo pelo ISA. À Inês e à Jessica por estarem sempre “se for preciso diz”. E às vezes foi preciso. À Catarina pela ajuda no corte do cânhamo, sendo sempre o mais importante a companhia. Ao Pires pelas noites a trabalhar e pela sua amizade. À Daniela Abreu pela sua amizade e simpatia e por estar sempre lá para qualquer situação.

Aos meus amigos da Lusófona que estivemos a remar para o mesmo lado para chegarmos todos ao mesmo tempo. À Mara e à Juliana pelas horas na sala D.1.15. Ao João Costa pela “competição” saudável e pelos fantásticos trabalhos em equipa.

Aos meus primos e tia pela ajuda no corte do cânhamo e pela sua resiliência.

À Liliana da quinta das “7 irmãs” pela oferta do cânhamo e à Cantina da ULHT por oferecer os resíduos, sendo assim possível acontecer a experiência prática.

À ULHT por me deixar usar os seus laboratórios e equipamentos onde foi desenvolvido a experiência prática.

A todos os amigos, colegas, família que de uma forma ou de outra estiveram no meu percurso até chegar aqui.

Resumo

Comprovado cientificamente, os efeitos benéficos dos canabinóides presentes nas sementes da planta do cânhamo, traduz-se num aumento da procura desta planta para a indústria do CBD (canabidiol).

Nesta indústria as fibras do cânhamo são consideradas um resíduo e estão a ser direcionadas para aterros sanitários e incineração, quebrando assim o ciclo da matéria orgânica e gerando impactes ambientais desnecessários. As fibras do cânhamo têm uma qualidade excecional e estão a ser utilizadas na produção de têxteis e papel e a serem incorporadas nas matrizes de produtos em várias indústrias.

O objetivo deste trabalho é analisar a eficácia da técnica de vermicompostagem para o tratamento dos resíduos de cânhamo.

A parte experimental teve a duração de 160 dias onde se construiu um sistema de vermicompostagem utilizando minhocas da espécie *Eisenia fetida* alimentadas com resíduos de cânhamo e resíduos orgânicos biodegradáveis.

Os resultados da análise ao vermicomposto produzido, evidenciam uma relação linear negativa entre a quantidade de cânhamo e valor de pH, matéria orgânica e condutividade elétrica e uma relação linear positiva entre a quantidade de cânhamo e o teor de humidade e a fração grosseira do vermicomposto, revelando uma incompleta biodegradação. As conclusões permitem inferir que apesar de não se ter verificado a total biodegradação dos resíduos do cânhamo, é de esperar que a adição de materiais ricos em microrganismos (e.g., lixiviados, lamas de ETAR) permita uma maior eficácia da biodegradação pretendida.

Palavras chave: economia circular; resíduos de cânhamo; resíduos urbanos biodegradáveis; vermicompostagem.

Abstract

Scientifically proven, the beneficial effects of cannabinoids present in the seeds of hemp plant, translates into an increase in demand for this plant for the CBD (cannabidiol) industry.

In this industry, hemp fibers are considered waste and are being sent to landfills and incineration, thus breaking the organic matter cycle and generating unnecessary environmental impacts. Hemp fibers are of exceptional quality and are being used in the production of textiles and paper and are being incorporated into product matrices in various industries.

The objective of this work is to analyze the effectiveness of the vermicomposting technique for treatment of hemp residues.

The experimental part lasted 160 days where a vermicomposting system was built using *Eisenia fetida* earthworms fed with hemp residues and biodegradable organic residues.

The results of the analysis of the produced vermicompost show a negative linear relationship between the amount of hemp and pH value, organic matter and electrical conductivity and a positive linear relationship between the amount of hemp and the moisture content and coarse fraction of the vermicompost, revealing an incomplete biodegradation. The conclusions allow us to infer that although the complete biodegradation of hemp residues was not verified, it is to be expected that the addition of materials rich in microorganisms (e.g., leachate, WWTP sludge) will allow a greater efficiency of the intended biodegradation.

Key words: circular economy; hemp waste; biodegradable urban waste; vermicomposting.

Abreviaturas e siglas

AC	Alterações Climáticas
ACV	Análise de Ciclo de Vida
ALA	Ácido Alfa-Linoleico
C/N	Razão Carbono Azoto
CBD	Canabidiol
CBN	Canabinol
Covid-19	Doença provocada pelo Coronavírus SARS-COV-2
ETAR	Estação de Tratamento de Águas Residuais
EUA	Estados Unidos da América
GEE	Gases com Efeito de Estufa
LA	Ácido Linoleico
LNA	Ácido Linolênico
MO	Matéria Orgânica
NFC	Compósito Reforçado com Fibras Naturais
NFRP	Polímero Reforçado Com Fibras Naturais
PLA	Ácido Poliláctico
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
RUB	Resíduos Urbanos Biodegradáveis
SAR	Taxa de Absorção Específica
THC	Tetrahidrocanabinol
UE	União Europeia
ULHT	Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias

Símbolos

C	Carbono
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
CO _{2eq}	Dióxido de Carbono equivalente
H	Hidrogénio
O	Oxigénio

Índice

Agradecimentos.....	iv
Resumo	v
Abstract.....	vi
Abreviaturas e siglas	vii
Símbolos.....	vii
Índice	viii
Índice de Tabelas.....	xii
Índice de Figuras.....	xiii
Introdução.....	1
Enquadramento geral.....	1
Âmbito e Objetivos	2
Estrutura da Dissertação.....	3
1. Estado da Arte	4
1.1. Gestão de Resíduos - Transição para uma Economia Circular.....	4
1.2. O cânhamo: resíduo vs. produto.....	10
1.3. Constituição das fibras de cânhamo	17
1.4. Utilização de cânhamo em produtos.....	19
1.4.1. O cânhamo na construção	19
<i>Construção sustentável</i>	20
<i>Fibras de cânhamo na construção</i>	21
<i>Betão de cânhamo (hempcrete)</i>	22
<i>Vantagens e desvantagens do uso do cânhamo na construção</i>	23
1.4.2. <i>Cânhamo na indústria automóvel</i>	24
1.4.3. <i>Cânhamo para alimentação humana e o seu potencial nutricional</i> 25	
1.4.4. <i>Cânhamo na fabricação de papel</i>	28

1.4.5.	<i>A fibra do cânhamo no têxtil</i>	30
1.4.6.	<i>Cânhamo nos produtos cosméticos</i>	31
1.4.7.	<i>Cânhamo – óleos essenciais</i>	32
1.4.8.	<i>Cânhamo como reforço nos compostos de plástico</i>	32
1.4.9.	<i>Cânhamo na produção de biocombustíveis</i>	35
1.4.10.	<i>Domínios inovadores</i>	36
1.5.	<i>Vermicompostagem</i>	37
1.5.1.	<i>Vermicomposto</i>	39
1.5.2.	<i>Vermicompostagem vs. Compostagem</i>	40
1.5.3.	<i>Fração biodegradável</i>	41
1.5.4.	<i>Relação carbono/azoto (C/N)</i>	43
1.5.5.	<i>Minhocas - Eisenia fetida</i>	45
	<i>Excrementos de minhocas</i>	49
	<i>Lixiviado do vermicomposto</i>	49
1.5.6.	<i>Parâmetros físico-químicos</i>	49
	<i>Condutividade elétrica</i>	49
	<i>Humidade</i>	50
	<i>pH</i>	50
	<i>Temperatura</i>	51
2.	<i>Metodologia de Investigação</i>	52
3.	<i>Parte Experimental – Uso de Cânhamo na Vermicompostagem</i>	55
3.1.	<i>Materiais usados</i>	55
3.2.	<i>Cronograma</i>	56
3.3.	<i>Montagem do sistema de vermicompostagem</i>	57
	<i>Construção do sistema de gavetas</i>	57
3.4.	<i>Elementos introduzidos no sistema de vermicompostagem</i>	60
	<i>Minhocas</i>	60
	<i>Cartão, palha e água</i>	60
	<i>Alimentação do vermicompostor</i>	62

<i>Primeira alimentação</i>	63
<i>Cânhamo</i>	66
4. Apresentação de Resultados	69
4.1. Tipologia de resíduos e quantidade	69
4.2. Parâmetros de controlo: pH, temperatura e humidade	72
4.3. Apresentação de resultados ensaio a ensaio	78
4.4. Apresentação de incidências durante a parte experimental	80
i) <i>Minhocas ativas</i>	80
ii) <i>Alimentos não digeridos</i>	80
iii) <i>Presença de fungos e bolor</i>	81
iv) <i>Presença de insetos</i>	82
v) <i>Presença de casulos e nascimento de minhocas</i>	83
vi) <i>Óbitos de minhocas e perda de lixiviado</i>	85
4.5. Determinação do teor de matéria orgânica do vermicomposto	86
4.6. Determinação do teor de humidade do vermicomposto	87
4.7. Determinação eletrométrica do pH do vermicomposto	88
4.8. Determinação do valor da condutividade elétrica do vermicomposto	89
4.9. Determinação da fração > 63 µm e análise com a lupa binocular	90
5. Análise e Discussão de Resultados.....	92
5.1. Parâmetros de controlo.....	92
5.1.1. Valor de pH.....	92
5.1.2. Valor de temperatura.....	93
5.2. Análises finais do vermicomposto.....	94
5.2.1. Análise do valor de pH	94
5.2.2. Análise para determinação da matéria orgânica.....	96
5.2.3. Análise do teor de humidade do vermicomposto	98
5.2.4. Análise dos valores da condutividade elétrica e do teor da fração grosseira (> 63 µm)	99
5.2.5. Visão geral dos parâmetros analisados	102

6. Conclusões	103
Trabalhos futuros.....	107
Anexos.....	I
<i>Anexo I - Folha de Registo utilizada na parte experimental</i>	I
<i>Anexo II - Protocolo da determinação do teor de matéria orgânica</i>	II
<i>Anexo III - Protocolo da determinação eletrométrica do pH do vermicomposto</i>	III
<i>Anexo IV - Protocolo da separação da fração fina da grosseira por via húmida</i>	V
<i>Anexo V - Protocolo da determinação do teor de humidade</i>	VI
<i>Anexo VI - Cartaz de aviso colocado na zona onde se situava o sistema de vermicompostagem</i>	VII
<i>Anexo VII - Resultados obtidos na análise dos parâmetros: teor de humidade, teor de MO, fração grosseira e valor de pH</i>	VIII
<i>Anexo VIII - Matriz do fundo da gaveta do meio e da tampa</i>	X

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Composição química das fibras da planta do cânhamo.....	18
Tabela 2 - Valores ideais de parâmetros para acontecer a reprodução da espécie <i>Eisenia fetida</i> (Fonte: adaptado de Dominguez e Edwards, 2011, p. 37).....	47
Tabela 3 - Quantidades e materiais usados na parte experimental (produção própria)	55
Tabela 4 - Elementos e quantidade usados para alimentação do sistema de vermicompostagem e quantidade total (produção própria)	70
Tabela 5 - Valores de pH do vermicomposto, dos ensaios, medidos durante a experiência prática	74
Tabela 6 - Média por ensaio e média global do valor de pH do vermicomposto	74
Tabela 7 - Valor da temperatura (° C), por dia e por ensaio, do vermicomposto, medidos durante a experiência prática	76
Tabela 8 - Média por ensaio e média global do valor de temperatura (° C) durante a experiência prática	76
Tabela 9 - Teor de matéria orgânica do vermicomposto de cada ensaio e nos resíduos de cânhamo	86
Tabela 10 - Teores de humidade do vermicomposto por ensaio. Intervalo ótimo e de tolerância dos valores de humidade, segundo Edwards (& Arancon, 2009, p. 3), Dominguez (& Edwards, 2011, p. 36) e Lourenço (2014, p. 107)	87
Tabela 11 - Valor de pH do vermicomposto, por ensaio, e dos resíduos de cânhamo	88
Tabela 12 - Valor da condutividade elétrica do vermicomposto por ensaio e dos resíduos de cânhamo (em dS/m). Valor ótimo e valor máximo admissível para a condutividade elétrica de um vermicomposto, segundo Lourenço (2014, p. 109)	89
Tabela 13 - Percentagem da fração grosseira (>63 µm) do vermicomposto de cada ensaio	90
Tabela 14 - Valores de pH do vermicomposto, obtidos na medição nos ensaios da experiência prática, comparando-os com os intervalos de valores considerados ótimos e de tolerância, segundo Lourenço (2014, p. 109) e Dominguez & Edwards (2011, p. 37)	92
Tabela 15 - Valores de temperatura (em ° C) obtidos ao longo da experiência. Intervalos de temperatura ótimo e de tolerância, segundo Lourenço (2014, p. 109) e Dominguez & Edwards (2011, p. 36).....	94

Índice de Figuras

Figura 1 - Estrutura da dissertação (produção própria).....	3
Figura 2 - Modelo de Economia Circular (Fonte: Silva, 2019, p. 2).....	7
Figura 3 - Possível Ciclo de Economia Circular associada à parte experimental desta dissertação (produção própria)	Erro! Marcador não definido.
Figura 4 - Problemas ambientais que estão associados a um modelo de Economia Linear e que o modelo de Economia Circular pode combater (Fonte: Comissão Europeia, 2016a; Lemos, 2018)	9
Figura 5 - Produção (toneladas) e área mundial plantada (ha) do cânhamo desde o ano de 1961 até ao ano de 2016 (Fonte: Riboulet et al., 2019, p. 21)	11
Figura 6 - Incremento, positivo ou negativo, de várias espécies, na biodiversidade (Fike, 2016, p. 412)	12
Figura 7 - Relação dos principais canabinóides: THC, CBN e CBD (Fonte: Riboulet et al., 2019, p. 25)	16
Figura 8 - Representação esquemática da secção transversal do caule do cânhamo e representação das fibras primárias e secundárias (Bueno, 2019, p. 13) ..	18
Figura 9 - Ciclagem dos nutrientes proposta para a vermicompostagem (Fonte: Lourenço, 2014, p. 33)	38
Figura 10 - Processo de formação do vermicomposto (Fonte: Lourenço, 2014, p. 70)	40
Figura 11 - Principais diferenças entre a vermicompostagem e a compostagem (Fonte: Lourenço, 2014, p. 36)	41
Figura 12 - Ciclo de vida das minhocas da espécie Eisenia fetida (Fonte: Edwards & Arancon, 2009, p. 4).....	48
Figura 13 - Parâmetros físicos e químicos do vermicomposto e valores para ser classificado como ótimo, adequado e prejudicial, para as espécies epígeas de minhocas (Fonte: Lourenço, 2014, p. 109).....	48
Figura 14 - Esquema da experiência e variáveis (Fonte: Metodologia Científica, 2019)	52
Figura 15 - Influência das variáveis independentes sobre as variáveis dependentes do método experimental (produção própria).....	53
Figura 16 - Cronograma da parte experimental com a indicação do início e fim da experiência e dos dias da alimentação do sistema de vermicompostagem (produção própria)	56
Figura 17 - Laboratório D.1.15 da ULHT	57

Figura 18 - Estrutura do sistema de vermicompostagem, com 5 ensaios contendo 3 caixas/ gavetas cada ensaio.....	58
Figura 19 - Cartão, palha e minhocas num ensaio do sistema de vermicompostagem	59
Figura 20 - Total de minhocas Eisenia fetida usadas no sistema de vermicompostagem	61
Figura 21 - Cartão cortado e palha para ser adicionados ao sistema de vermicompostagem	61
Figura 22 - Saco RUB provenientes da Cantina da ULHT	62
Figura 23 - Primeira alimentação do sistema de vermicompostagem com café, alface, casca de melão e casca de abacaxi, no ensaio A	63
Figura 24 - Perda de lixiviado no ensaio C e presença de fungos no ensaio D	64
Figura 25 - Separação dos resíduos por tipologia.....	65
Figura 26 - Resíduos cortados para serem introduzidos no sistema de vermicompostagem	65
Figura 27 - Balança usada na medição dos resíduos para alimentação e alimentação do ensaio D com RUB da cantina	66
Figura 28 - Cânhamo contendo a parte fibrosa do caule, recolhido na Quinta dos 7 Nomes, em Sintra e palha proveniente da mesma quinta.....	67
Figura 29 - Ensaio E antes e depois de ser alimentado com resíduos de cânhamo	68
Figura 30 - Pedôa, instrumento usado para quebrar as fibras do cânhamo e alimentação com o cânhamo cortado.....	68
Figura 31 - Tipologia e quantidade total (em gramas) por elemento usado na alimentação do sistema de vermicompostagem (produção própria)	69
Figura 32 - Variação da quantidade de alimento introduzido no sistema de vermicompostagem nos dias da alimentação e média global (produção própria)	71
Figura 33 - Medição do valor de pH numa amostra do vermicomposto do ensaio E.....	72
Figura 34 - Medição do valor de pH numa amostra do ensaio C	73
Figura 35 - Representação gráfica dos valores da temperatura média e do pH médio, do vermicomposto, em alguns dias de alimentação e valores da temperatura média do vermicomposto ao longo de toda a experiência	75
Figura 36 - Medição de temperatura do vermicomposto no ensaio C e D	75

Figura 37 - Gráfico das temperaturas máximas, mínimas e médias, dos dias em que ocorreu a alimentação do vermicomposto, de Portugal Continental, e temperatura média diária do vermicomposto (em °C).....	77
Figura 38 - Gráfico das temperaturas médias máximas e mínimas em Lisboa e temperatura média em Portugal Continental, nos meses de setembro 2020 a janeiro 2021 (em °C)	78
Figura 39 - Esquema de entrada e saídas, no processo de vermicompostagem que ocorreu da experiência prática, segundo uma abordagem de processos (produção própria).....	79
Figura 40 - Ensaio A no dia 73, com os alimentos degradados quase na totalidade e à direita o mesmo ensaio no dia 160, com os alimentos muito pouco degradados.....	81
Figura 41 - Presença de fungos no cartão e na palha do ensaio E.....	81
Figura 42 - Presença de fungos no ensaio E no dia 42 e no ensaio D no dia 66.....	82
Figura 43 - Manta de proteção usada para diminuir a presença de insetos no sistema de vermicompostagem.....	83
Figura 44 - Presença de minhoca recém nascida à superfície do vermicomposto	83
Figura 45 - Presença de casulos das minhocas Eisenia fetida (sinalizados com o símbolo).....	84
Figura 46 - Presença de grande quantidade de casulos de minhocas (sinalizados com o símbolo) no ensaio E no dia 112	84
Figura 47 - Fuga e consequente óbito das minhocas no ensaio A.....	85
Figura 48 - Destruição da sinalética existente na bancada devido à perda de lixiviado no ensaio B e C	85
Figura 49 - Amostras desagregadas e cinzas resultantes da destruição da MO	86
Figura 50 - Amostras do vermicomposto dentro da estufa.....	87
Figura 51 - Aparelho usado para medição dos valores de pH das amostras.	88
Figura 52 - Aparelho usado para a medição da condutividade elétrica das amostras.....	89
Figura 53 - Lupa binocular.....	90
Figura 54 - Método para calcular a escala da lupa binocular com ajuda de uma régua	91

Figura 55 - Separação da fração fina da fração grosseira de uma amostra de vermicomposto e copo com apenas a fração grosseira para ir para a estufa, como indicado no protocolo no anexo IV	91
Figura 56 - Gráfico com os valores de pH das amostras do vermicomposto de cada ensaio e da amostra dos resíduos de cânhamo, quantidade de resíduos de cânhamo usada na alimentação de cada ensaio e reta linear da variável pH	95
Figura 57 - Gráfico com os valores do teor de MO das amostras do vermicomposto de cada ensaio e da amostra dos resíduos de cânhamo, quantidade de resíduos de cânhamo usada na alimentação de cada ensaio e reta linear da variável teor de MO. Imagens obtidas da lupa binocular, com ampliação 2x, das amostras do vermicomposto do ensaio correspondente e dos resíduos de cânhamo	97
Figura 58 - Gráfico com os valores do teor de humidade das amostras do vermicomposto dos 5 ensaios, quantidade de resíduos de cânhamo usada na alimentação de cada ensaio e reta linear da variável teor de humidade.	99
Figura 59 - Gráfico com os valores da condutividade elétrica das amostras do vermicomposto de cada ensaio e da amostra dos resíduos de cânhamo, quantidade de resíduos de cânhamo usada na alimentação de cada ensaio e reta linear da variável condutividade elétrica.....	100
Figura 60 - Gráfico com a percentagem da fração grosseira (> 63 µm) das amostras do vermicomposto de cada ensaio, quantidade de resíduos de cânhamo usada na alimentação de cada ensaio e reta linear da variável fração > 63 µm.	100
Figura 61 - Amostras da fração grosseira (> 63 µm) do vermicomposto de cada ensaio e dos resíduos de cânhamo.....	101
Figura 62 - Representação da tendência dos parâmetros analisados de pH, teor de MO, teor de humidade, percentagem da fração grosseira e valores da condutividade, das análises finais realizadas ao vermicomposto de cada ensaio e aos resíduos de cânhamo	102

Introdução

Enquadramento geral

Os problemas ambientais são hoje, para a humanidade, uma preocupação crescente. A produção de resíduos em grandes quantidades, a intensiva exploração e destruição de recursos naturais são geradores de impactes ambientais que chamam a atenção da sociedade tornando-se imprescindível uma tomada de consciência sobre a debilidade do planeta, das relações do homem com o mesmo bem como de procura de soluções sustentáveis.

Os impactes no ambiente são “resultado de um processo produtivo a um ritmo elevado de exploração e degradação dos recursos naturais, já que este processo é mais acelerado que a própria capacidade que o nosso planeta tem de os repor” (Santos, 2013, p.1).

O consumo descontrolado dos materiais disponíveis na natureza é consequência direta do rápido crescimento da população e da procura de melhor qualidade de vida. Os vários impactes ambientais, resultam na contaminação das águas, dos solos, do ar e na perda de biodiversidade tanto de fauna como flora. Resultam também do excessivo consumo de água e energia, da extração e uso não controlado de recursos naturais e emissões elevadas de gases com efeito de estufa (Santos, 2013, p.1).

A indústria do cânhamo, é hoje uma indústria em grande crescimento para produção dos óleos que contêm CBD (Canabidiol), que são extraídos das flores e das sementes da planta *Cannabis sativa sativa*, o que resulta de grandes quantidades da planta do cânhamo a não ser utilizada e sim depositada em aterros e/ou incinerada, mesmo tendo um enorme potencial de ser uma matéria prima para produção de outros produtos. A parte da planta que a indústria de produção de CBD considera como resíduo são as fibras, que tem um enorme potencial em Economia Circular existindo inúmeros exemplos de como esta parte da planta pode ser utilizada como matéria prima.

Estudando o ciclo de vida do cânhamo será possível afirmar o que Santos (2013, p. 2) afirma em relação ao cânhamo ser uma alternativa ecológica a diversos materiais usados em vários sectores industriais, tais como indústria têxtil, indústria alimentar, automóvel e na construção.

Segundo os autores, (Riboulet-Zemouli, Anderfuhren-Biget, Díaz and Krawitz, 2019, p. 9 e 125), a planta *Cannabis sativa* L. desempenha um papel importante na sociedade em usos não relacionados com a psicoatividade, tendo acompanhado a humanidade ao longo dos séculos e no decorrer do tempo, a planta tem sido explorada para várias funções. As suas raízes são usadas para limpeza do solo (fitoremediação), as hastes, parte fibrosa, são usadas, por exemplo, para produzir materiais de construção e bioplásticos, papel e têxteis e é uma promissora fonte de energia. Ao longo da história humana, a canábis é usada para fins medicinais e recreativos, este último com efeitos psicóticos. Devido a isso tem-se adotado diferentes designações à planta canábis. “Os cientistas falam sobre canábis, os agricultores sobre cânhamo e os políticos sobre marijuana” (Riboulet-Zemouli et al., 2019, p. 125).

Âmbito e Objetivos

Nesta dissertação é abordada a utilização da planta cânhamo como matéria prima na produção de vários produtos. Depois de serem retiradas as flores e as sementes da planta, para serem usadas na indústria da produção de CBD, fica como resíduo, a parte fibrosa da planta. As fibras do cânhamo são hoje usadas para fabricar vários produtos em diferentes áreas.

Contudo, os resíduos de cânhamo que não são usados como matéria prima, têm como destino os aterros ou a incineração. Dentro do modelo da Economia Circular, este fim de vida das fibras não é o desejável, por isso foi usada para esta dissertação, a técnica de vermicompostagem para tratar dos resíduos do cânhamo, tema este que ainda não foi muito abordado na literatura.

O objetivo deste trabalho é analisar se a vermicompostagem pode ser considerada uma técnica adequada no tratamento dos resíduos de cânhamo e dar a conhecer as capacidades da planta do cânhamo e o seu potencial para ser usada na fabricação de produtos.

Foi também desenvolvido uma parte experimental com a finalidade de analisar se a vermicompostagem pode ser usada como uma técnica para o tratamento dos resíduos de cânhamo, contendo vários ensaios com diferentes quantidades de cânhamo, tendo esta experiência por base um modelo de Economia Circular.

Estrutura da Dissertação

Este trabalho está dividido em três capítulos principais: revisão de literatura, parte experimental e confronto de resultados. Na revisão de literatura aconteceu a pesquisa e análise de publicações de base científica com a temática do cânhamo, da vermicompostagem como técnica de tratamento de resíduos e da economia circular. A parte experimental desta dissertação desenvolveu-se com a criação de um sistema de vermicompostagem, usando a espécie de minhoca *Eisenia fetida* para o tratamento de resíduos de cânhamo e de resíduos urbanos biodegradáveis. Para retirar conclusões acerca do trabalho desenvolvido, após análise dos resultados obtidos na parte experimental, confrontaram-se os mesmos com a literatura analisada na parte da revisão de literatura. Na figura 1, apresenta-se a estrutura desta dissertação.

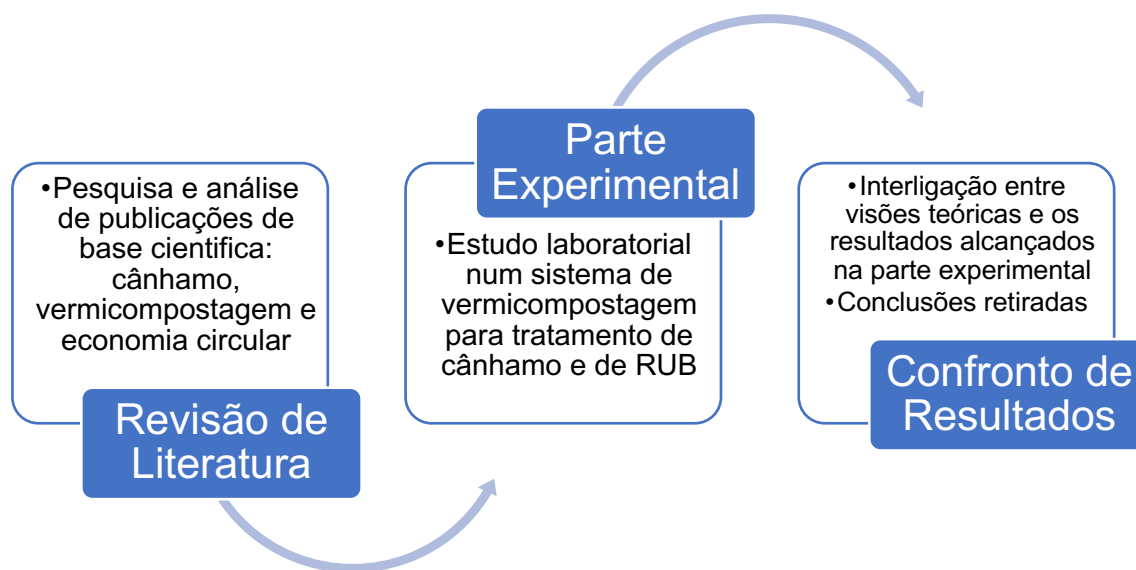


Figura 1 - Estrutura da dissertação (produção própria)

1. Estado da Arte

1.1. Gestão de Resíduos - Transição para uma Economia Circular

Durante o transporte dos resíduos para aterros, lixeiras, ou entregue em indústrias para ser reciclado ou incinerado, há emissão de Gases com Efeito de Estufa (GEE), principalmente CO₂ e CH₄, pela queima de combustíveis fósseis, mas também pela decomposição em solo dos Resíduos Urbanos Biodegradáveis (RUB). “Esta é a principal relação de causa entre Alterações Climáticas (AC) e o sector de gestão de resíduos” (Baptista, 2018, p. 9).

Na indústria dos resíduos, outras fontes de emissão de GEE são as que estão associadas à fabricação dos contentores, veículos e instalações de tratamento, como os gastos de energia na operação da triagem/reciclagem ou tratamento de resíduos (Baptista, 2018, p. 11).

O modelo de economia linear, assente num estilo de vida e de consumo de <uso único>, vem desde a era da revolução industrial. É um modelo unidirecional de produção, ou seja, há criação de bens, produzidos em massa, que são comprados e eliminados após, e maioria das vezes única utilização. Este modelo de economia linear está a colocar em stress os limites físicos do planeta e a ameaçar a estabilidade do nosso futuro, sabendo hoje ser um modelo insustentável. Um caminho numa economia circular é inevitável (Esposito, Tse & Soufani, 2018, p. 5).

Em 2018, a taxa do consumo dos recursos naturais era 50% mais rápida do que pode ser substituído. As previsões para o ano de 2030 apontam que serão necessários recursos naturais de mais de dois planetas para dar resposta à nossa procura sobre bens e mantermos ou melhorar a qualidade de vida, já que em 2050 serão 3 planetas equivalentes. Na mesma linha temporal, a população mundial será o dobro da atual, o que intensifica a procura sobre os recursos e bens (Esposito et al., 2018, p. 5; Annibaldi, Cucchiella, Berardinis, Gastaldi & Rotilio, 2020, p. 2).

Um modelo viável de organização industrial, com um crescimento económico não assente na utilização de recursos virgens, é o modelo de economia circular que é defendido e estudado por organizações como a Ellen MacArthur Foundation e o McKinsey Global Institute. A economia circular é bem mais do que gerar terminologias de negócios eficazes e tentar alterar a ideia de palavras como reciclagem (Esposito et al., 2018, p. 6).

A organização sem fins lucrativos, Ellen MacArthur Foundation, foi criada em 2010 com o principal objetivo de estudar a Economia Circular, desenvolver e difundir o conceito, assumindo que este último é optar por “um modelo económico desenvolvido para ser regenerativo, no qual os produtos são projetados e desenvolvidos para serem de longa duração e facilmente reutilizáveis, regenerados e remanufacturados e, por fim, reciclados” (Mendes, 2019, p. 10).

Segundo Mendes (2019, p. 11), num contexto de Economia Circular, os *inputs* numa cidade terão que ser reduzidos num objetivo de se ser autossuficiente em termos de produção de energia e consumo de matérias primas. Importante também é envolver os cidadãos, promovendo a informação e a sensibilização. Este desempenho é conseguido com o uso de tecnologias que podem contribuir para a redução significativa de resíduos, o consumo de recursos e promover uma utilização da água e energia mais eficiente (Mendes, 2019, p. 11).

Kenneth Boulding (1966), economista, citado por Whalen e Whalen (2018, p. 606), comparou a Terra com uma nave espacial, “sem reservatórios ilimitados de nada, seja para extração ou poluição”. Afirma o autor, que numa visão generalizada, os humanos podem-se dar ao luxo de usar os recursos de maneira imprudente pois estes parecem ilimitados.

Desde os dias de Boulding que o tópico chave na literatura de Economia Circular é o uso mais sustentável dos recursos. “Os produtos devem ser concebidos desde o início, de forma que, quando não forem mais úteis, forneçam alimento para algo novo” (Whalen & Whalen, 2018, p. 607).

Segundo Esposito (2018, p. 6),

a economia circular pode ser definida pelo foco em maximizar o que já está em uso ao longo de todos os pontos do ciclo de vida de um produto, desde o abastecimento até à sua cadeia, o consumo, as peças inutilizáveis e a sua conversão para uma nova finalidade.

Este novo modelo de economia manifesta interesse no meio académico pelo seu potencial inovador e pelo relacionar-se com o poder político e governamental, com os negócios e consumidores. Este modelo requer que os produtos, componentes e materiais sejam projetados para “adicionar, recriar e preservar continuamente o valor em todos os momentos”, usando pensando no design, na estrutura e no objetivo para que são feitos os produtos (Esposito et al., 2018, p. 6).

O conceito de um modelo de Economia Circular é relativamente recente, no entanto já em 1848, o presidente da *The Royal Society of Chemistry* (instituição fundada em 1660 destinada à promoção do conhecimento científico, com várias áreas de interesse), deu um dos primeiros exemplos de economia circular afirmando que “numa fábrica o cenário ideal seria não haver desperdícios, sendo esta capaz de utilizar todos os seus resíduos enquanto fatores produtivos, assim obtendo maior lucro” (Mendes, 2019, p. 6).

Foi já em 1990 que surgiu a primeira vez o conceito de Economia Circular, por David Pearce e R. Kerry Turner, como sendo

um modelo económico fechado baseado na interdependência entre a economia e o ambiente, onde se pretende melhorar a inovação, a eficiência, a preservação de recursos e aumentar a criação de emprego e a vida útil de bens, através da reutilização, renovação, reparação e reciclagem, para que seja possível a sua utilização em economias industrializadas (Mendes, 2019, p. 9).

O princípio fundamental do modelo da economia circular é a preservação dos recursos, por isso deve funcionar e desenvolver-se sob um sistema baseado em energias renováveis e “tentar fechar os circuitos em tantas áreas de produção e consumo quanto possível” (Esposito et al., 2018, p. 9).

Podemos comparar pela figura 2, o caminho percorrido dos materiais usados para fabricação de produtos, numa economia linear e numa economia circular. Numa economia linear há apenas 3 grandes ações que são: extrair as matérias primas, produzir os produtos com essas matérias primas e após o seu uso, eliminar, perdendo-se assim o valor que os materiais ainda têm, não podendo ser usados para outros fins e não conseguindo assim diminuir o consumo de matérias primas virgens.

Numa economia circular, a reciclagem é o fator fundamental para fechar o ciclo deste modelo, conseguindo assim ter um desperdício residual e não uma perda total do valor das matérias que os produtos incorporam nas suas matrizes. Contudo é também necessário pensar num design do produto capaz de se conseguir reaproveitar os materiais e dar-lhe nova vida e envolvendo toda a cadeia de produção, distribuição e recolha a fim de se conseguir que os preços das matérias primas não sofram um aumento devido à sua escassez e ao custo de toda a cadeia logística, conseguindo assim aplicar em cada produto uma pegada ecológica cada vez mais baixa.

A economia circular é hoje o cerne de um novo modelo económico que influencia governos, empresas e pesquisadores (Whalen & Whalen, 2018, p. 605).



Figura 2 - Modelo de Economia Circular (Fonte: Silva, 2019, p. 2)

Até 2050 poderá reduzir-se em 53% o consumo de novos materiais primários que são usados nas diferentes indústrias (construção, fabricação automóvel, produtos químicos, entre outras), se a economia circular for realizada de uma forma extensiva, o que possibilitava que esses materiais fossem substituídos por materiais recuperados e reaproveitados (Esposito et al., 2018, p. 6).

A Análise do Ciclo de Vida (ACV), é uma excelente abordagem aplicada aos serviços de gestão de resíduos, segundo Baptista (2018, p. 10), pois esta

avalia as emissões de CO_{2eq} relativas aos gastos de energia e queima de combustíveis fósseis, dos produtos que se tornam resíduos, desde a extração de materiais virgens, passando pela conversão em produtos, pelos gastos de mesma natureza nos meios de distribuição, utilização e destino final, além dos consumos com os transportes da recolha, entrega e reciclagem.

Numa ACV, a compostagem gera menos impactes ambientais em comparação com deposição dos resíduos em aterro ou incineração, afirma Saer, citado em Baptista (2018, p. 11).

Quando há valorização orgânica, tanto na compostagem como na vermicompostagem, por exemplo, temos como produtos o composto, o biofertilizante e o biogás. Nestes tratamentos dos RUB, há o sequestro de carbono no solo que será lançado pela degradação e integração nos sistemas solo-planta, e enriquece o solo com nutrientes e diminui a necessidade de fertilizantes químicos, e se houver captação de biogás, este pode ser usado para produção de energia, diminuindo assim o uso de energia de origem fóssil (Baptista, 2018, p. 11).

Para conseguirmos cumprir as metas de reciclagem estabelecidas na União Europeia, era essencial “separar na fonte, resíduos alimentares e de jardim” (Baptista, 2018, p. 14) e estes serem tratados com técnicas de compostagem e vermicompostagem.

Esposito (et al., 2018, p. 6), afirma que “a economia circular é disruptiva, pois muda o modelo atual e força o repensar dos vários aspetos da produção e do consumo em toda a cadeia de produção e consumo.”

A economia circular pode ser classificada como um “paradigma emergente de organização industrial e argumenta que os problemas de hoje não se restringem a consumo e atividade económica” e é apontado como problema principal o mau design dos produtos e as mentalidades limitativas (Esposito et al., 2018, p. 7).

Um aspeto muito considerado neste modelo económico é o design dos materiais para a otimização dos mesmos. “Isso inclui identificar com mais precisão e eficiência a localização e o transporte dos materiais, bem como a embalagem, a entrega, os usos e a vida útil do material usado” (Esposito et al., 2018, p. 8).

Este conceito de Economia Circular surgiu não só para responder a problemáticas ambientais, mas também sociais e económicas com o objetivo final de garantir o bem-estar das gerações presentes e futuras (Mendes, 2019, p. 11).

Na figura 3, são apresentados os problemas ambientais que estão associados a um modelo de economia linear e que o modelo de economia circular pode ajudar a combater, segundo a Comissão Europeia. Resumidamente, os grandes problemas que a humanidade enfrenta, nesta questão dos problemas ambientais, são o aumento da população e o aumento do poder económico dos países com maior quantidade populacional e das grandes economias emergentes (China, Índia, Brasil e África do Sul). Estes fatores levam a uma procura e pressão maior dos recursos o que leva a um aumento na produção de resíduos.

Para exemplificar como foi desenhada a parte experimental desta dissertação, baseada num modelo de economia circular, é apresentada a figura 4, onde se pode verificar que os resíduos da cozinha que foram doados pela cantina da Universidade, serviram para alimentar as minhocas, sofrendo o processo de vermicompostagem e produzindo-se assim vermicomposto, que poderá ter potencial para ser usado como fertilizante agrícola, que irá ajudar no crescimento e produção de alimentos, podendo estes serem usados na cantina para produção de refeições,

fechando assim um ciclo e começando outro, quantificando-se apenas um desperdício residual.

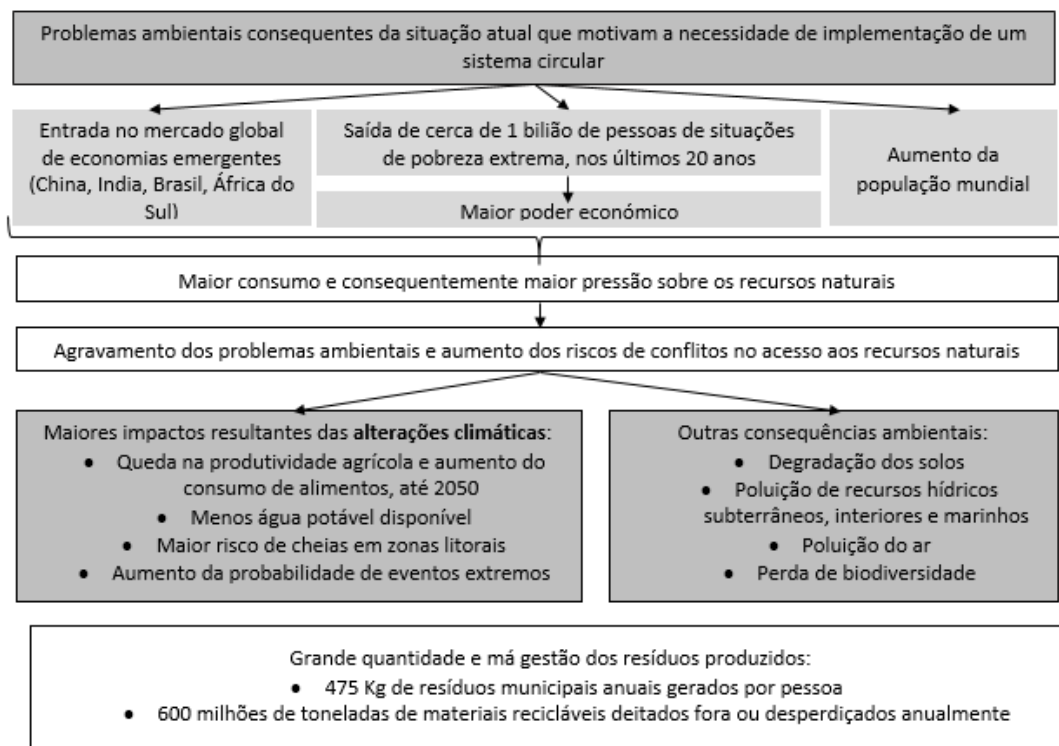


Figura 4 - Problemas ambientais que estão associados a um modelo de Economia Linear e que o modelo de Economia Circular pode combater (Fonte: Comissão Europeia, 2016a; Lemos, 2018)

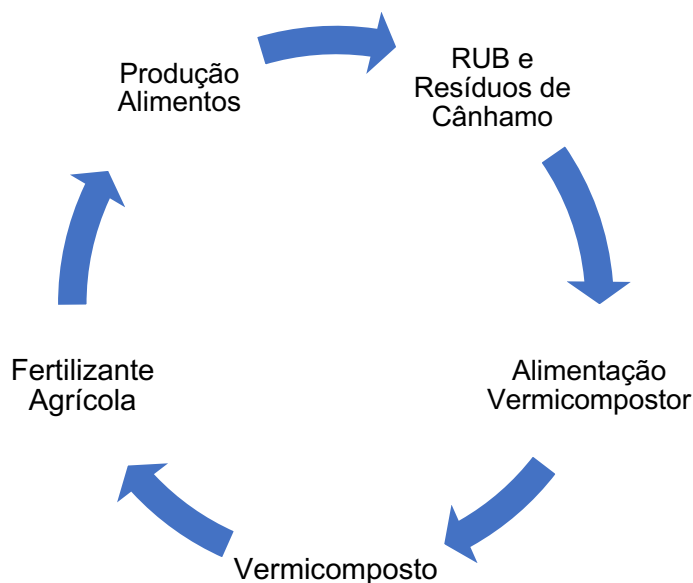


Figura 3 - Possível Ciclo de Economia Circular associada à parte experimental desta dissertação (produção própria)

1.2. O cânhamo: resíduo vs. produto

O cânhamo é uma planta herbácea anual da ordem dos Rosales, da família das Cannabaceae e gênero *Cannabis* (Crini, Lichtfouse, Chanut & Morin-Crini, 2020, p. 1451).

A única espécie reconhecida é a *Cannabis sativa* L. que tem tido ao longo dos séculos uma grande importância para os humanos e hoje é uma cultura industrial de alto rendimento, cultivada pelas suas fibras e sementes. Cultivada há mais de 12.000 anos, principalmente na Ásia Central (China e Índia), sendo a primeira evidência do seu uso (4.000 aC) relatada na China, era já cultivada para produção principalmente de fibras e de sementes para óleos (Jianyong & Jianchun, 2014, p. 2; Fike, 2016, p. 406; Cherney & Small, 2016, p. 1; Rijavec, Janjić & Ačko, 2017, p. 37; Bonini et al., 2018, p. 301; Loiacono et al., 2018, p. 1; Zhou, Wang, Lou & Fan, 2018, p. 57; Chauhan, Karki & Varis, 2019, p. 11; Fathoridoobady, Singh, Kitts & Singh, 2019, p. 1; Morin-Crini et al., 2019, p. 3; Crini et al., 2020, p. 1451).

Com o aparecimento do descaroçador de algodão, no final de 1800, e com inovações no processamento do algodão, a produção de cânhamo começou a diminuir (Fike, 2016, p. 406; Malone & Gomez, 2019, p. 201).

Devido a políticas proibicionistas ao longo do século XX, houve uma redução global do cultivo de cânhamo e por consequência uma diminuição dos produtos que usam cânhamo na sua constituição (Cherney & Small, 2016, p. 1; Fike, 2016, p. 407; Riboulet et al., 2019, p. 20), podendo essa diminuição da área mundial plantada com cânhamo, entre o período da década 60 até ao ano de 2015, ser visível na figura 5.

É de difícil implementação políticas que contenham plantações de cânhamo devido à falta de distinção no termo botânico “cânhamo” e canábis, e desde a adoção da Convenção de 1961 sobre os estupefacientes, levou a uma diminuição dramática na produção mundial de “hemp” (Riboulet et al., 2019, p. 23).

“Estas são duas plantas diferentes dentro do mesmo gênero” (Malone & Gomez, 2019, p. 207).

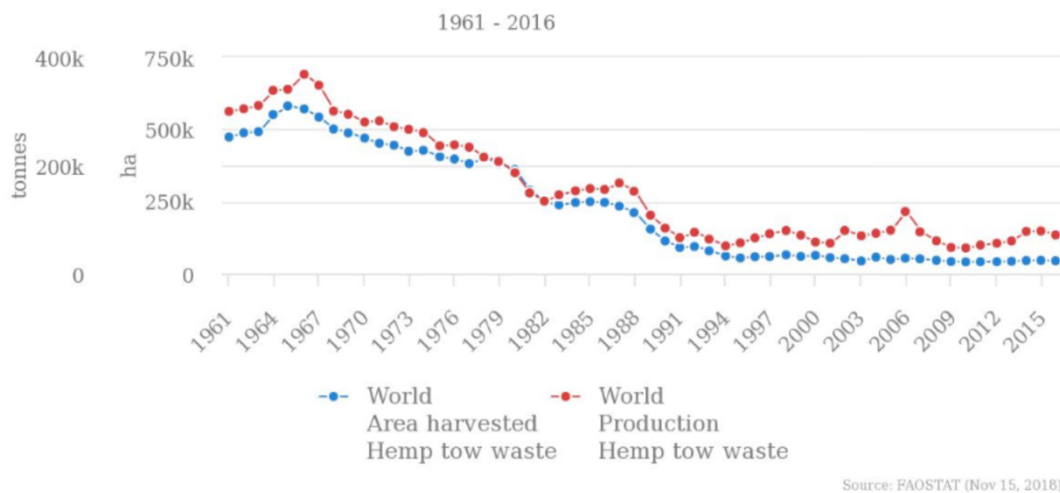


Figura 5 - Produção (toneladas) e área mundial plantada (ha) do cânhamo desde o ano de 1961 até ao ano de 2016 (Fonte: Riboulet et al., 2019, p. 21)

O caminho que o cânhamo está a percorrer, em termos de regulamentação e mercado (VanDolah, Bauer & Mauck, 2019, p. 2), tem que responder a várias questões com os olhos postos para onde vamos que “não depende apenas de onde estamos agora, mas também de onde estivemos” (Malone & Gomez, 2019, p. 200).

Tem lógica perguntar porque é que o cânhamo, não contendo substâncias psicoativas, era considerado ilegal?

Os aumentos das regulamentações nos mercados de cânhamo devem-se “à incerteza e ao conhecimento limitado das agências reguladoras no início do séc. XX” (Malone & Gomez, 2019, p. 201).

Apenas cerca de trinta e cinco países no mundo plantam legalmente o cânhamo industrial (Rijavec et al., 2017, p. 38).

Hoje o maior fornecedor de cânhamo industrial do mundo é a China, produzindo quase metade da oferta mundial (Cherney & Small, 2016, p. 2; Rijavec et al., 2017, p. 38; Schluttenhofer & Yuan, 2017, p. 920; Chauhan et al., 2019, p. 11), e na Europa o maior produtor de cânhamo é a França, com uma área de cultivo de cerca de 12.000 ha que representava, no ano de 2015, cerca de metade do total da área de cultivo desta planta na Europa (Rijavec et al., 2017, p. 38; Morin-Crini et al., 2019, p. 3).

Hoje o cânhamo é visto como uma cultura ecologicamente correta e sustentável, podendo ser visível esse incremento positivo do cânhamo na biodiversidade na figura 6, e a procura por produtos com estas características confere a esta cultura um potencial de crescimento no mercado mundial, sendo usadas partes da planta do cânhamo, quer sejam as fibras como as sementes, em mais de 25.000 produtos inovadores (Fike, 2016, p. 415; Schluttenhofer & Yuan, 2017, p. 917; Loiacono et al., 2018, p. 1; Asquer, Melis, Scano & Carboni, 2019, p. 1).

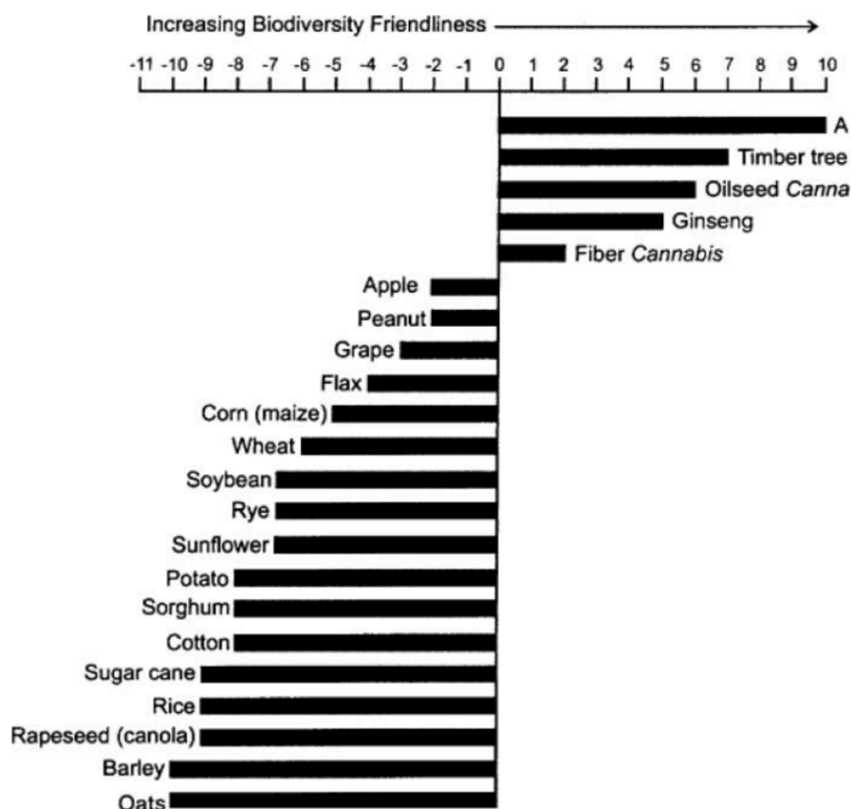


Figura 6 - Incremento, positivo ou negativo, de várias espécies, na biodiversidade (Fike, 2016, p. 412)

Os subprodutos da planta de cânhamo podem ter vários usos para diferentes materiais, tais como as fibras da planta podem ser usadas para substituição de fibras sintéticas, como a fibra de vidro, de carbono ou metálicas, e usadas para produção de têxteis, bioplásticos, na indústria da construção, na indústria automóvel, produção de papel, entre outros (Cherney & Small, 2016, p. 12; Fike, 2016, p. 415; Loiacono et al., 2018, p. 1; Chauhan et al., 2019, p. 11; Morin-Crini et al., 2019, p. 3).

As fibras do cânhamo têm o seu valor por gozarem de características desejáveis (Jianyong & Jianchun, 2014, p. 2) como o seu comprimento, a sua resistência e a sua durabilidade (Fike, 2016, p. 415; Gedik & Avinc, 2018, p. 83).

Estas fibras oferecem excelentes desempenhos de uso pela sua flexibilidade, força e alta resistência a danos causados pela água, propriedades térmicas superiores, propriedades antimicrobianas e antiestáticas bem como bloquear a radiação ultravioleta e ter desempenho antialérgico em roupas fabricadas com este tipo de fibras (Gedik & Avinc, 2018, p. 82; Crini et al., 2020, p. 1454).

O caule da planta de cânhamo é composto por fibras, sendo aproximadamente 20 a 40% de fibras liberianas, que são fibras fortes e extremamente longas, usadas como fibras para têxteis, e entre 60 e 80% de fibras lenhosas, também chamadas de hurds ou shives (Rijavec et al., 2017, p. 37; Morin-Crini et al., 2019, p. 3).

As fibras liberianas têm como principais constituintes a celulose (cerca de 75%), a hemicelulose e a lignina (menos de 10 a 12%). Já em comparação, a madeira, contém cerca de 60% de celulose e 30% de lignina (Jianyong & Jianchun, 2014, p. 2; Schluttenhofer & Yuan, 2017, p. 923; Morin-Crini et al., 2019, p. 3).

A procura de produtos à base das sementes da planta do cânhamo, está a ter um rápido crescimento a nível mundial. O potencial do cânhamo é maior como oleaginosa do que como fibra (Cherney & Small, 2016, p. 12). O país líder mundial de produção de sementes de cânhamo é o Canadá (Cherney & Small, 2016, p. 13).

As sementes de cânhamo, ao longo da história, mostraram ser um recurso valioso e um alimento saudável. Pelo alto valor nutricional das sementes, vários produtos derivados contêm as propriedades nutricionais da planta e são por isso um aliado na luta contra a desnutrição (Riboulet et al., 2019, p. 19).

As vantagens destas sementes de cânhamo são as suas propriedades nutricionais e dietéticas. É uma fonte de muitos nutrientes valiosos e as suas propriedades foram reconhecidas e valorizadas para alimentação humana e de animais (Zhou et al., 2018, p. 57; Fathordoobady et al., 2019, p. 1; Mikulec et al., 2019, p. 164; Zajac et al., 2019, p. 191).

As sementes de cânhamo, além de conterem todos os aminoácidos essenciais, com o perfil de aminoácidos da proteína comparável ao da clara do ovo e da soja (Leonard, Zhang, Ying & Fang, 2020, p. 3), são constituídas por cerca de 30% de óleo, 20 a 34% de carboidratos, 24 a 28% de proteínas, 10 a 15% de fibras insolúveis e cerca de 6% de substâncias minerais como fósforo, potássio, sódio, cálcio, magnésio, ferro, manganês ou zinco (Schluttenhofer & Yuan, 2017, p. 917;

Fathordoobady et al., 2019, p. 1; Mikulec et al., 2019, p. 164; Riboulet et al., 2019, p. 19; Zajac et al., 2019, p. 191; Leonard et al., 2020, p. 2).

O óleo das sementes de cânhamo contem cerca de 80 a 90% de ácidos gordos polinsaturados, incluindo 50 a 70% do ácido linoleico (LA) e 15 a 25% de ácido alfa-linoleico (ALA). Possui uma razão de ômega 6 e ômega 3 de valor 2,5 -3,0, sendo esta considerada a razão ideal para a nutrição dos humanos (Riboulet et al., 2019, p. 19; Zajac et al., 2019, p. 191; Leonard et al., 2020, p. 2).

Já os peptídeos das sementes têm potencial para serem usados como agentes antioxidantes e anti-hipertensivos (Zhou et al., 2018, p. 57; Zajac et al., 2019, p. 191; Leonard et al., 2020, p. 2) e também com efeitos “antialérgicos, antiaterogênicos, anti-inflamatórios, antimicrobianos, antivirais, anticancerígenos e cardioprotetores” (Mikulec et al., 2019, p. 164).

A indústria das sementes oleaginosas tem como principal necessidade o desenvolvimento de culturas de alto rendimento para aumentar a competitividade das sementes de cânhamo com outras sementes oleaginosas (Cherney & Small, 2016, p. 13).

Para se manter uma cultura viável a longo prazo “a cultura deve ter custos competitivos em comparação aos concorrentes, como as fibras sintéticas ou outras fibras naturais, óleos alternativos e outros suplementos de saúde” (Malone & Gomez, 2019, p. 208) e “haverá a necessidade de desenvolver culturas mais adequadas a regiões e climas específicos” (Cherney & Small, 2016, p. 11), para a produção de plantas contendo menos de 0,3% de tetrahydrocannabinol (THC).

Os solos ideais para o cultivo do cânhamo, são solos semelhantes usados para a cultura do milho, isto é, com “margens bem areadas, com alta fertilidade e alta matéria orgânica” (Cherney & Small, 2016, p. 11).

Por o cânhamo ser uma monocultura contínua, apresenta o risco de existirem pragas de insetos e ervas daninhas, na área da sua cultura, o que é recomendado, segundo Cherney e Small (2016, p. 11), haver uma pausa de um ano, na cultura do cânhamo no mesmo local, de quatro em quatro anos.

A produtividade atual, em boas condições, é de cerca de 1 tonelada/ha (Cherney & Small, 2016, p. 13).

Pesquisas indicam que a planta de cânhamo pode ser vista como uma cultura energética e ser usada para produzir bioenergia (Cherney & Small, 2016, p. 14; Fike, 2016, p. 418) em “produção de etanol, éster metílico, como matéria-prima de pirólise, em processos termoquímicos de combustão, centrais elétricas e de gaseificação” (Asquer et al., 2019, p. 3).

Também a cultura do cânhamo tem potencial para ser considerada uma cultura para ser usada em tecnologia de fitorremediação, por conseguir remover metais pesados, como cobre, cádmio e níquel, de solos contaminados (Ahmad et al., 2016, p. 195; Crini et al., 2019, p. 5).

Os produtos que usam fibras do cânhamo na sua matriz, fixam nas suas fibras, carbono e elementos químicos presentes no solo e imobiliza-os por longos períodos de tempo (Cherney & Small, 2016, p. 12).

Segundo Crini et al. (2019, p. 5), a planta de cânhamo está a ser usada para se realizar a fitorremediação do solo envolvente à antiga central nuclear de Chernobil, onde ocorreu o desastre nuclear em 1986, mostrando-se eficaz na limpeza do solo e recentemente está a ser considerada para uso com o mesmo fim, no local onde ocorreu o acidente nuclear em Fukushima, no Japão.

Já Loiacono et al. (2018, p. 9) afirma em estudo feitos, que a planta de cânhamo foi capaz de remover “na maioria dos casos, 75 a 80% da carga de metais pesados” em águas.

Benelli et al. (2018, p. 308) escreve que a planta de cânhamo tem o potencial para ser usada como um inseticida natural, reconhecendo a sua eficácia, a sua baixa toxicidade em organismos e o seu menor impacte ambiental, em comparação com os inseticidas fabricados quimicamente. Usa-se os óleos das sementes do cânhamo para se fabricar inseticidas naturais e estes poderem ser usados em agricultura biológica (Benelli et al., 2018, p. 309).

Os produtos contendo cânhamo, são um mercado em crescimento, principalmente no dos produtos que integrem CBD, que são usados para tratar alguns problemas de saúde (Cherney & Small, 2016, p. 14; Malone & Gomez, 2019, p. 209).

O uso de CBD na medicina, têm já uma lista longa de potenciais benefícios para a saúde humana, o que levou a um aumento drástico do interesse médico por CBD.

Foi provado o efeito terapêutico do CBD, desde o alívio da dor (VanDolah et al., 2019, p. 1), até contra a doença de Alzheimer e de Parkinson, cancros, epilepsia, atrasa o início da esclerose lateral amiotrófica (Bonini et al., 2018, p. 307; Leonard et al., 2020, p. 12) e também foram documentadas propriedades antibacterianas e anti-inflamatórias (Fathordoobady et al., 2019, p. 2).

“Olhando para o futuro, o óleo de CBD, provavelmente, será uma área de grande crescimento” (Malone & Gomez, 2019, p. 210).

As culturas de cânabis devem ser diferenciadas entre culturas relacionadas com a psicoatividade e o cânhamo, e uma maneira simples de distinguir é pelo meio da relação dos principais canabinóides, de THC, CBD e canabinol (CBN), como mostra a figura 7 (Fike, 2016, p. 409; Bonini et al., 2018, p. 307; Riboulet et al., 2019, p. 25).

$$X = \frac{[THC] + [CBN]}{[CBD]}$$

$[THC]$	Area of THC in the chromatogram
$X > 1$	Drug-type cannabis
$X < 1$	Fibre-type cannabis

Figura 7 - Relação dos principais canabinóides: THC, CBN e CBD (Fonte: Riboulet et al., 2019, p. 25)

Citando Malone e Gomez (2019, p. 201), “o cânabis é cultivado pela sua natureza intoxicante” por conter THC, mas pode conter outros compostos químicos, como o canabidiol (CBD), que pelas suas propriedades medicinais e terapêuticas, é usado para criar produtos para a saúde contendo cânhamo (Schlutenhofer & Yuan, 2017, p. 924; Fathordoobady et al., 2019, p. 1; Malone & Gomez, 2019, p. 201; Leonard et al., 2020, p. 1).

Cherney e Small (2016, p. 2), Fike (2016, p. 409) e Rijavec et al. (2017, p. 38), afirmam que na União Europeia o teor máximo aceite de THC para ser considerado cânhamo é de 0,2%, em massa seca, no Canadá esse limite é de 0,3% e na Suíça é de 1% de THC máximo, este último é considerado o valor mínimo para provocar efeito intoxicante.

1.3. Constituição das fibras de cânhamo

Os resíduos agrícolas, são considerados resíduos naturais e são constituídos principalmente por fibras vegetais. Estas fibras têm como principal componente químico a celulose, mas também são constituídas por lignina, hemicelulose, pectina e extrativos (Albinante, Pacheco & Visconte, 2013, p. 114; Guimarães, 2014, p. 23; Lobo, 2018, p. 32; Bueno, 2019, p. 13). As características das fibras vegetais podem variar consoante a variedade da espécie, onde é cultivada, as condições climáticas e o tipo de solo onde cresce, entre outros (Guimarães, 2014, p. 23).

“As fibras de caule são chamadas fibras liberianas ou fibras macias e têm origem no caule das plantas exógenas (de crescimento para fora)”, afirma Guimarães (2014, p. 27).

Do caule da planta do cânhamo podem-se obter dois tipos de fibras: as fibras primárias e as fibras secundárias. “As fibras primárias são formadas pelo meristema apical”, segundo Bueno (2019, p. 12) e são constituídas por fibras de celulose rígidas e unidas por “uma matriz de lignina amorfa” (Lobo, 2018, p. 32). As fibras secundárias, “são formadas durante o crescimento secundário da planta” e contendo alta concentração de lignina; elas são mais pequenas e mais finas que as fibras primárias (Bueno, 2019, p. 12).

“A estrutura biológica das fibras de cânhamo consiste numa sucessão de cilindros concêntricos, com um canal central denominado Lúmen” (Bueno, 2019, p. 13). O principal composto da parede celular é a celulose, que é um polissacarídeo composto de carbono, oxigénio e hidrogénio ($C_6H_{11}O_5$) (Guimarães, 2014, p. 24) e é classificada também como uma macromolécula linear resistente a soluções alcalinas e pouco resistente em meios ácidos (Lobo, 2018, p. 33). A celulose é responsável pela resistência das fibras por ser o componente com maior módulo de elasticidade (Albinante et al., 2013, p. 114; Lobo, 2018, p. 33; Bueno, 2019, p. 14).

A representação da secção transversal da planta de cânhamo e das suas fibras primárias e secundárias, estão desenhadas na figura 8, conseguindo assim mostrar a estrutura interna das fibras de cânhamo.

A hemicelulose é um polissacarídeo, parcialmente solúvel em água, em soluções alcalinas e pouco resistente a soluções ácidas (Guimarães, 2014, p. 24; Lobo, 2018, p. 33).

A lignina é uma macromolécula aromática, resistente a ácidos, com estrutura química indefinida e é responsável pela rigidez das plantas e pela resistência à degradação devido às suas estruturas de autocondensação, especialmente em meio ácido (Albinante et al., 2013, p. 114; Guimarães, 2014, p. 24; Lobo, 2018, p. 33).

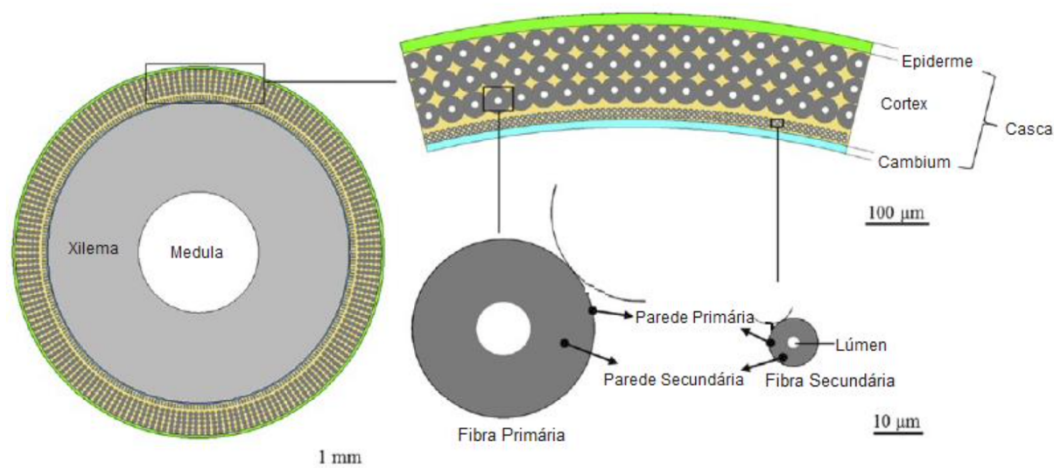


Figura 8 - Representação esquemática da secção transversal do caule do cânhamo e representação das fibras primárias e secundárias (Bueno, 2019, p. 13)

Os principais componentes químicos presentes nas fibras de cânhamo, dependem de diversos fatores “nomeadamente dos procedimentos analíticos de cada laboratório, da origem geográfica e maturidade da planta, condições e fertilizantes do solo, humidade, temperatura, parte da planta de onde foi extraída a fibra e como foi extraída” (Lobo, 2018, p. 34).

Esses elementos da composição química do cânhamo e percentagem, são mostrados na tabela 1, de acordo com Albinante et al. (2013, p. 114), Guimarães (2014, p. 23), Lobo (2018, p. 34) e Baptista & Santos (1999, p. 39).

Tabela 1 - Composição química das fibras da planta do cânhamo

Fibra	Celulose %	Hemicelulose %	Lignina %	Pectina %
Cânhamo	74	18	4	4

Com esta composição química, a maioria das fibras naturais, têm um elevado grau de absorção de humidade.

1.4. Utilização de cânhamo em produtos

1.4.1. O cânhamo na construção

O sector da construção é dos sectores que maior impacte ambiental tem, e por consequência estão a ser tomadas, a nível global, medidas para reduzir esses impactes (Santos, 2013, p. 1).

De acordo com Santos (2013, p. 1), um dos maiores consumidores de recursos naturais é o setor da indústria da construção. A maioria dos sistemas de construção são ainda muito tradicionais e por isso com grande impacte ambiental, como afirmam Bragança e Mateus (2004, p. 1).

Com esta realidade no sector da construção, a construção sustentável aparece como uma forma de otimizar e modernizar as práticas tradicionais de construção (Santos, 2013, p.1). Escolher os materiais com a finalidade de reduzir os impactes ambientais é um processo importante para termos uma construção em termos sustentáveis, e para isso usamos materiais ecológicos que ao ser comparado o seu ciclo de vida aos materiais tradicionais, têm menor impacte ambiental (Santos, 2013, p.1).

A construção que ainda prevalece em todo o planeta é a construção que aplica meios e materiais iguais à construção que era feita há 100 anos. Usa recursos de todos os quadrantes desde água, areia, sintéticos, madeira, químicos, isolantes, metalúrgicos, entre outros. Com a extração desses recursos, gera-se um grande impacte sobre o ambiente, o que torna hoje em dia, na sua maioria, uma construção insustentável. O impacte ambiental começa a ser uma preocupação na construção começando pela seleção dos materiais. Um esforço positivo para diminuir esse impacte é a substituição de parte da matriz cimentícia por fibras naturais (Mostefai, Hamzaoui, Guessasma, Amadou & Nouri, 2015, p. 1). Recentemente as construções usam compósitos sustentáveis e renováveis, constituídas por fibras naturais que também são usadas para produtos de isolamento, por exemplo (Sair et al., 2018, p. 5).

“Os resíduos de construção surgem como resultado de ineficiências causadas por empreiteiros de construção” (Esposito et al., 2018, p. 8). Presume-se que é nos estágios iniciais do projeto de uma estrutura que os desperdícios são <construídos> e por isso é importante aplicar um projeto estrutural adequado desde o começo,

“prestando atenção à circularidade e reutilização dos materiais individuais e componentes dentro dele” (Esposito et al., 2018, p. 8).

Construção sustentável

Um modo de vida sustentável, é uma vida desenvolvida com o uso de materiais sustentáveis. Hoje, devido à escassez de recursos naturais, procuramos usar materiais sustentáveis tanto em produtos do dia a dia, como em componentes usados na construção. A construção tradicional, usa o betão e está a causar a depleção de recursos naturais, o que conduz a um impacte ambiental drástico sobre a natureza. O betão <reciclado> pode ser produzido a partir de betão existente ou produzido com materiais inertes. O interesse é “conseguir um novo material com um desempenho aceitável”, diz Awwad (Mabsout, Hamad, Farran & Helmi, 2012, p. 1).

Em toda a Europa, a indústria da construção, tem um peso significativo no PIB e na produção de emprego devido a ser um dos maiores e mais ativos setores na Europa (Pinheiro, 2006, citado em Santos, 2013, p. 8). Como ainda é um setor que usa meios de construção tradicional, é um dos que mais impactes ambientais gera. Deste modo, Lucas (2008, p. 8) defende que com a grande influência que a indústria tem no nosso dia a dia, é muito importante aplicar os princípios da sustentabilidade nesta atividade e uma dessas medidas é a escolha dos materiais a utilizar.

Segundo Pereira (2009, citado em Santos, 2013, p. 9) “o objetivo da construção sustentável é executar um edifício que reúna as vertentes seguintes: ambiental, económica e sociocultural”. Uma construção competitiva era considerada quando esta tivesse uma diminuição do período de construção sem alterar os custos e permitia uma recuperação rápida do investimento (Mateus, 2004, p. 12).

Numa construção sustentável há uma maior abrangência de outras questões, como refere Pinheiro (2006, citado em Santos, 2013, p. 10), nomeadamente ao nível do consumo de recursos, emissões poluentes e a construção deve ter como objetivo aumentar a qualidade de vida e ajudar num desenvolvimento económico e social.

Lucas (2008, p. 15) afirma que a construção sustentável é uma nova forma de planear, construir e manter os edifícios e de acordo com Pinheiro (2009, p. 10) o principal objetivo é satisfazer as necessidades básicas das populações e simultaneamente existir a proteção dos ecossistemas sem exploração excessiva dos recursos.

Uma forma de amortizar os impactos ambientais que são criados durante a construção é aumentar o ciclo de vida do edifício, aumentando assim a sua vida útil, e é na fase de projeto que devem ser escolhidos os materiais de construção aplicar (Costa, 2010, p. 67). Para uma construção ser sustentável é importante a escolha dos materiais e por isso os técnicos devem conhecer o ciclo de vida de cada material, defende Eires (2006, p.13). Reduzir impactos ambientais é escolher materiais que tenham baixos níveis de energia incorporada, que a desmontagem seja uma tarefa simples com o intuito de facilitar a separação e/ou reutilização dos seus componentes numa fase de remodelação ou demolição do edifício (Bragança et al, 2012, p. 2).

O conceito de <ciclo de vida> foi integrado na construção e nos materiais utilizados nela, que passa pela produção de materiais, construção, uso e manutenção do edifício e o desmantelamento/demolição na fase final (Tian Yan e Min, 2012, p. 2).

Segundo Torgal e Jalali (2010, p. 442), a análise do ciclo de vida de um material “inclui o ciclo de vida completo do produto, processo ou atividade, ou seja, a extração e o processamento de matérias-primas, a fabricação, o transporte e a distribuição, a utilização, a manutenção, a reciclagem, a reutilização e a deposição final.” Sendo assim, com o objetivo de facilitar a seleção dos materiais de construção, analisar o ciclo de vida dos materiais têm vindo a ganhar importância (Kibert, 2012, p. 21).

Fibras de cânhamo na construção

O uso do cânhamo no setor da construção tem aumentado devido às propriedades muito semelhantes que ele oferece em comparação aos materiais tradicionais (Santos, 2013, p. 2).

A haste do cânhamo é constituída por fibras, caule, epiderme e o espaço oco (Mostefai, 2015, p. 1). Usando as fibras da planta canábica, já foi provado conseguir-se substituir eficientemente materiais à base de petróleo (materiais sintéticos) por produtos sustentáveis e amigos do ambiente. Segundo Riboulet-Zemouli (et al., 2019, p. 68), alguns exemplos de produtos de construção que ao serem utilizados em infraestruturas, torna-as sustentáveis e mais eficientes são:

- Cimento (hempcrete): é uma mistura de cal e fibras e pode ser usado quer na construção como em isolamentos. A cal e as fibras solidificam ao longo do tempo o que produz um material forte e resistente.

- Óleos industriais: usando os óleos das sementes da canábida, são pressionadas para extrair esse óleo que é usado na fabricação de tintas e isolantes. Estes compostos não têm nenhum composto orgânico volátil, o que permite a não contaminação do ar interior dos edifícios.
- Plásticos e compósitos: estão a ser desenvolvidos uma série de produtos (poliéster, polietileno, polipropileno), chamados biocompósitos feitos com as fibras do cânhamo. São materiais mais resistentes, duráveis e de baixo custo.

Na construção já se usam fibras de cânhamo para reforço de materiais à base de cimento. O betão de cânhamo, ou hempcrete, é feito quando se mistura o núcleo lenhoso do cânhamo, em fragmentos, com um aglutinante à base de cal (American Lime Technology, 2012; Crini et al., 2019, p. 5). A boa ligação com a cal vem do elevado teor de sílica do núcleo lenhoso e acontece o processo de petrificação, ficando as fibras ativadas na presença de cal e água, afirma Eires (et al., 2010, p. 2).

Em alguns países da Europa, como na Alemanha, França e Reino Unido, o hempcrete tem sido estudado e aplicado com diferentes composições da matriz cimentícia (Santos, 2013, p. 31). Existem inúmeras aplicações, tais como “coberturas, paredes interiores e exteriores, substituindo assim a parede de tijolo convencional com o isolamento térmico ou acústico e revestimentos como o gesso cartonado” (Santos, 2013, p. 31).

Betão de cânhamo (hempcrete)

A construção com hempcrete permite ter vantagens quando comparada à construção convencional. Segundo Eires (2008, p. 45), usando fibras de cânhamo conseguimos obter uma respiração natural do edifício e dado à sua capacidade de absorção e resistência à água não ocorre condensação. Em termos acústicos, devido ao elevado teor de sílica e porosidade, a construção apresenta isolamento térmico e acústico e devido à sua flexibilidade evitam-se formações de fissuras pois consegue adaptar aos movimentos próprios de qualquer construção. Na segurança, é um material não inflamável e não tóxico. É também resistente a insetos, fungos e bactérias o que lhe confere vantagem às construções em terra crua ou em fardos de palha. Como menciona Sair (2018, p. 5), com o estudo que realizou, a condutividade térmica aumenta com a introdução de fibras de cânhamo num produto de construção,

o que faz com que haja menos consumo de energia se for usado num painel de construção. O estudo indica que com aplicação da fibra do cânhamo, a condutividade térmica é maior que na matriz de poliuretano.

Vantagens e desvantagens do uso do cânhamo na construção

Segundo Riboulet-Zemouli (et al., 2019, p. 68), a planta canábica têm a vantagem de conseguir o sequestro e armazenamento de carbono, tanto quando estão a ser usadas as suas fibras nos bioplásticos e biocompósitos, mas também durante a sua fase de crescimento: cada quilograma de cânhamo sequestra cerca de 1,8 a 2,0 kg de dióxido de carbono, refere Riboulet-Zemouli et al. (2019, p. 68). O cultivo do cânhamo não requer pesticidas, deixa o solo com nutrientes e azoto, combate a erosão do solo superior e produz oxigénio (Awwad et al., 2012, p. 2). Existe também incorporação de carbono quando as fibras de cânhamo estão em materiais de construção e por isso “o carbono incorporado do cânhamo poderá ser considerado zero ou negativo, pois em 1 m³ de cânhamo podem ser aprisionados 108 kg de CO₂” (Hemp Architecture, s.a., citado em Santos, 2013, p. 36). A fibra de cânhamo tem um ciclo de corte relativamente curto e pode ser cultivado em diferentes ambientes. (Sair et al., 2018, p. 5)

Riboulet-Zemouli (et al., 2019, p. 81), afirma que a alternativa que a canábica oferece para a produção de materiais sustentáveis deve ser levado em consideração para desenvolver estratégias de redução do uso de combustíveis fósseis e outros recursos naturais. Se conseguirmos um novo material reforçado com fibras de cânhamo e que tenha uma resposta em termos físicos e térmicos satisfatórios, conseguimos permitir uma redução de agregado (Awwad et al., 2012, p. 1).

As desvantagens verificam-se maioritariamente na dificuldade de acesso à matéria prima e à necessidade de mão de obra especializada. Devido ao uso da cal, verifica-se um tempo de secagem lento, dos materiais que usam fibras de cânhamo. Hoje, o custo dos materiais da fibra de cânhamo ainda é elevado visto que as mentalidades ainda não estão <convencidas> com as qualidades das fibras e há ainda muito trabalho para conseguir alterar essa perspetiva (Santos, 2013, p. 52).

1.4.2. Cânhamo na indústria automóvel

O interesse em substituir metais e compósitos de fibras sintéticas por compósitos de polímero reforçado com fibra natural (NFRP), é a necessidade que a indústria automóvel tem para produzir veículos mais leves e assim baixar o consumo de combustível.

Reduzindo-se cerca de 10% do peso total do veículo, irá levar a uma eficiência de combustível em cerca de 7%, o que permite que seja evitado o envio de GEE para a atmosfera (Chauhan et al., 2019, p. 2).

As diretrizes e a legislação rigorosa da União Europeia (UE), diz que a indústria dos transportes tem que utilizar materiais que tenham uma pegada de carbono menor. Chauhan et al. (2019, p. 2), afirma que é pedido que “os fabricantes de automóveis considerem o impacto ecológico em todo o ciclo de vida do veículo, incluindo a produção de matéria prima, fabricação, uso e eliminação”.

Por isto os materiais compostos NFRP são uma boa escolha nesta substituição (Chauhan et al., 2019, p. 1). Anteriormente houve uma substituição das ligas de aço por ligas de alumínio e agora, estas últimas, estão a ser substituídas pelos compostos NFRP (Chauhan et al., 2019, p. 2).

Já Henry Ford, em 1941, “usou plásticos à base de cânhamo para construir portas e para-lamas de carros” (Crini et al., 2020, p. 1458). Ele previu assim que o seu protótipo de automóvel seria mais leve, mais barato, mas sem deixar de ser elegante.

Cerca de 25% do peso total de um veículo é representado por plásticos, fibras, espuma de vidro e restos de borrachas. O tratamento dos resíduos de veículos no fim de vida representa um problema ambiental e consequência disso está-se a tomar medidas na questão da gestão desses resíduos e na escolha de materiais de melhores características nas respostas à indústria automóvel (Karche, 2019, p. 715).

Um pesquisador da Universidade de Warwick no Reino Unido, James Meredith, testou a taxa de absorção específica (SAR - Specific Absorption Rate) de três compostos naturais muito fibrosos: o cânhamo, o linho e a juta. O documento que ele publicou refere que foi o cânhamo que resistiu a uma maior SAR, provando assim que “o cânhamo pode suportar uma pressão enorme em relação à sua massa muito leve”, o que coloca o cânhamo num lugar de um ótimo substituto para a fibra de vidro usada em painéis de automóveis (Karche, 2019, p. 715).

Atualmente já há marcas na indústria automóvel que incorporam compostos de cânhamo em aplicações internas e externas dos seus modelos de veículos (Karche, 2019, p. 715; Crini et al., 2020, p. 1458), temos exemplos disso nas marcas alemãs Mercedes, Volkswagen Golf e o modelo elétrico i3 e o híbrido i8, ambos da marca BMW, que foram construídos tendo na sua estrutura plástico incorporando cânhamo (Karche, 2019, p. 715; Crini et al., 2020, p. 1459).

Também na indústria automóvel francesa, para fabricação de modelos, como o Peugeot 308, Megane, DS7 Crossback e na indústria italiana, no modelo Alfa Romeo Giulia, são usados produtos que são compostos de polipropileno reforçado com fibra de cânhamo (Crini et al., 2020, p. 1459).

1.4.3. Cânhamo para alimentação humana e o seu potencial nutricional

Com o aumento populacional mundial, há uma necessidade de procurar alternativas às proteínas animais devido à preocupação com a saúde e o impacto ambiental do consumo excessivo de carne. É urgente satisfazer a procura por proteína vegetal ao mesmo tempo que se aumenta a segurança alimentar e se diminua a pegada ecológica na área da produção de proteínas para consumo humano (Pihlanto, Mattila, Mäkinen & Pajari, 2017, p. 3453).

É conhecido que o cânhamo é usado como alimento há mais de 3000 anos (Fike, 2016, p. 417; Karche, 2019, p. 714), mas perdeu a sua importância como alimento quando se soube das propriedades psicoativas da planta do cânhamo.

Hoje em dia os maiores países produtores agrícolas de sementes de cânhamo são o Canadá, Austrália, Áustria, China, Grã-Bretanha, França e Espanha (Wang & Xiong, 2019, p. 936).

Os estudos indicam que os benefícios nutricionais do cânhamo se devem à constituição das sementes contendo a proteína edestina. Esta proteína é muito rica em ALA, uma boa fonte de gordura saudável e que contém todos os aminoácidos essenciais (Pihlanto et al., 2017, p. 3445; Karche, 2019, p. 714; Mamone, Picariello, Ramondo, Nicolai & Ferranti, 2019, p. 562)

Um benefício do consumo das sementes de cânhamo, contendo a presença de fitosteróis, é a ajuda na redução da quantidade de colesterol no corpo, removendo

a acumulação de gordura nas artérias (Pihlanto et al., 2017, p. 3454; Karche, 2019, p. 714).

A constituição das sementes integrais de cânhamo contém cerca de 20 a 25% de proteínas, 20 a 30% de hidratos de carbono e 10 a 15% de fibras insolúveis. Adicionalmente, estas sementes, são ricas em minerais como o fósforo, cálcio, potássio, magnésio, enxofre e ainda pequenas quantidades de ferro e zinco. Em relação às vitaminas, as sementes de cânhamo possuem também quantidades adequadas de vitamina E e do complexo B (Wang & Xiong, 2019, p. 936; Karche, 2019, p. 716).

Em relação ao teor de proteína presente na semente do cânhamo, ela é facilmente digerida e contém todos os 21 aminoácidos, incluindo os 9 aminoácidos essenciais, que o corpo humano não consegue produzir (Pihlanto et al., 2017, p. 3445; Karche, 2019, p. 716).

Os aminoácidos são importantes porque realizam no corpo humano a função de dar estrutura às células e são essenciais para a cura de feridas e reparação de tecidos (Karche, 2019, p. 716).

A proteína presente em maior quantidade, cerca de 65% da proteína total, nas sementes do cânhamo, é a edestina, que é uma proteína facilmente digerível e é muito semelhante às proteínas globulares que se encontram no plasma sanguíneo (Pihlanto et al., 2017, p. 3445; Mamone et al., 2019, p. 563; Wang & Xiong, 2019, p. 936; Karche, 2019, p. 716).

Esta proteína ajuda na manutenção e fortalecimento do sistema imunitário porque produz anticorpos que são vitais para o bem-estar dos seres vivos. Uma vez que esta proteína se assemelha à globulina do plasma sanguíneo, há uma grande compatibilidade com o sistema digestivo humano o que pode explicar o baixo número de alergias alimentares registadas com o uso de alimentos contendo cânhamo (Wang & Xiong, 2019, p. 937; Karche, 2019, p. 716).

O uso das sementes e do óleo do cânhamo, sendo o teor do óleo aproximadamente 30%, está a aumentar pelo mundo porque estão a ser reconhecidos os seus benefícios nutricionais e a sua versatilidade na produção para alimentos (Fike, 2016, p. 418; Pihlanto et al., 2017, p. 3445; Karche, 2019, p. 716).

No Canadá e na China as plantações do cânhamo são quase exclusivamente para o uso das suas sementes e óleo. São as sementes inteiras que abrangem a maioria da produção total, cerca de 73.2% (Karche, 2019, p. 716).

As sementes são usadas tanto para alimentação humana como para alimentação de animais, por exemplo de aves e de peixes. O óleo de cânhamo é o produto mais caro, representando cerca de 15.7% do uso total da produção de cânhamo (Karche, 2019, p. 716). Este óleo tem uma composição única de proteína facilmente digerível e uma elevada quantidade de óleos, chamados ácidos gordos polinsaturados, sendo estes muito importantes na saúde humana (Karche, 2019, p. 716).

Na fração menos volátil do óleo de cânhamo encontram-se canabinóides, entre os quais, o mais predominante, o CBD. Este é formado pelo ácido canabidiólico (CBDA). A obtenção do CBD, pode ser facilmente conseguida com o processo de destilação do cânhamo (Fiorini et al., 2019, p. 582).

O CBD é considerado um composto não psicoativo e que neutraliza os efeitos negativos do THC. Este tipo de canabinóide tem várias vantagens em tratamentos de doenças como esclerose múltipla e epilepsia, combate os efeitos colaterais da quimioterapia, bloqueia os recetores opióides e assim ser usado no tratamento de dependência, em doenças inflamatórias, entre outras (Fike, 2016, p. 418; Fiorini et al., 2019, p. 582). É conhecido também o seu “poder nas atividades antioxidantes, neuroprotetoras e imunomoduladoras” (Fiorini et al., 2019, p. 582).

A proporção de 3:1 de ácido linoleico para ácido α -linoleico, necessários para a nutrição humana, é, neste campo, uma proporção considerada ótima e altamente benéfica para a saúde humana. É a única planta conhecida, que contém os óleos essenciais para a vida com esta relação perfeita (Fike, 2016, p. 418; Pihlanto et al., 2017, p. 3445; Karche, 2019, p. 716).

Também se encontra presente, em óleo, um ácido de potencial eficácia terapêutica, o ácido γ -linoléico que tem mostrado eficácia com propriedades anticancerígenas, anti-inflamatórias e antitrombina, como aumenta a taxa de queima metabólica nos seres humanos. Com estas características a gordura em óleo de semente do cânhamo é constituída por cerca de 75-80% de gordura polinsaturados e menos de 10% de gordura saturada (Karche, 2019, p. 716).

Um produto inovador é o pó de proteína de cânhamo, sendo uma fonte completa de proteína e fibras, contem antioxidantes, gorduras saudáveis e minerais. São proteínas com um grau de digestibilidade de cerca de 91-98%, segundo Karche, “devido à presença de edestina e albumina, é uma proteína que se decompõem facilmente, em comparação com as proteínas de origem animal, que são menos digestíveis” (Karche, 2019, p. 720). Um teor elevado de fibra, tem benefícios para os problemas de açúcar no sangue, torna a fauna bacteriológica do intestino mais saudável e reduz o risco de cancro no intestino (Karche, 2019, p. 720).

Devido às qualidades nutricionais das sementes de cânhamo, foram lançados novos produtos no mercado tais como manteiga, óleo, leite e farinha de cânhamo (Wang & Xiong, 2019, p. 949; Mamone et al., 2019, p. 563; Karche, 2019, p. 714). Já o óleo pode ter diferentes aplicações em produtos nutricionais e em cosméticos, no campo farmacêutico e na agricultura orgânica (Fiorini et al., 2019, p. 582).

1.4.4. Cânhamo na fabricação de papel

Atualmente o aumento da procura por madeira leva diretamente ao aumento da desflorestação, deteriorando habitats e ameaçando recursos naturais. Para o fabrico de produtos na indústria de celulose e papel, cerca de 40% da matéria-prima usada, vem diretamente da madeira, obtendo as fibras de plantações florestais (Danielewicz & Surma-Slusarska, 2017, p. 5173).

A polpa de madeira é a mais utilizada para fabricação do papel a nível mundial. Karche (2019, p. 717) afirma que

a pressão da procura do papel é tal, que as árvores são cortadas a uma velocidade de três vezes, em comparação com a taxa de crescimento, e tem como consequência o aumento do custo do papel e a importância maior do reflorestamento.

O aumento do uso do cânhamo para fabricação de papel, “irá levar a um equilíbrio na produção e no consumo, reduzindo a pressão sobre as florestas” (Karche, 2019, p. 717).

Usar a planta de cânhamo com a finalidade de produzir papel teve início na China e chegou a ideia à Europa pelo século XII, espalhando-se para outros países. Até ao século IXX, a produção mundial de papel, usando as fibras do cânhamo

representavam cerca de 80% do total. O uso do cânhamo era tão popular que a Declaração de Independência e da Constituição dos Estados Unidos da América (EUA), em 1787, foram escritas em papel feito com as fibras da planta do cânhamo (Karche, 2019, p. 717).

O cânhamo é uma planta distinta para fabricação de papel. Cerca de 80% do total das fibras da planta, consideradas as fibras naturais mais fortes do mundo, são constituídas entre 50 a 77% de celulose, que é a matéria prima ideal para a produção de papel (Karche, 2019, p. 717). Importa salientar que o papel produzido com fibras de cânhamo contém três vezes mais celulose do que o papel produzido com fibras de madeira, afirma Karche, 2019.

A matéria-prima da fibra da planta tem boa resistência, boa flexibilidade, devido à fibra lisa e macia e uma espessura de parede celular pequena (Yao et al., 2017, p. 1).

Em comparação com fibras de bétula e de pinho, para fabricação de papel, são as fibras de cânhamo que têm as propriedades mais úteis (Danielewicz & Surma-Slusarska, 2017, p. 5173).

Uma possibilidade para reduzir o consumo de fibra de madeira em produtos de papel e cartão (Jianyong & Jianchun, 2014, p. 2), solução pedida pelas diretrizes ambientais da UE, passa por usar matéria prima fibrosa não lenhosa, sendo uma biomassa vegetal que “é produzida anualmente em grandes quantidades em todo o mundo num ciclo de crescimento muito mais curto do que a madeira” (Danielewicz & Surma-Slusarska, 2017, p. 5175).

A grande vantagem do cânhamo, em contraponto com outra biomassa, é o maior rendimento por hectare de cultivo: na mesma área de plantação, com o cânhamo é possível quadruplicar a produção de papel em comparação com a madeira usada para fabrico de papel. Dependendo da área geográfica e da forma de cultivo, a produção varia de, no mínimo, 5t/ha/ano, até 22t/ha/ano (Danielewicz & Surma-Slusarska, 2017, p. 5174; Karche, 2019, p. 717).

Os produtos concebidos nas fábricas de papel que usam fibras de cânhamo na sua matriz, detêm excelente qualidade e durabilidade. Os tipos de papéis produzidos atualmente a partir do cânhamo, são papéis de uma alta qualidade para escrita e impressão, papéis de arquivamento, filtros de papel para análise técnica e

científica, para trabalhos de isolamento, filtro de café, papel para cigarros, sacos de chá, papéis artesanais e bíblicos, e papéis especiais para arte (Yao et al., 2017, p. 1; Karche, 2019, p. 717).

O papel de cânhamo tem várias vantagens, o que o torna mais exclusivo. É muito durável e com o tempo não fica com o tom amarelado. Não requer branqueamento, mas pode ser feito. “A transformação química durante o fabrico de papel é mínima e menos tóxica, ao contrário do papel feito a partir de madeira que usa cloro ou dioxina”, afirma Karche (2019, p. 717).

Pelo ano 2015 existiam apenas 23 fábricas em todo o mundo a usarem as fibras do cânhamo para produção de papel, em países como os EUA, Reino Unido, França, Espanha, Turquia e na Europa Oriental. Como afirma Karche (2019, p. 717), “em termos globais, 89% da produção mundial de papel vem a partir da madeira e apenas 11% vem a partir de fibra vegetal não lenhosas.”

Contudo é necessário ter em consideração os altos custos de investimento na construção de uma unidade fabril para produção de papel com fibras de cânhamo (Danielewicz & Surma-Slusarska, 2017, p. 5174).

Também no aspeto da reciclagem, o papel de cânhamo assume vantagem em relação ao papel de polpa de madeira normal, uma vez que este último pode ser reciclado por três vezes e o papel de cânhamo pode ser reciclado em torno de 7 a 8 vezes (Karche, 2019, p. 717).

1.4.5. A fibra do cânhamo no têxtil

A indústria do têxtil está sob foco atento em relação à poluição ambiental gerada na produção dos seus produtos. A grande procura mundial de fibras para esta indústria, foca-se nas fibras sintéticas que estão associadas aos combustíveis fósseis e ao algodão que é uma cultura exigente no consumo de água e de agroquímicos (Gedik & Avinc, 2018, p. 82).

Após serem retiradas as sementes, por exemplo para produção de CBD, as fibras das plantas podem ser consideradas um subproduto barato, e podem ser convertidas em produtos com alto valor económico (Rijavec et al., 2017, p. 36).

A fibra de cânhamo é usada desde os tempos dos descobrimentos, nas velas e cordas dos navios, pela sua singularidade e durabilidade. Uma das grandes vantagens do uso de matéria têxtil feita de cânhamo é a sua sustentabilidade. Segundo Karche (2019, p. 717) “cada vez que as fibras sintéticas são lavadas, microfibras são drenadas para o oceano, danificando a fauna marinha” e essas mesmas fibras permanecem nos aterros pelo período de 300 anos. As fibras de algodão, mesmo sendo biodegradáveis, contaminam os locais, onde são colocadas para decomposição, com os produtos químicos que são utilizados no processo de produção.

Sendo a fibra do cânhamo uma fibra natural e que se decompõem num espaço de um mês, e o seu método de produção quase sem químicos, coloca-a num patamar de sustentabilidade excecional. Tem uma necessidade muito baixa de fertilizantes e herbicidas, menor consumo de água, em comparação à produção do algodão, tornando a plantação do cânhamo uma cultura de baixo consumo e é adequada para ser implementada em “sistemas agrícolas modernos ecologicamente corretos”. (Liu, Thygesen, Summerscales & Meyer, 2017, p. 660; Gedik & Avinc, 2018, p. 82).

As grandes vantagens dos produtos têxtil feitos com fibra de cânhamo são o conforto, juntamente com a durabilidade, fornecendo suavidade e uma sensação de calor ou frio devido ao ar aprisionado nas fibras, sendo aquecido pelo corpo, provocam uma sensação de bem-estar em climas frios e a água do suor, em temperaturas mais quentes, é absorvida pelas fibras porosas aumentando assim o conforto térmico. É indicado também que as fibras são resistentes à luz ultravioleta (Gedik & Avinc, 2018, p. 82; Karche, 2019, p. 717).

Tendo tantas vantagens a nível ambiental e de conforto, as fibras de cânhamo podem num futuro próximo ganharem popularidade por serem uma excelente escolha de fibras em comparação ao algodão, ao linho ou ao poliéster (Karche, 2019, p. 717).

1.4.6. Cânhamo nos produtos cosméticos

Para as pessoas que adotam produtos naturais para usarem na sua pele, o cânhamo está a chegar em força aos produtos de cosmética devido a ser rico na

hidratação da pele com os ómeas 3,6 e 9, ajuda a curar a inflamação da pele, reduzir e equilibrar o acne e a oleosidade natural da pele (Crini et al., 2019, p. 5).

Para a indústria da cosmética, o principal composto do cânhamo é o canabidiol (CBD) que segundo o autor “tem propriedades antioxidantes e de antienvelhecimento... e promove a reparação da pele e do rejuvenescimento... protegendo a pele dos danos ambientais, como a exposição excessiva à luz solar” (Karche, 2019, p. 718). Os especialistas em cosméticos indicam que os produtos à base de cânhamo, formam uma ótima barreira à poluição e ajudam a aliviar os músculos. Estes produtos são considerados orgânicos e “são muito seguros, mesmo para as peles mais sensíveis” (Karche, 2019, p. 718). O cânhamo não é apenas um ingrediente cosmético <stand-alone>, mas pode ser também usado como um aditivo em champôs, sabonetes, condicionadores, produtos para o cabelo, bálsamos para os lábios, cremes para as mãos, batons e desodorizantes (Karche, 2019, p. 718).

1.4.7. Cânhamo – óleos essenciais

Existe alguma confusão entre óleos essenciais com o óleo do cânhamo. O óleo essencial do cânhamo provem das folhas superiores e das flores da planta, segundo Karche (2019, p. 718). Se corretamente extraído, o óleo essencial do cânhamo tem considerável valor comercial. Com cerca de 22,5 kg de cânhamo conseguimos extrair cerca de 30 ml de óleo essencial (50 libras para 1 onça) (Karche, 2019, p. 718).

O ácido linoleico (LA) e o ácido linolênico (LNA), presentes no óleo essencial do cânhamo, trazem benefícios para os seres humanos como o fornecimento de brilho na pele, mantendo-a macia e flexível e permite que ela absorva outros ingredientes ativos no cabelo e potencia a saúde dos olhos. É um bom apoio anti-inflamatório e atua como protetor com efeito repelente contra muitos insetos (Karche, 2019, p. 718).

1.4.8. Cânhamo como reforço nos compostos de plástico

De todo o plástico fabricado no planeta, apenas 9% é reciclado e 79% acaba nos aterros e em ambiente natural, segundo Geyer, Jambeck e Law, 2017, p. 1.

Os oceanos estão cheios de milhões de minúsculos microplásticos que poluem a água e muitas vezes são comidos pela vida marinha acabando por entrar na cadeia alimentar do homem. Estima-se que por cada milha quadrada existam 1,9 milhões desses microplásticos (Karche, 2019, p. 719).

Por serem produtos à base de petróleo, tanto os plásticos como os resíduos produzidos no processo do seu fabrico, têm efeitos muito nocivos e devastadores sobre o solo, o ar, a água e a vida selvagem. Por este impacte negativo, existem hoje esforços na criação de produtos e abordagens <eco-friendly>, com o objetivo de diminuir a pegada negativa sobre o planeta e reduzir a aceleração das mudanças climáticas e os riscos ambientais (Karche, 2019, p. 719).

Plásticos produzidos à base de cânhamo são uma solução real para continuar a usarmos produtos de plástico, tão úteis nas nossas vidas, mas diminuindo a nossa pegada ecológica.

Bioplásticos ou biocompósitos podem ser fabricados a partir dos caules da planta de cânhamo, por ser esta a zona da planta que é rica em celulose, requisito para a fabricação deste tipo de produto. Usando materiais ambientalmente corretos, que são recicláveis, biodegradáveis e renováveis, contribuindo assim para a diminuição do impacte ambiental causado pelos produtos à base de petróleo (Chauhan et al., 2019, p. 1; Karche, 2019, p. 719; Gholampour & Ozbakkaloglu, 2020, p. 829).

Os biocompósitos, fabricados de biopolímeros, podem ser classificados como totalmente ou parcialmente verdes, apenas diferem se na sua matriz são usadas apenas resinas de base biológica ou também resinas petroquímicas, respetivamente; contudo as fibras naturais são usadas em ambos os casos (Gholampour & Ozbakkaloglu, 2020, p. 830).

Os polímeros reforçados com fibras naturais (NFRP) podem ser aplicados na indústria aeroespacial e na de automóveis, na indústria militar, da construção, de embalagens, de equipamento médico e desportivo, entre outros (Chauhan et al., 2019, p. 2; Crini et al., 2019, p. 5; Gholampour & Ozbakkaloglu, 2020, p. 830).

Também as fibras naturais, estão a ser usadas para substituir as fibras sintéticas na produção de Compósitos Reforçados com fibras Naturais (NFC). As fibras ao serem introduzidas como agentes de reforço em compostos, pode-se fabricar

produtos com uma mistura de fibras de cânhamo e outras, com a facilidade de se incorporarem, ficando o produto final com uma qualidade desejável (Karche, 2019, p. 717). “Um composto é considerado qualquer material multifásico que exibe uma proporção das propriedades das fases constituintes de tal forma que uma melhor combinação de propriedades seja realizada”, afirma Liu et al. (2017, p. 661). Estas fases, costumam ser duas: a matriz, chamada também como fase contínua, que envolve a segunda fase que é o reforço, ou fase descontínua (Liu et al., 2017, p. 661).

Muitos designers de compósitos, preferem usar as fibras de cânhamo devido às suas propriedades mecânicas superiores e por serem considerados materiais ecologicamente corretos (Gedik & Avinc, 2018, p. 83).

Para haver uma aplicação bem-sucedida dos NFC e um desempenho mecânico aceitável e com durabilidade do produto final, as fibras naturais terão que levar um pré-tratamento devido às fibras terem uma superfície hidrofílica o que aumenta a taxa de absorção de humidade e suscita o ataque microbiano, levando ao enfraquecimento das ligações entre as fibras (fase descontínua) e os materiais constituintes da matriz (fase contínua) (Liu et al., 2017, p. 661).

Tem vantagens, tanto ambientais como nas características do produto final, ao serem usadas fibras naturais para produzir biocompósitos.

Este tipo de fibras como são mais leves, em comparação às fibras de madeira, incluem alta resistência e flexibilidade durante o processamento, baixo custo e uma resistência substancial à corrosão e fadiga, levando a uma qualidade dos compostos feitos de fibras naturais, que ao serem descartados depois de utilizados, chegam ao final da sua vida com uma menor pegada ecológica em comparação ao mesmo produto feito com polímeros à base de fibras sintéticas com origem em combustíveis fósseis (Chauhan et al., 2019, p. 3; Crini et al., 2019, p. 5; Gholampour & Ozbakkaloglu, 2020, p. 830).

Os produtos finais apresentam um menor risco para a saúde e têm qualidade em termos de isolamento térmico e acústico. Já em termos das desvantagens, estes compósitos possuem um teor elevado de humidade, baixa resistência ao fogo, baixa compatibilidade com resinas convencionais e baixa resistência a ataque microbiano (Liu et al., 2017, p. 661; Chauhan et al., 2019, p. 3; Gholampour & Ozbakkaloglu, 2020, p. 830).

Atualmente são fabricados plásticos com fibras 100% cânhamo ou um tipo de plástico reforçado com 30-40% das fibras de cânhamo. Estes bioplásticos com fibras

de cânhamo são 5 vezes mais duros e 2,5 vezes mais fortes do que o polipropileno, tornando um produto mais durável e mais biodegradável, tendo uma menor pegada ecológica. Um tipo de plástico industrial, usando fibras de cânhamo, será o centro das atenções num futuro próximo, principalmente na indústria automóvel e na indústria das embalagens e construção (Crini et al., 2019, p. 5; Karche, 2019, p. 719), como vimos anteriormente no capítulo do cânhamo na construção.

1.4.9. Cânhamo na produção de biocombustíveis

Nunca existiu tanta necessidade de encontrar tecnologias cada vez mais eficientes para substituir, de uma forma viável, os combustíveis fósseis para produção de energia e desbloquear um caminho mais verde na parte de produção energética recorrendo a fontes de energias renováveis e com menos impacto negativo no ambiente.

As reservas de matéria prima para produção de combustíveis fósseis, além do seu uso ser prejudicial ao ambiente e à saúde dos seres vivos, estão também à beira de esgotarem, e como consequência existe uma procura por uma alternativa sustentável.

Os biocombustíveis são uma alternativa que ajudam a diminuir a dependência de combustíveis fósseis e contribui para um ambiente mais limpo. Os biocombustíveis à base de cânhamo, segundo o autor, “são considerados uma das ferramentas mais eficazes para reduzir a dependência das importações de petróleo e na redução das emissões de efeito de estufa” (Karche, 2019, p. 719).

A planta de cânhamo é adequada para a produção de biocombustíveis por ter um crescimento rápido, alta densidade e a concentração de celulose e hemicelulose digerível, é maior em fibras de cânhamo do que em qualquer outra cultura de energia. (Schlutenhofer & Yuan, 2017, p. 924; Karche, 2019, p. 719).

Na comparação entre culturas de biocombustíveis com rendimento semelhante, a proporção de açúcares digeríveis é mais elevada no cânhamo do que nas outras culturas e exibe uma qualidade superior no combustível produzido a partir das sementes de cânhamo (Schlutenhofer & Yuan, 2017, p. 924; Karche, 2019, p. 719). Alcança ótimos parâmetros de viscosidade e de estabilidade, com exceção da

oxidação, que pode ser resolvido com a introdução de aditivos químicos como antioxidantes”, escreve Karche (2019, p. 719).

Segundo o autor (Karche 2019, p. 720), o hemp pode fornecer dois tipos de combustíveis com a diferença da parte da planta que é usada: com o óleo das sementes prensadas obtém-se biodiesel (que é um substituto do diesel de carbono neutro), mas usando as hastes, fermentando-as, temos o etanol/metanol de cânhamo. Ambos estes dois tipos de combustíveis têm enormes vantagens ambientais por ser um recurso neutro em carbono, devido às emissões dos biocombustíveis serem reabsorvidas através do processo da fotossíntese das plantas, e estes biocombustíveis usam plantas que absorvem dióxido de carbono mais rapidamente do que as árvores (Karche 2019, p. 720).

1.4.10. Domínios inovadores

O cânhamo é considerado um recurso renovável e sustentável e está em crescimento o seu uso em vários materiais inovadores. Tem o caminho aberto para ser uma nova cultura de rendimento com enormes oportunidades de mercado e meios para obter o máximo de lucro da colheita para várias aplicações. Com o avanço da tecnologia, as fibras de cânhamo estão a ser usadas na produção de nanofolhas de carbono, plásticos, filamentos para impressoras 3D, materiais absorventes de óleo e betão (hempcrete) (Crini et al., 2019, p. 5; Karche 2019, p. 720).

Uma das ideias mais inovadoras do uso do cânhamo é na produção de supercapacitadores, que são segundo Karche, “dispositivos de armazenamento de energia de longa duração... usados em sistemas de travagem de veículos elétricos, alimentação de computadores e em baterias de dispositivos sem fios”. Os supercapacitadores com maior desempenho nos dias de hoje são construídos com grafeno, mas os pesquisadores do Instituto Nacional de Nanotecnologia “descobriram que os supercapacitadores que usam cânhamo são mais eficientes e superam em armazenamento de energia, o grafeno, em cerca de 200%” (Karche 2019, p. 720).

A indústria está cada vez mais empenhada em criar produtos com matérias-primas naturais. Um exemplo desses é a produção de filamentos para impressoras 3D feitos inteiramente a partir de resíduos de cânhamo (Crini et al., 2019, p. 5). A empresa HempBioPlastic (HBP) mostrou que o plástico feito a partir do cânhamo é “mais eficiente e esteticamente mais agradável do que os outros bioplásticos no mercado e que tem mostrado ser 20% mais leve e 30% mais forte do que o Ácido

Poliláctico (PLA)” que é o plástico mais utilizado neste tipo de filamentos para impressoras 3D (Karche 2019, p. 720).

1.5. Vermicompostagem

Segundo o autor (Lourenço, 2014, p. 33) “a vermicompostagem é uma tecnologia e um processo de tratamento controlado... da fração orgânica dos resíduos com recurso a determinadas espécies de minhocas epígeas, inviabilizando-se o seu grau poluente e contaminante, produzindo-se ao mesmo tempo fatores de produção orgânicos” (Lourenço, 2014, p. 33). É uma ciência recente chamada Vermitecnologia e faz parte de um ramo da engenharia ambiental (Lourenço, 2014, p. 33), sendo uma tecnologia ecologicamente correta, limpa e com economia de energia (Baptista, 2018, p. 75; Cai, Gong, Sun, Li & Yu, 2018, p. 2; Karmegam, Vijayan, Prakash & Paul, 2019, p. 718).

Esta técnica é considerada uma boa solução para a gestão dos resíduos orgânicos, que são convertidos em produtos orgânicos estáveis, contendo microrganismos ativos, enzimas e altos teores de nutrientes e, se aplicado no solo, aumenta a fertilidade deste (Edwards & Arancon, 2009, p. 5; Fernández-Gómez, Nogales, Plante, Plaza & Fernández, 2014, p. 81; Sudkolai & Nourbakhsh, 2017, p. 63; Baptista, 2018, p. 75; Hussain et al., 2018, p. 3; Esmaeili, Khoram, Gholami & Eslami, 2020, p. 2).

A matéria orgânica sofre uma biodegradação aeróbia, num processo de oxidação bioquímica, por parte das minhocas e microrganismos sob temperaturas mesofílicas, o que estabiliza os resíduos orgânicos (Edwards & Arancon, 2009, p. 5; Fernández-Gómez et al., 2014, p. 81; Baptista, 2018, p. 74; Cai et al., 2018, p. 2; Esmaeili et al., 2020, p. 2).

Já o tempo de maturação do material a vermicompostar varia muito porque depende da composição dos resíduos, do fator temperatura e das espécies das minhocas usadas no processo de vermicompostagem (Hussain et al., 2018, p. 4).

Já em 1881, Charles Darwin, começou a dar importância às minhocas ao verificar que decompunham resíduos animais e vegetais e libertavam, *a posteriori*, nutrientes a partir destes, mas só anos mais tarde, a vermicompostagem foi enquadrada num processo científico e como sendo uma tecnologia com benefícios

(Lourenço, 2014, p. 34). Em 1896, o mesmo, apresentou provas da inteligência das minhocas, mesmo sendo estas cegas e surdas, e destacava a sua importância para a melhoria e manutenção da sustentabilidade dos solos, especificamente em sistemas agrícolas (Menezes, 2015, p. 6), denominando-as “os arados da natureza” (Baptista, 2018, p. 75).

Na vermicompostagem há uma interação, uma ação corporativa, entre espécies de minhocas detritívoras com microrganismos e fauna decompositora, afetando assim as taxas de decomposição dos resíduos, que sofrem alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas, de uma forma positiva, produzindo um vermicomposto que pode ser usado como fertilizante orgânico que é rico em substâncias húmicas e nutrientes minerais, havendo uma ciclagem de nutrientes (figura 9) desde os alimentos até ao vermicomposto, voltando aos alimentos se o produto resultante da vermicompostagem for usado como fertilizante (Edwards & Arancon, 2009, p. 5; Fernández-Gómez et al., 2014, p. 81; Lourenço, 2014, p. 35; levins, Vikmane, Kīrse & Karlsons, 2017, p. 286; Baptista, 2018, p. 75; Esmaeili et al., 2020, p. 2).

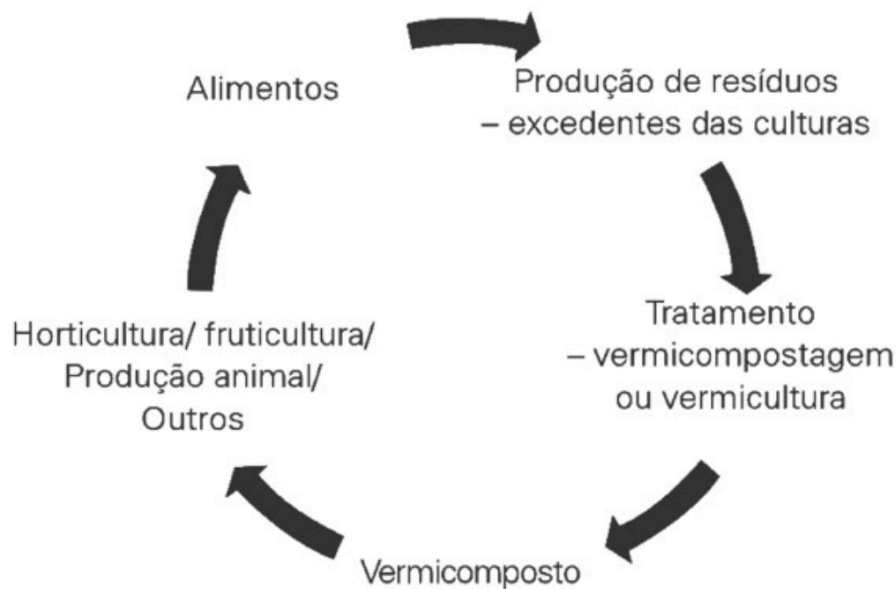


Figura 9 - Ciclagem dos nutrientes proposta para a vermicompostagem (Fonte: Lourenço, 2014, p. 33)

1.5.1. Vermicomposto

Este vermicomposto produzido é um material estabilizado e homogêneo, e quando usado como fertilizante tem benefícios relacionados com a fertilidade do solo, possuindo uma ação biológica em várias áreas nas plantas, promovendo o seu crescimento e aumentando a sua resistência a agentes patogénicos e herbívoros (Edwards & Arancon, 2009, p. 5; levins et al., 2017, p. 286; Baptista, 2018, p. 75; Esmaeili et al., 2020, p. 2).

Este crescimento nas plantas, é atribuído ao vermicomposto que contem alto teor de compostos húmicos e alto conteúdo mineral e poucos materiais tóxicos (Fernández-Gómez et al., 2014, p. 81; levins et al., 2017, p. 287; Esmaeili et al., 2020, p. 2).

As minhocas vão fragmentando e ingerindo as partículas dos resíduos o que altera a densidade microbiológica (Lourenço, 2014, p. 35). Já os fungos “têm um papel importante na degradação da lignocelulose, e de outras substâncias resistentes à degradação, que são abundantes nos resíduos verdes” (Cai et al., 2018, p. 2).

Neste processo ocorre uma respiração aeróbia, cujo um dos produtos é a produção de CO₂, mas como este “é proveniente da degradação vegetal não contribui para o aquecimento global devido ao facto de ter sido previamente removido da atmosfera através da fotossíntese” (Lourenço, 2014, p. 35).

O vermicomposto é o principal produto da vermicompostagem e é onde se encontra a mistura de excrementos de minhoca, com material orgânico decomposto, mas não ingerido por estas; apresenta elevadas taxas de mineralização (em particular azoto amoniacal e nítrico), é rico em nutrientes, fauna microbiana, hormonas de crescimento vegetal e enzimas (Fernández-Gómez et al., 2014, p. 81; Lourenço, 2014, p. 68; Baptista, 2018, p. 75).

Quando as minhocas ingerem resíduos orgânicos, “aproximadamente 60% são expulsos na forma de excrementos e materiais não ingeridos por estas” (Lourenço, 2014, p. 68) e mais a matéria orgânica decomposta, mas não ingerida por as minhocas, nas condições adequadas de humidade, o vermicomposto contem uma intensa atividade microbiana.

De uma forma científica, não podemos apontar um limite a nível de nutrientes ou condutividade elétrica para se identificar a produção do vermicomposto. Mesmo analisando a relação carbono azoto (C/N), não conseguimos determinar se todos os

resíduos já foram convertidos em vermicomposto. Empiricamente, o vermicomposto tem como critérios o “odor a terra molhada e aspeto granular castanho-escuro” (Lourenço, 2014, p. 69). Assim, como o autor afirma “os materiais utilizados a montante do processo de tratamento, sobretudo a sua composição e quantificação, irão influenciar as características e propriedades do vermicomposto” (Lourenço, 2014, p. 69), segundo o processo de formação do vermicomposto descrito na figura 10.



Figura 10 - Processo de formação do vermicomposto (Fonte: Lourenço, 2014, p. 70)

1.5.2. Vermicompostagem vs. Compostagem

Comparando a vermicompostagem com a compostagem, sendo este último um processo também aeróbio que depende essencialmente do fornecimento de oxigénio, há uma aceleração na taxa de decomposição dos substratos orgânicos na vermicompostagem (Hussain et al., 2018, p. 3) em cerca de 60 a 80% (Lourenço, 2014, p. 35).

Em relação à compostagem, a vermicompostagem produz menos odores, exige mais área disponível, porque o vermicompostor não devem ter demasiada altura, para não compactar as minhocas sendo uma tecnologia de baixo investimento em infraestruturas (Baptista, 2018, p. 75).

Existem outras vantagens da vermicompostagem comparando-a com a compostagem, tal como podemos ver na figura 11:

Vermicompostagem	Compostagem
Processo em contínuo com produção diária de vermicomposto.	Processo em descontinuo com produção periódica de composto – 90 a 120 dias.
Estritamente aeróbio.	Apesar de ser considerado um processo aeróbio, poderão ser originadas zonas anaeróbias com formação de odores desagradáveis.
Ausência de processos fermentativos característicos da ausência de oxigénio.	Possível ocorrência de processos fermentativos característicos da ausência de oxigénio, conduzindo a odores desagradáveis.
Maior controlo sobre as emissões de amoníaco – otimização da utilização do azoto pela fauna microbiana.	Menor controlo sobre as emissões de amoníaco – menor utilização do azoto pela fauna microbiana.
Minhocas como principais agentes biológicos num regime simbiótico com a fauna microbiana.	Unicamente microrganismos como agentes biológicos, podendo contudo outros organismos colonizar o processo embora de uma forma não controlada.
Produto final de maior qualidade fertilizante.	Produto final de menor qualidade fertilizante.
Temperaturas mesofílicas baixas quase sempre presentes (20-30 °C). Possível presença de temperaturas mesofílicas altas (30-40 °C) durante a fase de estabilização dos resíduos.	As temperaturas termofílicas (> 40 °C) são essenciais para o desenvolvimento do processo.
O arejamento é efetuado pela ação das minhocas.	Necessário arejamento manual ou mecanizado.
Eficácia na eliminação de organismos patogénicos.	Eliminação de organismos patogénicos nem sempre eficaz.
Processo eficiente: valor mínimo de 60%. Por cada unidade de resíduo como <i>input</i> são produzidas 0,6 unidades em vermicomposto dia ⁻¹ .	Processo pouco eficiente: por cada unidade de resíduos como <i>input</i> são produzidas 0,35 unidades em composto a cada 30 a 90 dias.

Figura 11 - Principais diferenças entre a vermicompostagem e a compostagem (Fonte: Lourenço, 2014, p. 36)

1.5.3. Fração biodegradável

A biodegradabilidade dos materiais orgânicos não tem toda a mesma velocidade de degradação. Segundo Lourenço (2014, p. 64), “os materiais que apresentem maior quantidade de lenhina, tais como papel, cartão ou palha, apresentam menor biodegradabilidade em comparação com resíduos hortícolas ou borra de café”. A taxa de decomposição dos principais componentes dos materiais orgânicos varia em função dos seus constituintes; numa escala crescente de taxa de decomposição temos: lenhinas e compostos fenólicos, lípidos e gorduras diversas, celulose, hemicelulose e por último as proteínas (Lourenço, 2014, p. 64).

A ação física das minhocas contribui para o arejamento e permite fornecer oxigénio ao sistema, que é fundamental para criar condições para a atividade

microbiana. Os resíduos orgânicos são a fonte de alimento para as minhocas e para outros microrganismos. Existem algumas necessidades químicas para os microrganismos se desenvolverem em condições adequadas: necessitam do carbono para fornecimento de energia, para produção de proteínas usam o azoto e necessidades físicas como o oxigénio para a respiração e a água para que haja passagem de oxigénio para a massa de resíduo (Lourenço, 2014, p. 37).

Existem 3 fases das ações dos microrganismos sobre os resíduos orgânicos. A primeira fase ou a degradativa é uma fase de <ataque> inicial dos resíduos pelos microrganismos e ocorrem os primeiros processos de mineralização, segundo Lourenço (2014, p. 37).

A segunda fase é a fase de colonização dos resíduos por parte das minhocas, com diferentes velocidades dependendo das características dos resíduos. É nesta fase, segundo o autor, que ocorre a “modificação das características químicas, físicas e composição microbiana” e a duração desta fase depende da densidade de minhocas presente, da quantidade e frequência do resíduo adicionado e da relação resíduo/biomassa (Lourenço, 2014, p. 38).

A última fase é a da maturação onde as minhocas migram para horizontes de resíduos superiores e é neste processo que se “originam substâncias de elevada estabilidade e resistentes à decomposição”, diz o autor (Lourenço, 2014, p. 38).

Na vermicompostagem há uma complexa cadeia trófica de que “resulta o tratamento dos resíduos orgânicos e a obtenção de materiais estáveis biologicamente” (Lourenço, 2014, p. 39).

Na cadeia trófica da vermicompostagem, as bactérias, os fungos e os ciliados, que representam a maioria dos organismos presentes, são os principais consumidores iniciais que “quebram a estrutura das moléculas e mineralizam os compostos resultantes” (Lourenço, 2014, p. 39). Já as minhocas, que são os consumidores secundários, partilham com os microrganismos o mesmo habitat e estes últimos servem de alimento para os consumidores de topo e para as minhocas. “À medida que os resíduos atravessam o trato intestinal da minhoca, a sua digestão é facilitada por microrganismos...” refere o autor, e estes fornecem alimento à cadeia quando morrem (Lourenço, 2014, p. 39).

Segundo Aira, citado em Lourenço (2014, p. 40), “os excrementos das minhocas apresentam grande importância no processo de decomposição dos resíduos, contendo microflora e nutrientes em quantidades superiores às encontradas imediatamente antes da ingestão”.

Reduzir a granulometria dos materiais orgânicos, aumenta a sua superfície específica e facilita assim o ataque microbiano. Quanto menor for a dimensão das partículas mais rapidamente se dá o ataque microbiano com uma razão no processo de tratamento até determinado valor de dimensão das partículas (Lourenço, 2014, p. 42).

Segundo o autor “os resíduos orgânicos frescos ou armazenados durante 2 semanas apresentam maior potencial de atração para as minhocas do que materiais que apresentam já um elevado grau de decomposição” (Lourenço, 2014, p. 47).

Os possíveis materiais de origem orgânica que são rejeitados, isto é incompletamente degradados, são materiais de natureza celulósica, lenhosa ou lenhocelulósica, podendo ser reincorporados na preparação de substratos (Lourenço, 2014, p. 48).

Para obter um fertilizante de alta qualidade, deverá ser combinada a técnica de compostagem e de vermicompostagem num processo de tratamento de RUB, “uma vez que a compostagem permite a desinfecção e eliminação de compostos tóxicos dos RUB, enquanto a vermicompostagem reduz rapidamente o tamanho das partículas e aumenta a disponibilidade de nutrientes para as plantas” (Baptista, 2018, p. 77).

1.5.4. Relação carbono/azoto (C/N)

Um bom parâmetro para verificar a maturidade do vermicomposto e para acompanhar o desenvolvimento dos compostos a degradar, é a razão C/N dos resíduos orgânicos (Karmegam et al., 2019, p. 725; Sudkolai & Nourbakhsh, 2017, p. 63).

Esta proporção diminui, tanto em carbono como azoto, durante o processo de vermicompostagem (Sudkolai & Nourbakhsh, 2017, p. 64). A relação diminui quando há um aumento do nível de azoto, devido há produção de excrementos ricos em azoto (Sudkolai & Nourbakhsh, 2017, p. 64).

A redução de carbono orgânico ocorre quando as minhocas melhoram as condições de respiração e assim aumentam a perda de carbono orgânico que é transformado em CO₂ (Sudkolai & Nourbakhsh, 2017, p. 64).

Podemos dividir os materiais orgânicos em duas classes: os que são ricos em carbono (materiais secos) e os que são ricos em azoto (materiais verdes). Estes dois

nutrientes são os mais importantes para a nutrição dos microrganismos e das minhocas, segundo Lourenço (2014, p. 62). A importância do carbono deve-se a ser este a fonte de energia para a atividade microbiana, representando cerca de metade da massa das suas células. Já o azoto, quer na forma amoniacal como mineral, é essencial para a composição das proteínas e representa metade da sua biomassa (Lourenço, 2014, p. 62).

A disponibilidade destes nutrientes, quantitativamente é frequente usar-se o azoto total presente e o carbono orgânico total, assumindo que todo o carbono é utilizado, mesmo o presente nas lenhinas, irá “afetar tanto o processo como a qualidade do vermicomposto final”, e os valores poderão variar dependendo se o material é mais ou menos rico em carbono e/ou azoto (Lourenço, 2014, p. 62).

O carbono que está presente no substrato é perdido por libertação de CO_2 na atividade respiratória e à medida que ocorre a morte das minhocas e dos microrganismos, é incorporado novamente no ciclo (Lourenço, 2014, p. 104). Para ser feita a sintetização das proteínas nas minhocas e nos microrganismos é necessário que exista azoto no ciclo. Segundo Epstein, citado em Lourenço (2014, p. 104), “em termos de teor em peso seco, as bactérias poderão conter entre 7 e 11% de azoto na sua biomassa e os fungos 4 a 6%”.

Para o crescimento celular das minhocas e dos microrganismos são necessárias cerca de 25 partes de carbono para 1 de azoto no substrato inicial, sendo também aceitáveis valores na ordem dos 20/1. Esta relação é variável em função das características dos materiais orgânicos, devido ao facto de “quase todo o azoto orgânico se encontrar disponível para ser utilizado pelos microrganismos” (Lourenço, 2014, p. 104) mas o carbono total presente, apenas uma fração é que se encontra disponível para ser usada como fonte de energia e de crescimento celular, por se encontrar em formas resistentes à degradação biológica.

Se a razão carbono/azoto for inferior a 15/1, poderá ocorrer um crescimento microbiano rápido, uma rápida decomposição dos materiais, há uma elevação da temperatura para valores termofílicos baixos e um consumo de oxigénio com libertação de amoníaco, que ao ser combinado com água, produzem amónia que é um composto tóxico para as minhocas (Lourenço, 2014, p. 104).

1.5.5. *Minhocas - Eisenia fetida*

Pertencente ao Domínio Eukarya, Reino Animalia, Filo Annelida, Classe Clitellata, Subclasse Oligochaeta, as minhocas têm uma grande importância para o solo (Steffen, Antonioli, Steffen & Jacques, 2013, p. 137). São conhecidas em torno de 8300 espécies de minhocas no mundo, e habitam as camadas superficiais do perfil do solo, geralmente profundidades entre 30 e 50 cm (Steffen et al., 2013, p. 137).

São vermes segmentados, com uma glândula externa, clitelo, que serve para produzir o casulo do ovo (Edwards & Arancon, 2009, p. 1; Dominguez & Edwards, 2011, p. 28). “São animais hermafroditas, a reprodução ocorre por meio de cópula e fertilização cruzada... e os casulos contêm entre 1 e 20 óvulos fertilizados” (Dominguez & Edwards, 2011, p. 28).

A sua composição química, segundo Edwards e Arancon (2009, p. 19), é repartida em proteínas (60 a 70%), hidratos de carbono (8 a 20%), gordura (7 a 10%) e minerais (2 a 3%).

Por serem seres omnívoros, ingerem alimentos de diferentes classes. Alimentam-se de resíduos vegetais em diferentes estados de decomposição, de fungos, bactérias, protozoários e nematoides, que são conjuntos de organismos decompositores, e as minhocas ingerem também excrementos, tanto os seus como os de outros organismos (Steffen et al., 2013, p. 139).

As minhocas conseguem selecionar a zona do alimento que preferem ingerir, escolhendo as partes moles das folhas assim como os resíduos que sejam mais ricos em cálcio e azoto (Steffen et al., 2013, p. 139).

Como referido acima, as minhocas têm uma grande importância para o “funcionamento do solo e a manutenção da sustentabilidade dos ecossistemas” (Steffen et al., 2013, p. 140). Elas melhoram a estrutura do solo pela sua movimentação dentro e entre horizontes. Esta movimentação cria galerias no solo o que proporciona uma descompactação do solo e melhorias na “porosidade, aeração, infiltração e retenção de água no solo” além de aumentar a resistência do solo à erosão (Steffen et al., 2013, p. 140; Baptista, 2018, p. 75).

As galerias criadas, tanto na direção vertical como na horizontal, contribuem para “os processos físicos e para a manutenção da vida no solo” e servem de abrigo para outros organismos depois de serem abandonadas pelas minhocas (Steffen et al.,

2013, p. 141). Este movimento constante das minhocas cria um ambiente característico, chamado de drilosfera que “corresponde à zona do solo influenciada pela ação das minhocas” (Steffen et al., 2013, p. 141).

Como participam na decomposição de MO, promovendo a fragmentação e redistribuição desta, contribuindo assim para a mineralização e ciclagem de nutrientes contidos na matéria orgânica (MO), libertando-os e aumentando a disponibilidade destes para as plantas, aumentam a sustentabilidade do solo (Edwards & Arancon, 2009, p. 1; Steffen et al., 2013, p. 141).

As alterações nas propriedades químicas do solo, também acontecem na presença das minhocas, tais como alterações no valor de pH e concentração de nutrientes disponíveis (Steffen et al., 2013, p. 141).

Quando acontece o crescimento e a reprodução das espécies de minhocas, que depende do tipo de substratos orgânicos fornecidos, são sinais positivos no processo global de vermicompostagem (Karmegam et al., 2019, p. 725).

As minhocas ao digerirem longas cadeias de polissacarídeos, e com um aumento da população microbiana, a estrutura das fibras é alterada e há produção de novos polissacarídeos e de ácidos húmicos (Fernández-Gómez et al., 2014, p. 85).

Para terem potencial para vermicompostagem, as espécies de minhocas têm que ter algumas características, tais como: “capacidade natural de colonizar resíduos orgânicos, altas taxas de consumo, digestão e assimilação de MO, tolerância a uma ampla gama de fatores ambientais, ciclos de vida curtos, altas taxas reprodutivas e resistência e tolerância ao manuseio” (Dominguez & Edwards, 2011, p. 29).

Uma das poucas espécies de minhocas que reúne estas características é a *Eisenia fetida* (Dominguez & Edwards, 2011, p. 29), que é a espécie usada na parte experimental desta dissertação, devido a ser considerada a espécie epigéica mais confiável para vermicompostagem (Hussain et al., 2018, p. 4).

Na tabela abaixo, tabela 2, é apresentado uma síntese dos parâmetros das condições ideais para reprodução da *Eisenia fetida*.

Tabela 2 - Valores ideais de parâmetros para acontecer a reprodução da espécie Eisenia fetida (Fonte: adaptado de Dominguez e Edwards, 2011, p. 37)

	Requisitos
Temperatura	15 °C - 20 °C
Teor de Humidade	80% - 90%
Oxigénio	Aerobiose
Conteúdo de amónia	<1 mg/g
Conteúdo de sal residual	<0,5%
pH	5 - 9

O conteúdo de amónia é um dos requisitos devido às minhocas serem muito sensíveis a este catião. As minhocas não conseguem sobreviver em resíduos orgânicos que contenham valores elevados de amónia (ideal <1 mg/g) e igualmente são muito sensíveis em resíduos orgânicos com quantidades de sais inorgânicos (ideal <0,5%) (Edwards & Arancon, 2009, p. 3; Dominguez e Edwards, 2011, p. 37; Lourenço, 2014, p. 104).

Dominguez e Edwards (2011, p. 32) afirmam que os 25 °C é a temperatura ótima para o crescimento da espécie *Eisenia fetida* e que o teor de humidade ideal para esta espécie é de 85%.

Para condições ideais, o seu ciclo de vida, que vai desde o casulo recém posto até a minhoca ser um organismo adulto clitelado, varia entre 45 e 51 dias e o tempo para atingir a maturidade sexual é entre 21 e 30 dias (Dominguez & Edwards, 2011, p. 32). Contudo, Edwards e Arancon (2009, p. 1), afirmam que o tempo para as minhocas serem sexualmente maduras é entre um e oito meses.

Já na área da reprodução, a “viabilidade de incubação está entre 72 e 82% e o período de incubação varia de 18 a 26 dias” (Dominguez & Edwards, 2011, p. 32). Dependendo da temperatura, em cada casulo, o número médio de minhocas a eclodir, varia entre 2,5 e 3,8. “Em condições controladas, a expectativa média de vida é de 594 dias a 18 °C, e 589 dias a 28 °C com uma expectativa de vida máxima entre 4,5 e 5 anos, contudo em condições naturais pode ser consideravelmente mais curto” (Dominguez & Edwards, 2011, p. 32).

Na figura abaixo, figura 12, está representado o ciclo de vida da espécie *Eisenia fetida*, segundo Edwards & Arancon (2009, p. 4).

Os casulos eclodem, em média, passado 18 a 26 dias e após nascerem demoram entre 21 e 30 dias para as minhocas ficarem sexualmente ativas e entre o 26º e 35º dia de vida, podem começar a reproduzirem-se. Estes valores são para condições com temperatura ambiente de 25 °C e teor de humidade a rondar os 80%.

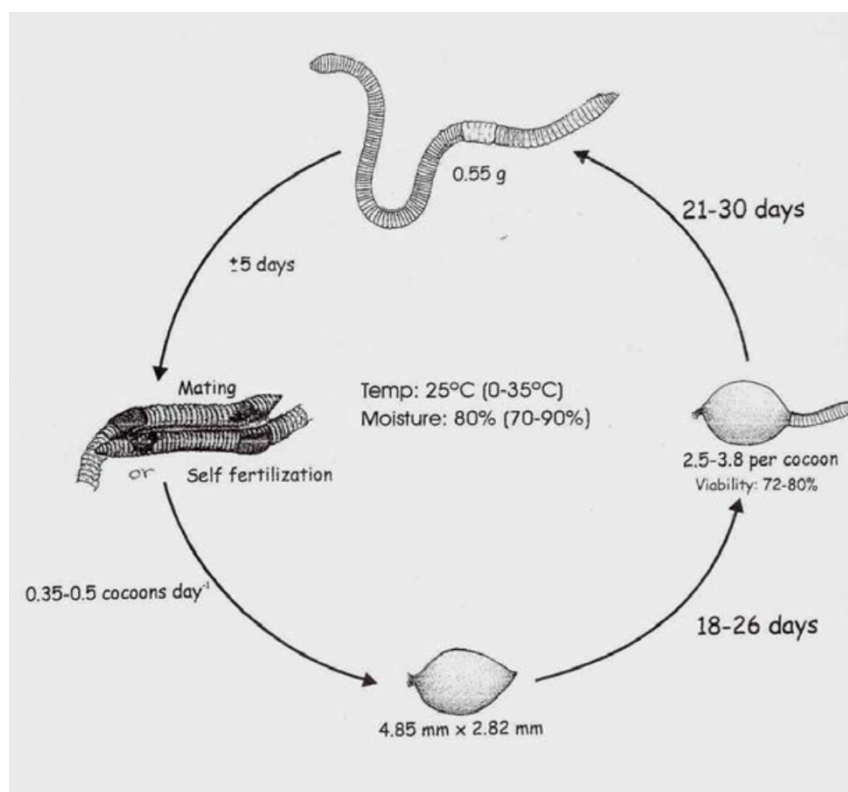


Figura 12 - Ciclo de vida das minhocas da espécie *Eisenia fetida* (Fonte: Edwards & Arancon, 2009, p. 4)

Em relação ao crescimento das minhocas da espécie *Eisenia fetida*, são apresentados, no quadro seguinte, figura 13, uma síntese dos parâmetros químicos e físicos do vermicomposto, para as espécies epígeas, onde está incluída a espécie *Eisenia fetida*.

Parâmetro		Ótimo	Adequado	Prejudicial
Químico	Relação C/N	20/1-25/1	15/1-35/1	< 15/1 / > 35/1
	Azoto amoniacal	< 0,5 mg g ⁻¹ < 500 ppm	< 1 mg g ⁻¹ < 1000 ppm	> 1 mg g ⁻¹ > 1000 ppm
	pH	5,5-6,5	6,0-8,0	< 4,5 / > 8,5
	Condutividade elétrica	2,5 dS m ⁻¹	3,0 dS m ⁻¹	> 8,0 dS m ⁻¹
	Salinidade	< 0,3%	0,3%-0,5%	> 0,5%
	Proteínas	13%	7,5%-13%	< 7,5% / > 18%
	Granulometria	2-8 mm	1-20 mm	< 1 mm / > 20 mm
Físico	Oxigénio	15%	5-15%	< 5%
	Temperatura	20 °C	15-25 °C	< 5 °C / > 37 °C
	Humidade			
	Vermicompostagem	85%	75-95%	< 75% / > 95%
	Vermicultura	75%	70-85%	< 70% / > 85%

Figura 13 - Parâmetros físicos e químicos do vermicomposto e valores para ser classificado como ótimo, adequado e prejudicial, para as espécies epígeas de minhocas (Fonte: Lourenço, 2014, p. 109)

Excrementos de minhocas

Após alimentação das minhocas, são expelidas por elas pequenas partículas de matéria orgânica que está estabilizada biologicamente. Podem ser chamados excrementos ou dejetos de minhoca. Estas partículas expelidas do metabolismo das minhocas, podem ser “aplicadas diretamente ao solo, sem implicações ou restrições para as culturas, sendo os nutrientes facilmente assimiláveis pelas raízes” (Lourenço, 2014, p. 66). Lourenço (2014, p. 66) afirma também que estes excrementos são pobres em argila e ricos em matéria orgânica, nitratos, fósforo, potássio, cálcio e magnésio.

Os excrementos frescos das minhocas contêm alta quantidade de microrganismos, em comparação ao solo circundante, e estes ajudam no processo de mineralização, o que favorece a biodisponibilidade dos nutrientes, o tamponamento da acidez do solo, retêm humidade contribuindo assim para o desenvolvimento das plantas (Steffen et al., 2013, p. 141).

Em comparação ao húmus produzido em condições não controladas no solo, apresentam em média 70% mais de nutrientes, e como as minhocas possuem glândulas calcíferas, estas corrigem o pH dos substratos e assim confere-lhes uma quase neutralidade na gama do pH (Lourenço, 2014, p. 67).

Lixiviado do vermicomposto

É produzido nos vermidigestores que apresentam uma secção de retenção para este produto em forma líquida e pode ser aplicado no solo ou a nível foliar e na fertirrega e permite “enriquecer com microrganismos os resíduos, estimulando o seu processo de decomposição pelo efeito catalisador criado” (Lourenço, 2014, p. 70).

1.5.6. Parâmetros físico-químicos

Condutividade elétrica

A concentração de nutrientes presentes nos materiais orgânicos pode ser qualificada pelos valores de condutividade elétrica. Elevados teores de condutividade

indicam materiais ricos em nutrientes e o excesso destes podem tornar o meio excessivamente salino (Lourenço, 2014, p. 64).

O valor de 5000 ppm, correspondendo aproximadamente a 7,8 dS/m, é o “valor máximo admissível no qual não serão registados efeitos adversos nas minhocas” (Lourenço, 2014, p. 106).

Humidade

A humidade é um dos principais parâmetros para o bom desenvolvimento da *Eisenia fetida* e é variável consoante o material orgânico presente. Segundo Lourenço (2014, p. 64), “materiais com maior percentagem em carbonos tenderão a possuir menor humidade”, devido à sua maior porosidade que facilita a circulação da água, contrariamente aos materiais verdes (Lourenço, 2014, p. 64).

A água é muito importante e bastante consumida pelas minhocas devido a ser indispensável para a sua sobrevivência protegendo-as ainda contra eventuais substâncias tóxicas por facilitar a sua movimentação em meio húmido. Segundo Lourenço (2014, p. 107), “com exceção do fator temperatura, nenhum outro fator determinará a sua morte tão rapidamente como a escassez de humidade”, e no ambiente dos microrganismos o teor de humidade regula a sua atividade. Na vermicompostagem, a faixa ótima de humidade nos substratos devesse situar entre 75 e 90%, podendo as minhocas sobreviver em intervalos de humidade entre 50 e 90% (Edwards & Arancon, 2009, p. 3; Dominguez & Edwards, 2011, p. 36; Lourenço, 2014, p. 107).

pH

O ataque das bactérias e fungos aos resíduos orgânicos resulta na formação de ácidos orgânicos e na redução do pH. Esta acidez favorece o crescimento de fungos que decompõem celulose e lenhina devido à sua capacidade enzimática. Segundo Lourenço (2014, p. 106), a dissolução do CO₂ em água durante o processo, formando ácido carbónico, pode também ser um fator para a diminuição do pH.

Se se regista um aumento no valor de pH, este deve-se à degradação das proteínas e de outros elementos azotados. Para as minhocas, os substratos que apresentem valores de pH entre 5,5-6,5, segundo Lourenço (2014, p. 106), são os

substratos ideais para as minhocas atingirem a sua atividade metabólica máxima; entre valores 6,5 e 7,5 são considerados adequados, apenas acima de 7,5 é que pode prejudicar a sua atividade metabólica. Edwards e Arancon (2009, p. 3) e Dominguez e Edwards (2011, p. 36), afirmam que as minhocas epigeicas são tolerantes a valores de pH num intervalo de 5 a 9, mas elas movem-se em direção ao material a vermicompostar mais ácido, com valores preferenciais na ordem de 5.

Temperatura

“Na vermicompostagem é essencial manter as perdas de calor a um nível constante”, afirma Lourenço (2014, p. 108). Afirmam também que, “a diferença entre a quantidade de calor produzida pela atividade dos microrganismos e a quantidade de calor perdida através de mecanismos de condução”, é a temperatura registada no substrato. Para a sobrevivência das minhocas, deve haver condições para se registar temperaturas mesofílicas, e o intervalo de temperatura ótimo deve andar entre os 20 e 25 °C, e a sua tolerância de temperatura está entre 0 ° C e 35 ° C (Dominguez & Edwards, 2011, p. 36; Lourenço, 2014, p. 108).

2. Metodologia de Investigação

Para a elaboração deste trabalho, os procedimentos realizados apoiam-se principalmente na pesquisa bibliográfica de forma a fundamentar todos os dados apresentados no estudo. Adotou-se uma metodologia de revisão da literatura para recolher e analisar documentos sobre o cânhamo e a vermicompostagem.

Nos métodos de pesquisa da literatura foram usadas palavras-chave, ajudando assim a descobrir o estado exato de desenvolvimento e tendências futuras, ao invés de usar uma <forma heurística> (Cai & Choi, 2020, p. 3).

As palavras-chave usadas na pesquisa foram: “hemp”, “cânhamo”, “vermicomposting”, “vermicompostagem”, “CBD”, “hemp products” e “hemp plastic”.

A base de dados da pesquisa foi a *B-On* e a *Web of Science*, por serem bases de dados reconhecidas por terem um alto padrão de qualidade, e foram identificados no total perto de duas centenas de artigos científicos. Os artigos escolhidos, maioritariamente escritos em inglês, contendo DOI e publicados com o carimbo *ELSEVIER* e em Jornais e Revistas Científicas, no total foram usadas 79 fontes de informação, contendo estas 16 dissertações de mestrado e 6 páginas da internet, ficando a revisão e seleção concluída em julho de 2020.

O método experimental foi desenhado com o intuito de termos uma situação de controlo, isto é, na qual manipulamos, uma ou mais variáveis independentes de maneira intencional, com a finalidade de analisar as consequências dessa manipulação sobre variáveis dependentes, como mostra a figura 14.



Figura 14 - Esquema da experiência e variáveis (Fonte: Metodologia Científica, 2019)

O método experimental foi realizado em laboratório, com controlo de circunstâncias e variáveis que pudessem intervir no efeito final estudado.

Para uma variável ser considerada independente, deve:

1. anteceder à dependente
2. variar ou ser manipulada
3. pode controlar essa variação

A variável dependente não pode ser manipulada, apenas medida, e é preciso deixar claro como as variáveis independentes e dependentes são medidas. Para ter o <controlo> na experiência é necessário garantir que a variação das variáveis dependentes se deve à manipulação das variáveis independentes.

As variáveis independentes foram a alimentação, a temperatura, a espécie e quantidade de minhocas *Eisenia fetida* e os materiais usados para construção do sistema de vermicompostagem.

As variáveis dependentes, que é a parte influenciada pelas variáveis independentes, estão apresentadas abaixo, figura 15:

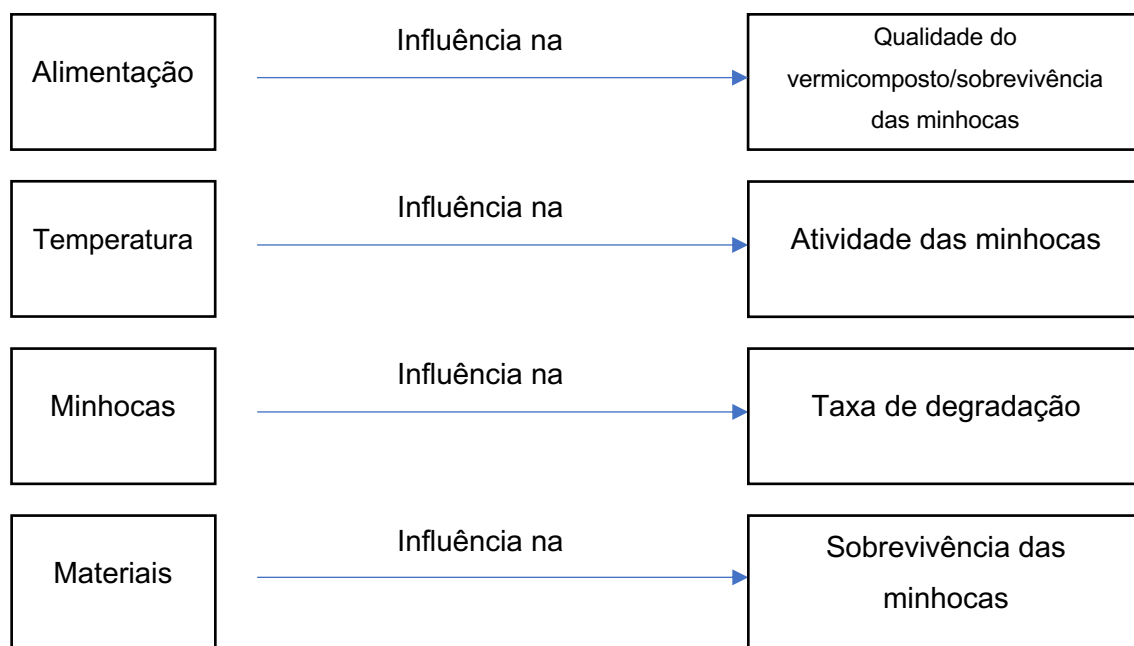


Figura 15 - Influência das variáveis independentes sobre as variáveis dependentes do método experimental (produção própria)

Durante a execução desta dissertação, houve condicionamento na livre circulação devido à pandemia da doença por coronavírus (Covid-19) que ocorreu em todo o planeta. Foi limitado o acesso à universidade e ao tempo de permanência no laboratório em que ocorreu a parte prática. Não foi possível alimentar e medir os parâmetros do vermicomposto de forma desejável.

Em relação às análises qualitativas e quantitativas do vermicomposto produzido no sistema de vermicompostagem, foram seguidos os protocolos, que se

encontram em anexo no final da dissertação, para determinar o teor de humidade, o teor de matéria orgânica, o valor de pH, o valor da condutividade elétrica e o teor da fração grosseira, do vermicomposto.

Também está em anexo o protocolo de como se efetuou a separação por via húmida da fração fina ($> 63\mu\text{m}$) e grosseira ($< 63\mu\text{m}$) com a finalidade de se conseguir preparar as amostras para serem realizadas as análises do teor de matéria orgânica e também para se conseguir observar e analisar, com o auxílio da lupa binocular, as fibras do cânhamo que não foram totalmente biodegradadas.

Ao longo da experiência foram determinados os valores de pH e de temperatura do vermicomposto, medidos de uma forma direta, usando um aparelho para medir o pH de solos e de um termómetro de mercúrio.

Também de uma forma direta, no final da experiência foi medido o valor do pH e da condutividade elétrica do vermicomposto de cada ensaio, usando um aparelho próprio para o efeito.

3. Parte Experimental – Uso de Cânhamo na Vermicompostagem

3.1. Materiais usados

Esta experiência prática teve desde o início uma visão de utilizar produtos considerados resíduos.

O primeiro passo foi reunir todos os materiais que seriam necessários para iniciar a parte prática e isto obrigou a realizar vários contactos com entidades e privados para reunir os elementos necessários.

Para se dar início à experiência, era necessário materiais para se montar as estruturas para se produzir um sistema de vermicompostagem, eram necessárias minhocas para entrarem nesse sistema, ter garantia de conseguir semanalmente resíduos orgânicos para alimentação das minhocas, garantir a doação da planta *Cannabis sativa sativa*, para ser adicionada ao sistema como alimento, era necessário um local para a experiência decorrer e aparelhos de medição de parâmetros, tais como temperatura e pH e materiais para a preparação da alimentação do sistema de vermicompostagem.

Na tabela abaixo, tabela 3, são apresentados os materiais usados para alimentação dos vermicompostores e aparelhos usados para a medição dos parâmetros durante a experiência prática, e correspondente quantidade:

Tabela 3 - Quantidades e materiais usados na parte experimental (produção própria)

Material	Quantidade
Caixas de poliestireno expandido	15
Minhocas	223 g
Água	1.000 ml
RUB	29.041 g
Cânhamo	1.250 g
Tela anti mosquiteira	1
Balança	1
Aparelho de medição de pH	1
Termómetro de mercúrio	1
Instrumento de corte	1
Recipientes	4
Tábua de corte	1

3.2. Cronograma

Esta experiência teve o seu início no dia 7 de agosto de 2020 e o seu término em 13 de janeiro de 2021, perfazendo um total de 160 dias. A figura 16, apresenta o cronograma da parte experimental e informa os dias do início e do fim e quando ocorreu alimentação do sistema de vermicompostagem.

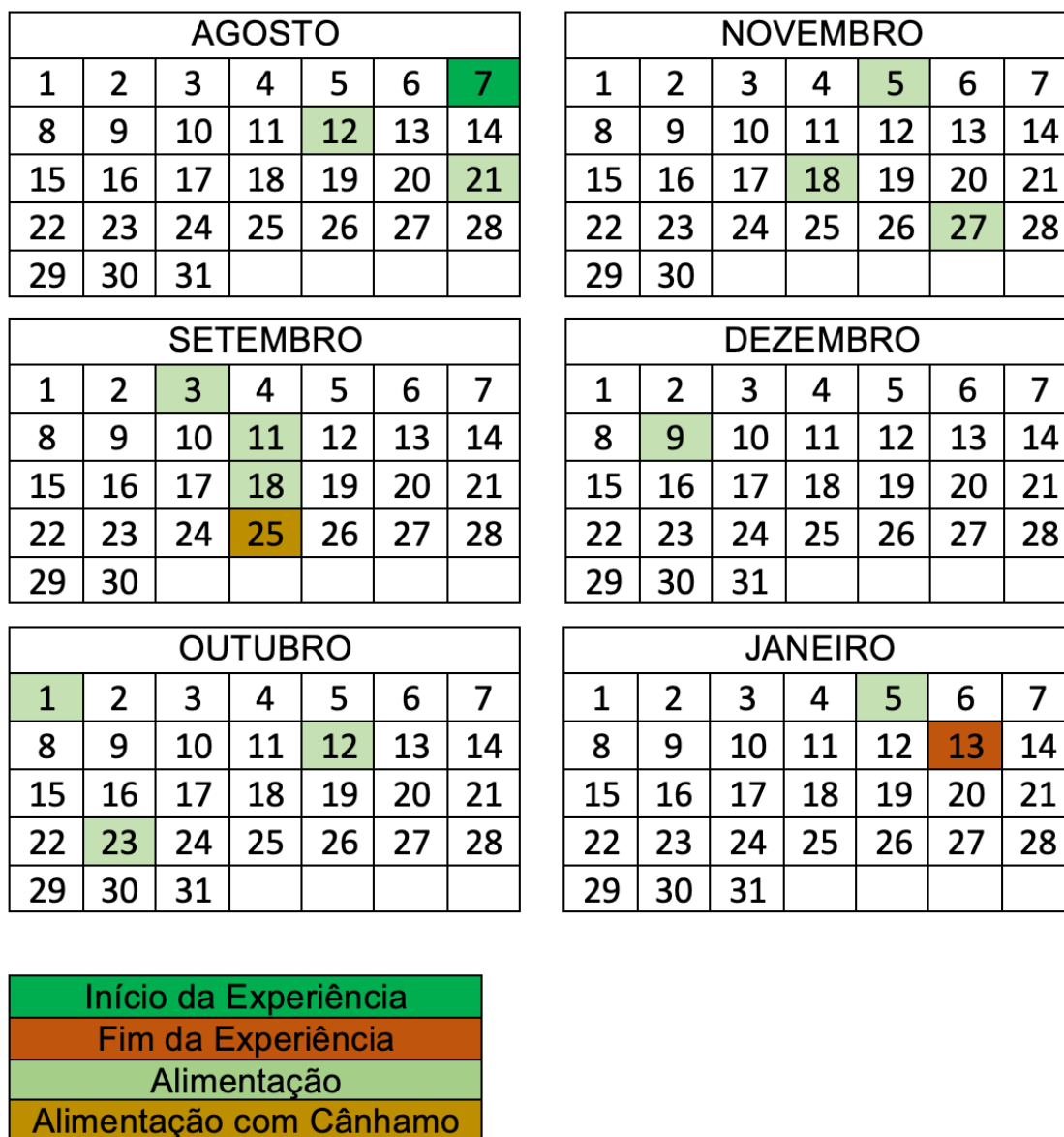


Figura 16 - Cronograma da parte experimental com a indicação do início e fim da experiência e dos dias da alimentação do sistema de vermicompostagem (produção própria)

3.3. Montagem do sistema de vermicompostagem

Após reunir todos os materiais e garantir os acordos de doação dos alimentos para as minhocas, começou a construção do sistema de vermicompostagem no laboratório D.1.15, na Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, em Lisboa (figura 17). Foi também colocado um cartaz de aviso, que se encontra no anexo VI.



Figura 17 - Laboratório D.1.15 da ULHT

Construção do sistema de gavetas

O sistema de vermicompostagem foi construído com caixas de poliestireno expandido, mais conhecido sob o nome de esferovite, caixas essas que foram oferecidas por uma loja da cadeia de supermercados e hipermercados Pingo Doce, da freguesia de Santa Iria de Azóia, concelho de Loures, e estas caixas eram usadas para transporte e acondicionamento do peixe que chegava à loja para ser vendido. As caixas iriam ser descartadas por parte da loja, por isso foram oferecidas 15 dessas caixas sem tampa e assim conseguiu-se construir os 5 ensaios da experiência a realizar.

Como se pode verificar na figura 18, utilizaram-se 3 caixas, com medidas internas de comprimento e largura de 31 cm e altura interna de 11 cm, para cada um dos 5 ensaios, num sistema de gavetas sobrepostas. A gaveta da base foi utilizada para a recolha do lixiviado que pudesse ser produzido durante o processo da vermicompostagem. A gaveta do meio foi onde se manteve as minhocas e onde se adicionava a alimentação.



Figura 18 - Estrutura do sistema de vermicompostagem, com 5 ensaios contendo 3 caixas/gavetas cada ensaio

Tanto a segunda como a terceira gaveta, que serviu apenas como tampa (ver anexo VII), tinham um fundo com uma malha do tamanho de espessura de um prego normal e espaçamento de 3 cm, totalizando cerca de 81 furos, feitos com um prego, que serviam para escoamento do lixiviado e circulação de ar, na gaveta do meio e na gaveta superior, respetivamente.

Após as gavetas estarem limpas e perfuradas, foram sobrepostas 3 a 3, construindo-se 5 ensaios. Este modelo de sistema para vermicompostagem foi adaptado a um dos modelos referidos por Lourenço (2014, p. 31).

A gaveta do meio é a única onde se adiciona material para se alimentar o sistema de vermicompostagem. Em todos os 5 ensaios, designados pelas letras A, B, C, D e E, foi sempre adicionada a mesma quantidade do material que serviu de alimento, variando apenas e exclusivamente a quantidade de cânhamo por ensaio.

Para começar a dar início ao sistema de vermicompostagem, nas 5 gavetas do meio foi adicionado a mesma quantidade de cartão, palha, água e minhocas *Eisenia fetida* (figura 19).



Figura 19 - Cartão, palha e minhocas num ensaio do sistema de vermicompostagem

3.4. Elementos introduzidos no sistema de vermicompostagem

Minhocas

A espécie de minhocas escolhida foi a *Eisenia fetida*, por terem mais capacidade de resistência ao manuseamento e serem consideradas as melhores para o processo de vermicompostagem (Dominguez & Edwards, 2011, p. 29; Hussain et al., 2018, p. 4). A quantidade de minhocas a adicionar a cada ensaio foi cerca de 44,6 g de minhocas. Sabendo que o peso total de minhocas era de 223 g (figura 21), retirou-se uma amostra (amostra esta que continha minhocas adultas e jovens) e pesou-se, obtendo-se o valor de 7,09 g e após serem contadas, correspondeu a 42 minhocas. Extrapolando-se para 44,6 g por ensaio, obteve-se o valor total de minhocas para cada ensaio de cerca de 268 minhocas, tendo no total dos 5 ensaios cerca de 1338 minhocas.

Cartão, palha e água

O cartão colocado foi obtido num ecoponto, com as características de ser um cartão limpo, isto é, sem tinta de impressão, sem colas, sem agramos nem fita colas, sem qualquer tipo de contaminante. Foi cortado em pequenos pedaços, como mostra a figura 20, até preencher o fundo de uma gaveta. Depois foi retirado e pesado para replicar a mesma quantidade e método para todos os ensaios.

Este cartão foi molhado com água, obtida na lavagem de legumes e hortícolas, por ser importante que ficasse menos rígido e para se obter humidade no sistema de vermicompostagem (Lourenço, 2014, p. 64).

A palha foi adquirida numa quinta no concelho de Sintra, e tem como característica ser uma palha biológica. Colocada na gaveta do meio de cada ensaio, como mostra a figura 20, onde já estava o cartão molhado e as minhocas, a palha serve para reduzir a perda de humidade e manter uma temperatura mais constante dentro da gaveta, por a temperatura ser um fator importante para a sobrevivência das minhocas (Dominguez & Edwards, 2011, p. 36; Lourenço, 2014, p. 108).

Foi então adicionado a cada ensaio, os seguintes componentes: 44,6 g minhocas *Eisenia fetida*, 162 g de cartão, 80 g de palha e 200 ml de água. Na figura 21 é apresentada a totalidade das minhocas usadas nos 5 ensaios da parte experimental, obtendo-se um peso total de minhocas de 223g.



Figura 21 - Cartão cortado e palha para ser adicionados ao sistema de vermicompostagem



Figura 20 - Total de minhocas Eisenia fetida usadas no sistema de vermicompostagem

Alimentação do vermicompostor

A primeira alimentação com RUB, aconteceu no dia 12 de agosto de 2020. Os resíduos orgânicos usados para alimentar o sistema de vermicompostagem foram doados, semanalmente, pela Cantina da Universidade Lusófona. Fez-se um acordo que sempre que fosse preciso, iriasse buscar os resíduos orgânicos da cozinha da cantina, pelas 11h00 do dia que se pretendia alimentar os vermicompostores.

Os elementos que foram usados para alimentação dos vermicompostores dependiam dos resíduos orgânicos que a Cantina da Universidade doava e estes dependiam dos pratos que iriam ser confeccionados e servidos na Cantina. Por esta razão nunca se sabia a quantidade de resíduos disponíveis nem a tipologia, até se ir recolher o saco dos RUB à Cantina (figura 22).



Figura 22 - Saco RUB provenientes da Cantina da ULHT

Primeira alimentação

A primeira alimentação do vermicompostor usou-se café, alface, casca de melão e casca de abacaxi (figura 23).

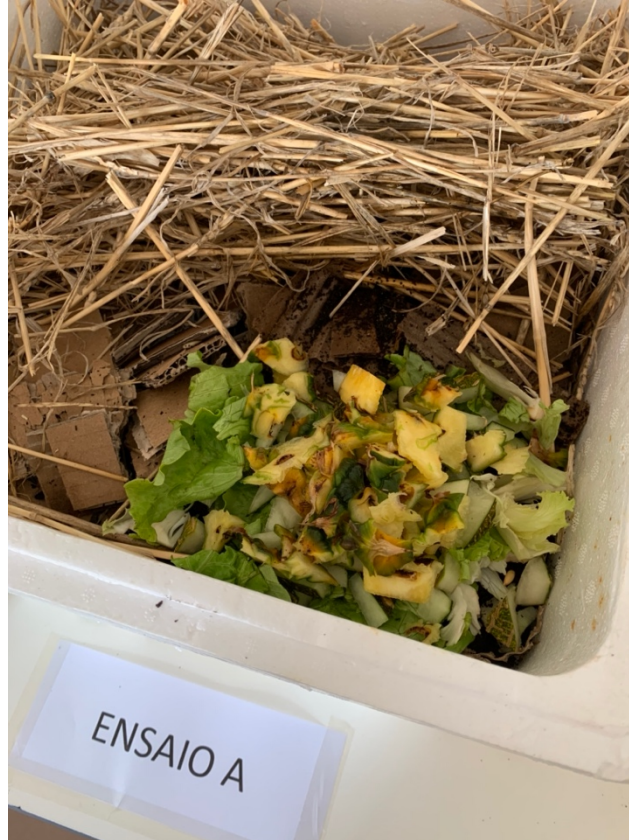


Figura 23 - Primeira alimentação do sistema de vermicompostagem com café, alface, casca de melão e casca de abacaxi, no ensaio A

A primeira fase da alimentação consistia em destapar todos os ensaios e anotar na folha de registos criada para o efeito (ver anexo I), tudo o que era visível em todo o sistema de vermicompostagem, quer fora das gavetas, como por exemplo presença de moscas e/ou insetos, perda de lixiviado para a bancada (figura 24), minhocas mortas na bancada, quer dentro das gavetas, como por exemplo a atividade das minhocas, a humidade, presença de bolor e fungos (figura 24), quantidade de alimento que não foi digerido, entre outros e verificar o reservatório do lixiviado, para controlar a sua produção e não haver perdas por incapacidade da gaveta.

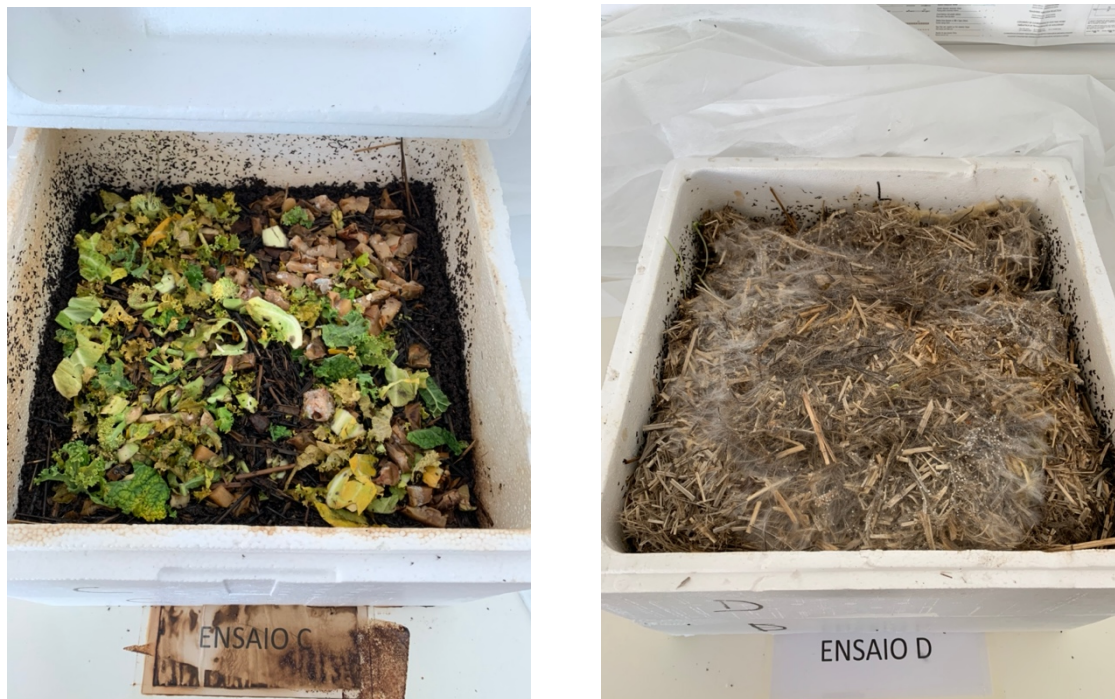


Figura 24 - Perda de lixiviado no ensaio C e presença de fungos no ensaio D

Após anotar essas informações, o próximo passo era separar os resíduos por tipologia (figura 25). Havia uma mistura de resíduos que eram trazidos da cantina para o Lab. D.1.15, e tinham que ser separados por tipologia para retirar os contaminantes, como por exemplo guardanapos de papel, plástico celofane, cascas de outros verdes e até espinhas de peixe.

Após separação por tipologia, os RUB que eram selecionados para poderem ser usados como alimento para as minhocas, eram cortados em pequenos pedaços (figura 26), cerca de 1 a 2 cm, com o auxílio de uma faca, aumentando assim a superfície do resíduo para sofrer o ataque microbiano e facilitar o processo de decomposição (Lourenço, 2014, p. 42; Sena et al., 2019, p. 267).

Alguns tipos de alimentos, pela leitura de bibliografia sabia-se que não eram considerados bons alimentos para serem usados em vermicompostagem, por exemplo a cebola por deixar um odor intenso até entrar numa fase de maturação.



Figura 25 - Separação dos resíduos por tipologia

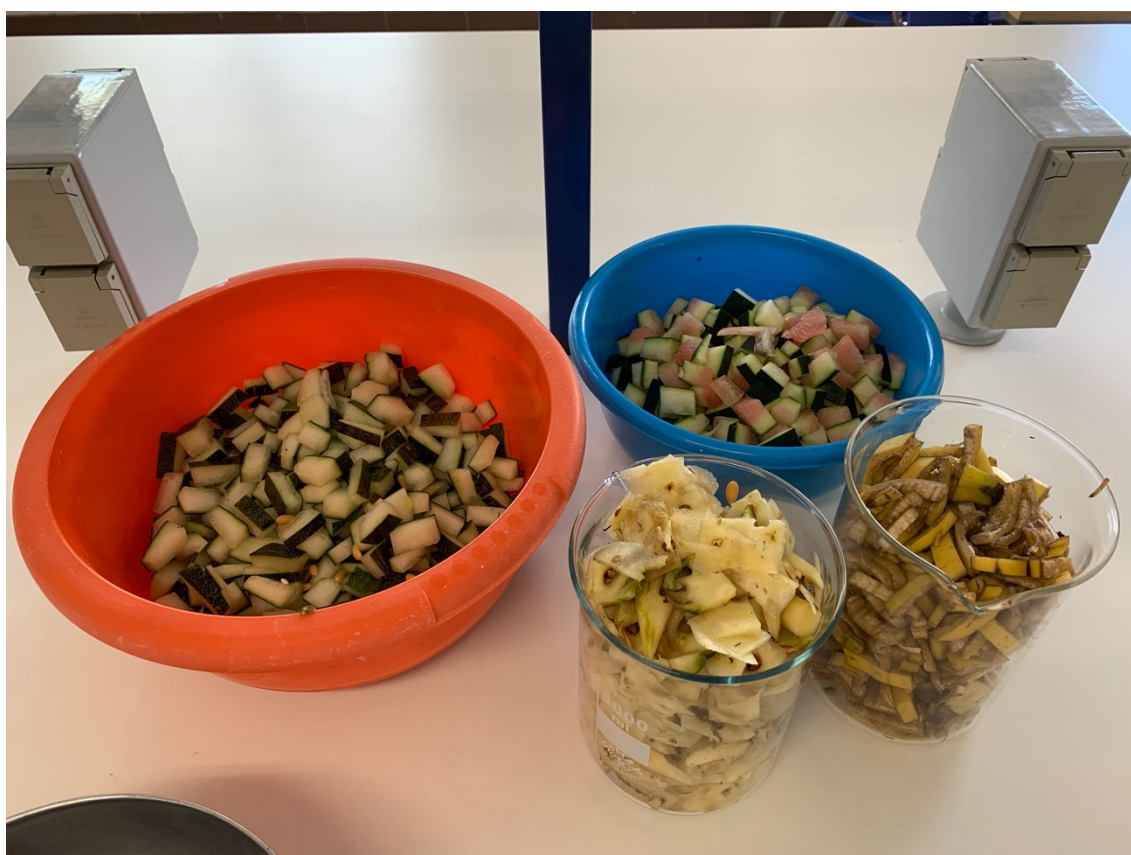


Figura 26 - Resíduos cortados para serem introduzidos no sistema de vermicompostagem

Usando uma balança (figura 27), e estando todos os resíduos em recipiente, pesava-se o total de cada resíduo, registava-se o valor e dividia-se por 5, representando assim 1/5 do total de cada resíduo, quantidade que era usada para alimentação do sistema de vermicompostagem de cada ensaio. Com este processo conseguia-se garantir que todos os ensaios tivessem a mesma quantidade de cada alimento. Após fazer este método para todos os resíduos que foram doados nesse dia, e estando todos dentro de cada gaveta respetiva a cada ensaio, eram espalhados pela gaveta uniformemente à superfície (figura 27) ou colocava-se debaixo da palha (enquanto havia palha dentro da gaveta, pois foi colocada uma única vez durante toda a experiência prática).



Figura 27 - Balança usada na medição dos resíduos para alimentação e alimentação do ensaio D com RUB da cantina

Cânhamo

Foi no dia 25 de setembro de 2020 que foi introduzido o cânhamo como alimento no sistema de vermicompostagem. O cânhamo foi recolhido no dia 30 de julho, no concelho de Sintra, numa quinta biológica, denominada “Quinta dos Sete Nomes”. Esta planta tinha sido colhida, em setembro de 2018, e como se pode ver na figura 28, estava seca e só tinha a parte das fibras da planta. As folhas e as sementes já não estavam presentes na planta.



Figura 28 - Cânhamo contendo a parte fibrosa do caule, recolhido na Quinta dos 7 Nomes, em Sintra e palha proveniente da mesma quinta

Foram usados vários métodos, com maquinaria, para quebrar os caules, mas pela imensa quantidade de fibras, não era fácil cortar em pequenos pedaços. Por fim conseguiu-se quebrar as fibras (figura 29), usando um instrumento de corte agrícola, uma pedôa (figura 29).

O cânhamo, foi adicionado ao sistema de vermicompostagem após ser quebrado, com as seguintes quantidades por ensaio (figura 30):

- Ensaio A – 0 g de cânhamo
- Ensaio B – 125 g de cânhamo
- Ensaio C – 250 g de cânhamo
- Ensaio D – 375 g de cânhamo
- Ensaio E – 500 g de cânhamo

Esta quantidade escolhida de cânhamo adicionada a cada ensaio, tem o objetivo de assim se conseguir dar resposta à pergunta se a técnica de vermicompostagem é uma técnica adequada para o tratamento dos resíduos de cânhamo.



Figura 30 - Pedôa, instrumento usado para quebrar as fibras do cânhamo e alimentação com o cânhamo cortado



Figura 29 - Ensaio E antes e depois de ser alimentado com resíduos de cânhamo

4. Apresentação de Resultados

Neste ponto são apresentados os resultados alcançados no decorrer da parte experimental, utilizando tabelas, gráficos, imagens e correlação de dados.

4.1. Tipologia de resíduos e quantidade

Os RUB com origem na Cantina da ULHT (Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias), têm diferentes tipologias (figura 31), dependendo da ementa oferecida na Cantina no dia da alimentação do sistema de

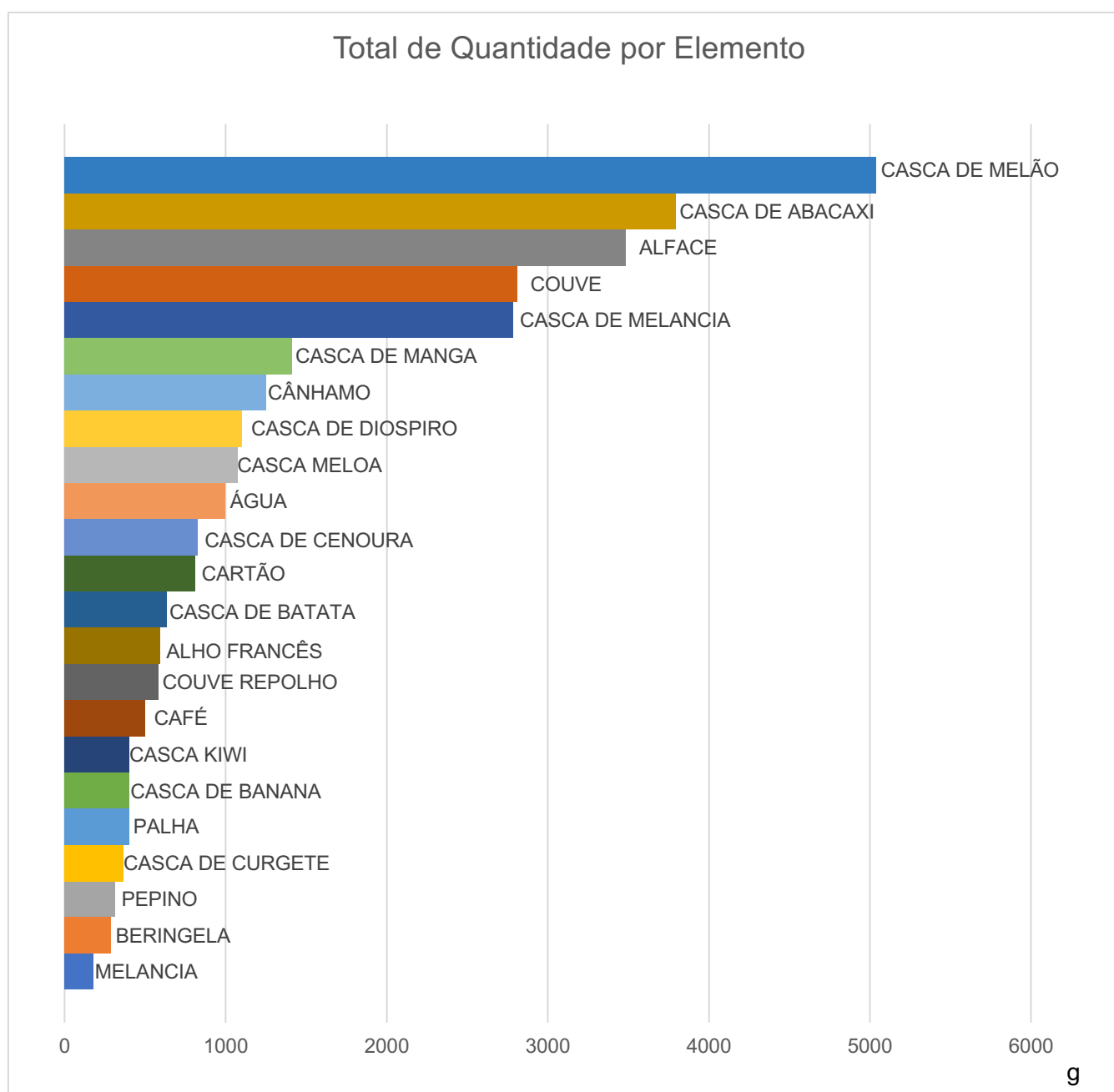


Figura 31 - Tipologia e quantidade total (em gramas) por elemento usado na alimentação do sistema de vermicompostagem (produção própria)

vermicompostagem.

Na figura 31, são apresentados os tipos de resíduos que serviram para alimentação e a sua quantidade total durante toda a experiência prática.

Analisando a tabela 4 verificamos que o alimento mais usado para alimentação do sistema de vermicompostagem foi a casca de melão, com 5038,35 g e o menos foi a melancia com apenas 175,76 g do total de resíduos usados.

No total de 23 elementos que foram adicionados na alimentação do vermicompostor, podemos classificar em 4 tipos, dos quais:

- 19 tipos de RUB que têm como origem a Cantina;
- 2 tipos de Resíduos Agrícolas: cânhamo e a palha;
- 1 tipo de Resíduo Diferenciado: o cartão;
- Água.

Tabela 4 - Elementos e quantidade usados para alimentação do sistema de vermicompostagem e quantidade total (produção própria)

ELEMENTOS	QUANTIDADE
CASCA DE MELÃO	5 038 g
CASCA DE ABACAXI	3 791 g
ALFACE	3 485 g
COUVE	2 810 g
CASCA DE MELANCIA	2 786 g
CASCA DE MANGA	1 410 g
CÂNHAMO	1 250 g
CASCA DE DIOSPIRO	1 101 g
CASCA MELOA	1 073 g
ÁGUA	1 000 g
CASCA DE CENOURA	824 g
CARTÃO	810 g
CASCA DE BATATA	634 g
ALHO FRANCÊS	596 g
COUVE REPOLHO	585 g
CAFÉ	501 g
CASCA KIWI	403 g
PALHA	400 g
CASCA DE BANANA	400 g
CASCA DE CURGETE	364 g
PEPINO	313 g
BERINGELA	291 g
MELANCIA	176 g
Total Geral	30 041 g

Na tabela 4, estão apresentados, por ordem decrescente de quantidade, os elementos usados na alimentação e a sua quantidade total, verificando que o sistema de vermicompostagem, dividido em 5 ensaios, foi alimentado com um total de 30.041 gramas com elementos das 4 tipologias descritas acima.

Na figura 32 está apresentada a variação do total da quantidade de alimento introduzido no sistema de vermicompostagem durante os dias correspondentes à alimentação. Conseguimos verificar que a média global de alimentos introduzidos por dia de alimentação, nos 5 ensaios, foi de 1878 gramas. O pico do 50º dia, é devido à alimentação com 1250 gramas do resíduo de cânhamo nos ensaios B, C, D e E., mais a alimentação com os RUB nos 5 ensaios.

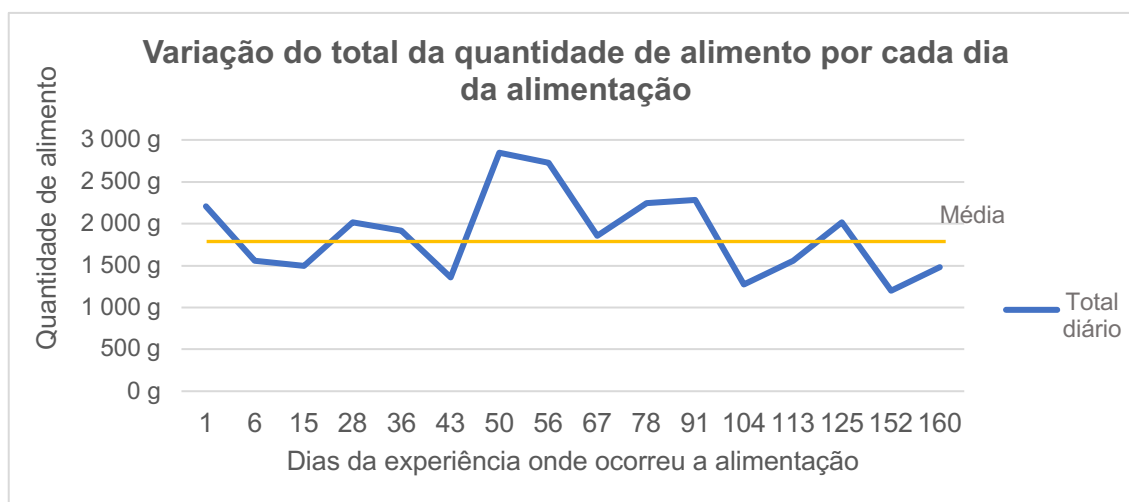


Figura 32 - Variação da quantidade de alimento introduzido no sistema de vermicompostagem nos dias da alimentação e média global (produção própria)

Com a análise da figura 32 podemos verificar que a alimentação ocorreu em 16 dias dos 160 do total da experiência prática, a média diária da quantidade de alimentos usados foi de 1877,56 g o que corresponde a uma média por ensaio de 375,51 g de alimentos. Contudo a variação entre os dias de alimentação não foi constante, por dois motivos: no último terço da experiência, a temperatura ambiente diminuiu a atividade normal das minhocas o que fez com que diminuísse também a taxa de degradação dos alimentos e o segundo motivo foi pelas implicações nas restrições ao acesso à universidade, devido à pandemia da Covid-19, não podendo alimentar o sistema de vermicompostagem nas datas desejáveis.

Dividindo os 160 dias em três partes, sendo a primeira parte os primeiros 50 dias, a segunda parte entre o 50º e o 104º dia e a terceira parte entre o 104º dia e o último dia da experiência, podemos apurar que na primeira parte a média de dias de diferença entre alimentações foi de 8,16 dias, isto é, alimentava-se o sistema de vermicompostagem de 8 em 8 dias, em média. Já na segunda parte, a alimentação acontecia, em média, de 10,8 em 10,8 dias e na última parte era preciso passar 14 dias, em média, para se voltar a alimentar.

4.2. Parâmetros de controlo: pH, temperatura e humidade

Ao longo da experiência prática, foram monitorizados os parâmetros do pH, da temperatura e da humidade do vermicomposto, usando instrumentos de medição, para medir o pH e a temperatura e assim se verificar as condições ambiente onde se produzia o vermicomposto.

Para medir os valores de pH do vermicomposto foi utilizado um instrumento de medição, instrumento esse que se apresenta na figura 33.



Figura 33 - Medição do valor de pH numa amostra do vermicomposto do ensaio E

O teor de humidade foi verificado através do <teste da mão>, conforme o método de Cooper et al. (2010, p. 21), que indica que o teor ótimo de humidade é determinado quando a biomassa é comprimida com as mãos e se forma uma massa firme (Rockenbach et al., 2018, p. 213). Conseguimos verificar essa massa firme na figura 34.

A humidade é um dos parâmetros importantes a controlar devido a ser um fator que pode levar à morte rápida das minhocas se houver um teor baixo, segundo Lourenço (2014, p. 107).

Pela visualização e pelo manuseamento do vermicomposto, verificava-se que o teor de humidade estava alto e nunca foi necessário adicionar água ao sistema, exceto quando foi adicionado o cartão, no dia do início da experiência.

Para medir os valores de pH do vermicomposto, foi usado um instrumento de medição, indicado na figura 34. Era medido o valor de pH numa amostra do vermicomposto, que era previamente compactada para serem introduzidos os sensores do instrumento, na amostra, como se pode verificar na figura 34 e como era indicado nas instruções do aparelho.



Figura 34 - Medição do valor de pH numa amostra do ensaio C

Os valores de pH, medidos durante a experiência prática, em cada ensaio, são apresentados na tabela 5 e na tabela 6 e são também apresentados os valores médios de pH por ensaio e o valor médio global dos 5 ensaios ao longo de toda a experiência.

Após análise dos valores de pH, nas tabelas 5 e 6, obtivemos ao longo da experiência um valor médio de pH de 6,5. O valor de pH máximo registado foi de 6,6 e o mínimo foi de 6,3.

Tabela 5 - Valores de pH do vermicomposto, dos ensaios, medidos durante a experiência prática

DIA	ENSAIO	VALOR pH
28	A	6,5
	B	6,5
	C	6,6
	D	6,5
	E	6,5
43	A	6,3
	B	6,5
	C	6,6
	D	6,6
	E	6,5
50	A	6,5
	B	6,6
	C	6,6
	D	6,6
	E	6,5
78	A	6,4
	B	6,5
	C	6,3
	D	6,5
	E	6,3
113	A	6,5
	B	6,5
	C	6,5
	D	6,6
	E	6,4

Tabela 6 - Média por ensaio e média global do valor de pH do vermicomposto

ENSAIO	MÉDIA POR ENSAIO
A	6,4
B	6,5
C	6,5
D	6,6
E	6,4
MÉDIA GLOBAL	6,5

Para se medir os valores de temperatura utilizou-se um termómetro de mercúrio, como mostra a figura 36, onde era colocado dentro do vermicomposto de cada ensaio, em três pontos distintos, e registado o valor da média dos resultados na folha de registos (anexo I), sendo estes valores apresentados na tabela 7 e na tabela 8 são apresentados o valor médio de temperatura, ao longo de toda a experiência, por ensaio e a média global dos 5 ensaios.

É apresentado o gráfico (figura 35) abaixo, que mostra os valores médios da temperatura e de pH do vermicomposto em alguns dias que ocorreu a alimentação do sistema de vermicompostagem e também a temperatura média de todo o sistema.

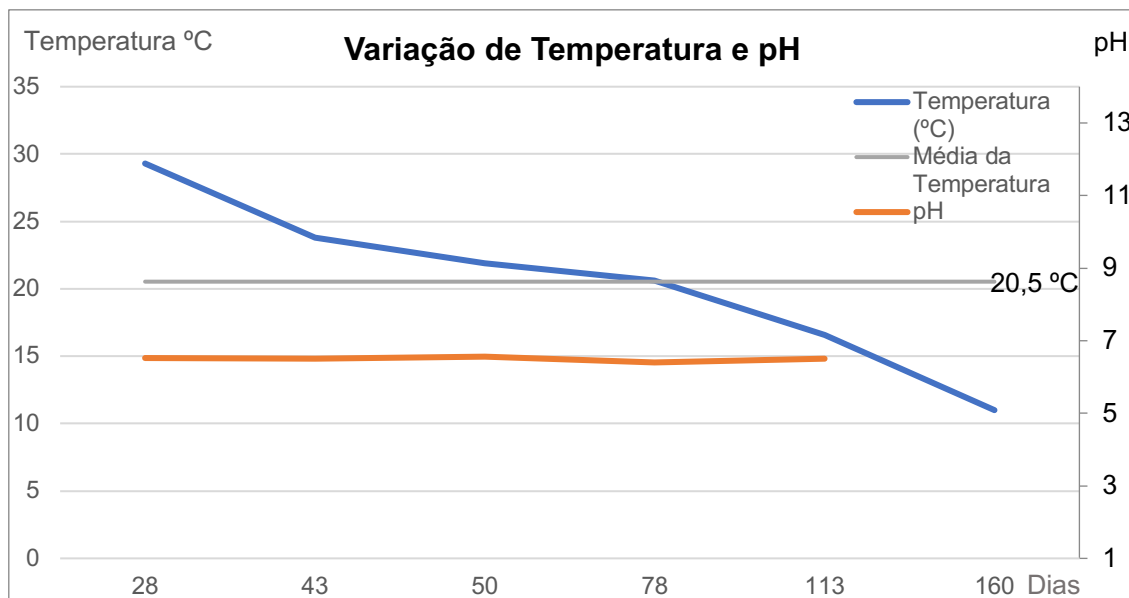


Figura 35 - Representação gráfica dos valores da temperatura média e do pH médio, do vermicomposto, em alguns dias de alimentação e valores da temperatura média do vermicomposto ao longo de toda a experiência



Figura 36 - Medição de temperatura do vermicomposto no ensaio C e D

Tabela 7 - Valor da temperatura (°C), por dia e por ensaio, do vermicomposto, medidos durante a experiência prática

DIA	ENSAIO	VALOR TEMPERATURA (°C)
28	A	30,0
	B	30,0
	C	28,0
	D	29,0
	E	29,5
43	A	23,5
	B	23,5
	C	24,0
	D	24,0
	E	24,0
50	A	22,0
	B	21,5
	C	22,0
	D	22,0
	E	22,0
78	A	20,0
	B	20,5
	C	20,0
	D	21,0
	E	21,5
113	A	16,0
	B	16,0
	C	16,5
	D	17,0
	E	17,5
160	A	11,0
	B	11,0
	C	11,0
	D	11,0
	E	11,0

Tabela 8 - Média por ensaio e média global do valor de temperatura (°C) do vermicomposto durante a experiência prática

ENSAIO	MÉDIA POR ENSAIO (°C)
A	20,4
B	20,4
C	20,3
D	20,6
E	20,9
MÉDIA GLOBAL	20,5

No gráfico da figura 37, estão apresentadas as temperaturas máximas, mínimas e médias, que ocorreram em Portugal Continental nos dias que se registaram as temperaturas do vermicomposto e também é apresentada a média da temperatura diária do vermicomposto.

Como podemos verificar, a temperatura média ambiente que ocorreu em Portugal Continental durante a experiência prática teve uma tendência de descida continua estando perto dos 25 °C no primeiro dia de registos e no último dia rondou os 5 °C.

A temperatura média do vermicomposto tem a mesma tendência da temperatura ambiente, sempre com descida continua registando no primeiro dia 29 °C de temperatura média, nos 5 ensaios, e no último dia os 11 °C.

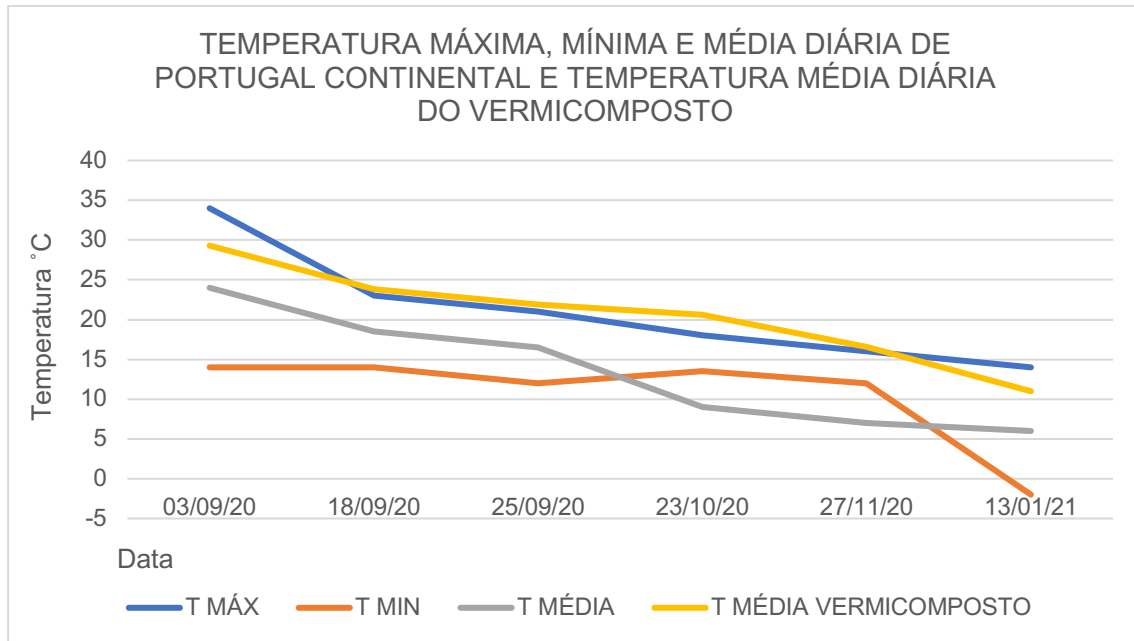


Figura 37 - Gráfico das temperaturas máximas, mínimas e médias, dos dias em que ocorreu a alimentação do vermicomposto, de Portugal Continental, e temperatura média diária do vermicomposto (em °C)

A figura 38 é apresentada para mostrar a tendência da temperatura que foi registada em Lisboa durante os meses que ocorreu a experiência e mostra que também na cidade de Lisboa a temperatura ambiente média mensal teve uma tendência de descida contínua. No gráfico abaixo estão apresentados os valores médios da temperatura máxima e mínima que ocorreram na cidade de Lisboa durante o período de meses entre setembro e janeiro, que foi o período em que se mediu os valores da temperatura do vermicomposto da experiência prática e mostra também os valores da temperatura média de Portugal Continental, no mesmo período.

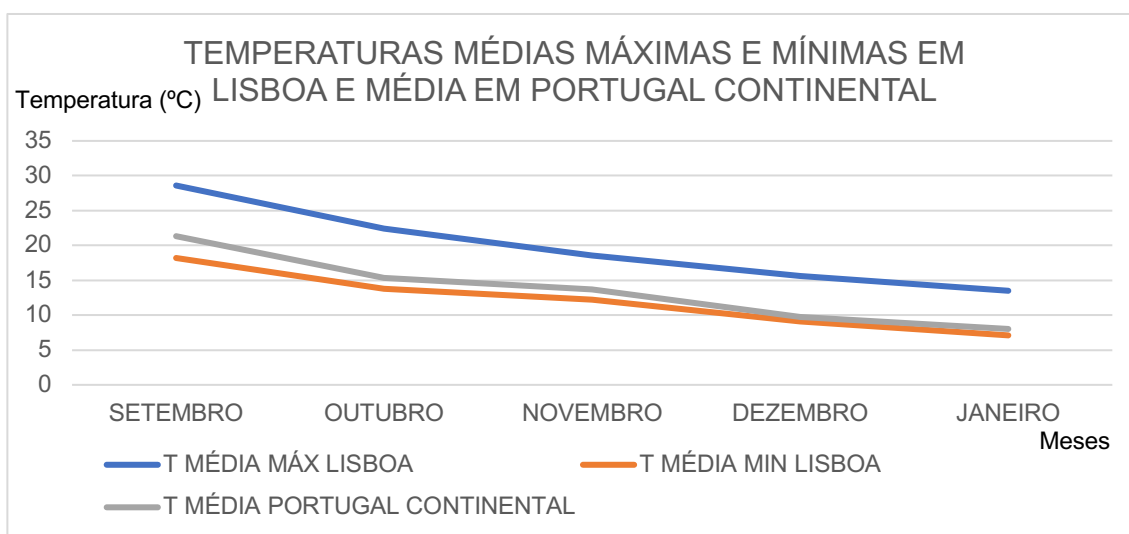


Figura 38 - Gráfico das temperaturas médias máximas e mínimas em Lisboa e temperatura média em Portugal Continental, nos meses de setembro 2020 a janeiro 2021 (em °C)

4.3. Apresentação de resultados ensaio a ensaio

Na figura 39, estão apresentados as quantidades e os elementos que entraram na gaveta do meio do sistema e as quantidades e os elementos que se obteve depois do processo de vermicompostagem

O valor do vermicomposto produzido foi conseguido pesando a gaveta do meio numa balança, retirando a tara da caixa. A quantidade de minhocas, em peso, foi conseguida retirando-se 3 amostras de vermicomposto por ensaio, pesando essa amostra e retirando todas as minhocas contidas nela, e pesando apenas as minhocas no final, extrapolando a seguir para o peso do vermicomposto obtido por ensaio. A quantidade de lixiviado foi medido usando provetas e guardado em garrafas de plástico sem ter sido submetido a qualquer tipo de análise ou uso.

A figura 39 foi construída com base na <Abordagem de Processos>. Um processo “é um conjunto de atividades inter-relacionadas, definidas, repetitivas e mensuráveis que agregam valor ao transformar entradas em saídas” (Carvalho, 2015).

As entradas no sistema de vermicompostagem são: os RUB, o cânhamo, as minhocas e a água. Após o processo de vermicompostagem, resultaram como elementos de saída: o vermicomposto, as minhocas e o lixiviado (excluindo o ensaio D, em todos os outros ensaios houve perda de lixiviado para a bancada, o que não nos permite totalizar o lixiviado originado no ensaio A, B, C e E).

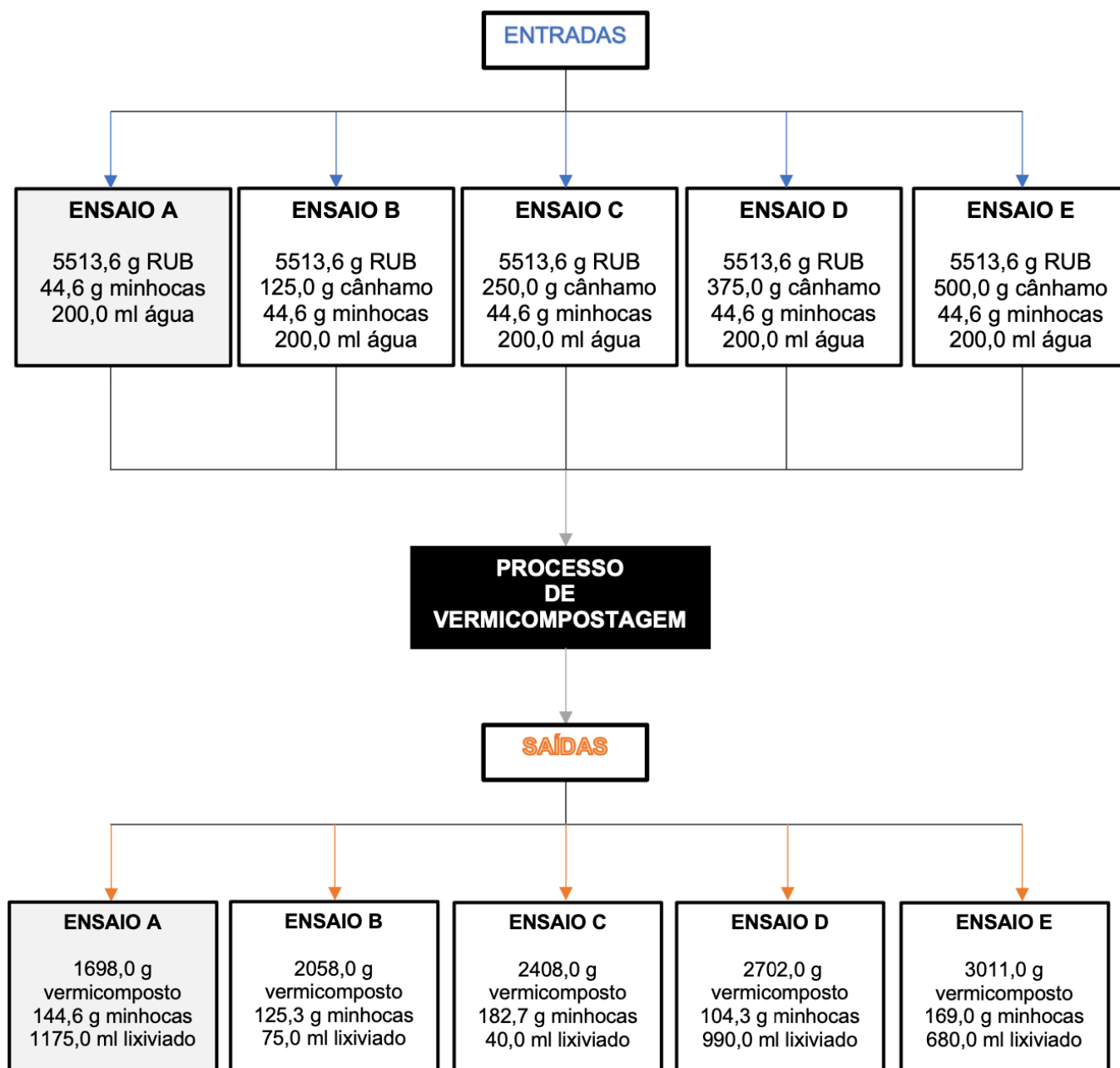


Figura 39 - Esquema de entrada e saídas, no processo de vermicompostagem que ocorreu da experiência prática, segundo uma abordagem de processos (produção própria)

4.4. Apresentação de incidências durante a parte experimental

Todos os dias em que ocorreu a alimentação dos vermicompostores, havia uma análise criteriosa e eram registadas as incidências que se observavam nos diferentes ensaios. Observações que eram anotadas na folha de registo, do tipo:

- i) Minhocas ativas
- ii) Alimentos não digeridos
- iii) Presença de fungos e bolor
- iv) Presença de insetos
- v) Presença de casulos e nascimento de minhocas
- vi) Óbitos de minhocas e perda de lixiviado

i) Minhocas ativas

Existiu grande atividade das minhocas em todos os ensaios até ao dia 112. A partir deste dia, até ao final da experiência, a atividade diminuiu, que coincidiu com a temperatura do vermicomposto estar abaixo dos 20 °C. Em todos os ensaios a atividade das minhocas foi semelhante ao longo da experiência.

ii) Alimentos não digeridos

O estado de degradação dos alimentos foi idêntico em todos os ensaios. Os pedaços maiores de alimentos, por vezes, demoravam mais a ser digeridos, por isso, como descrito na literatura, os alimentos devem ser cortados em pedaços pequenos para aumentar a superfície de contacto. O alimento que demorou mais a ser digerido foi a casca da batata. Na figura 40 podemos comparar a aceleração da degradação em dois dias distintos: no dia 73 e no 160. Na imagem do lado esquerdo da figura 40, os 371 g de RUB colocados têm um tempo de biodegradação de 7 dias e é possível observar que estavam num elevado estado de degradação, por não haver quase alimento. Na imagem do lado direito a quantidade de RUB colocados foi de 240 g, estando no vermicompostor há 8 dias, mas apresenta um baixo estado de degradação. Serve assim para comparar o estado de atividade das minhocas pela velocidade de degradação dos alimentos: quanto mais rápida a degradação dos alimentos, maior atividade existe no sistema de vermicompostagem.



Figura 40 - Ensaio A no dia 73, com os alimentos degradados quase na totalidade e à direita o mesmo ensaio no dia 160, com os alimentos muito pouco degradados

iii) Presença de fungos e bolor

O aparecimento de fungos e bolor no vermicomposto aconteceu no dia 27 da experiência prática e a observação foi a presença de fungos na palha e no cartão em todos os ensaios (figura 41).



Figura 41 - Presença de fungos no cartão e na palha do ensaio E

No ensaio E, no dia 42 da experiência, presenciou-se uma grande quantidade de fungos na superfície do vermicomposto (figura 42, lado esquerdo).

No dia 66, voltaram a aparecer fungos em todos os ensaios, mas em maior quantidade no ensaio D (figura 42, lado direito).



Figura 42 - Presença de fungos no ensaio E no dia 42 e no ensaio D no dia 66

iv) Presença de insetos

Observou-se o aparecimento de insetos no exterior das gavetas do vermicomposto, num número significativo no dia 42 da experiência. Até então existiam apenas em número residual, uma média de 5 a 10 insetos por ensaio. Foi utilizado por isso, uma manta de proteção (figura 43) que permite a circulação de ar no sistema de vermicompostagem e diminuição de insetos junto às gavetas. Grandes quantidades de insetos junto às caixas foram visíveis até ao dia 124. Quando a temperatura ambiente ficou demasiado baixa, já não havia a presença de insetos no exterior das gavetas do sistema de vermicompostagem.



Figura 43 - Manta de proteção usada para diminuir a presença de insetos no sistema de vermicompostagem

v) *Presença de casulos e nascimento de minhocas*

Os casulos e os primeiros nascimentos de minhocas *Eisenia fetida* começaram a surgir no dia 103 da experiência nos ensaios A e B (figura 45).

No dia 112, nos ensaios C, D e E encontraram-se casulos, mas sem novas minhocas (figura 46).

No dia 124, no ensaio A e B apareceram novas minhocas (figura 44) e nos outros ensaios apareceram mais casulos.



Figura 44 - Presença de minhoca recém nascida à superfície do vermicomposto



Figura 45 - Presença de casulos das minhocas *Eisenia fetida* (sinalizados com o símbolo ○)



Figura 46 - Presença de grande quantidade de casulos de minhocas (sinalizados com o símbolo ○) no ensaio E no dia 112

vi) Óbitos de minhocas e perda de lixiviado

A primeira perda do lixiviado aconteceu no ensaio A no dia 66 da experiência prática (figura 48). Apenas o ensaio D não teve qualquer tipo de perda de lixiviado do vermicomposto durante toda a experiência.

A fuga e óbito de minhocas (figura 47) foi em número residual, contabilizando-se 5 no total, nos dias 112 e 160, nos ensaios E e B respetivamente.



Figura 47 - Fuga e consequente óbito das minhocas no ensaio A



Figura 48 - Destruição da sinalética existente na bancada devido à perda de lixiviado no ensaio B e C

4.5. Determinação do teor de matéria orgânica do vermicomposto

A matéria orgânica é determinante para a fertilidade e resistência do solo e as fontes principais de matéria orgânica são os tecidos vegetais. Cerca de 60 e 80% da matéria orgânica é constituída por substâncias húmicas (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina) e também é constituída pela população microbiana (fungos, bactérias e actinomicetas) (Fernandes, 2016, p. 26).

Os tecidos vegetais são transformados de acordo com dois processos: a mineralização, onde pela ação dos microrganismos os compostos dos resíduos são transformados em produtos mais simples e o processo de humificação que “compreende uma ação condensadora biológica e química constituindo complexos resistentes à mineralização” (Fernandes, 2016, p. 26).

Na figura 49 podemos observar as cinzas resultantes da destruição da MO das amostras do vermicomposto, das quais se obteve a percentagem do teor de MO que foi determinado segundo o protocolo que se encontra no anexo II, desta dissertação. Os resultados obtidos do teor de MO são os seguintes (tabela 9):

Tabela 9 - Teor de matéria orgânica (%) do vermicomposto de cada ensaio e na amostra dos resíduos de cânhamo

AMOSTRA	% MO
Ensaio A	34,00
Ensaio B	30,69
Ensaio C	29,70
Ensaio D	24,75
Ensaio E	19,00
Cânhamo	4,10



Figura 49 - Amostras desagregadas e cinzas resultantes da destruição da MO

4.6. Determinação do teor de humidade do vermicomposto

O teor de humidade foi determinado segundo o protocolo que se encontra no anexo V desta dissertação, e foram obtidos os resultados calculando a média do resultado obtido de duas amostras de vermicomposto, de cada ensaio. Na figura 50, podemos observar as amostras dentro da estufa e foram colocadas lá para perderem a água contida no vermicomposto e calcular com este método os teores de humidade. Os resultados obtidos do teor de humidade são apresentados na tabela 10:

Tabela 10 - Teores de humidade (%) do vermicomposto por ensaio. Intervalo ótimo e de tolerância dos valores de humidade, segundo Edwards & Arancon (2009, p. 3), Dominguez & Edwards (2011, p. 36) e Lourenço (2014, p. 107)

AMOSTRA	Teor de Humidade (%)
Ensaio A	596
Ensaio B	620
Ensaio C	645
Ensaio D	684
Ensaio E	724
Intervalo ótimo de humidade: 75% - 90%	
Intervalo de tolerância de humidade: 50% - 95%	



Figura 50 - Amostras do vermicomposto dentro da estufa.

4.7. Determinação eletrométrica do pH do vermicomposto

Após preparação das amostras com o vermicomposto de cada ensaio e uma amostra dos resíduos de cânhamo, determinou-se o valor de pH, segundo o protocolo que se encontra no anexo III desta dissertação, utilizando-se um aparelho para medição do pH (figura 51) que se encontra no laboratório E.0.7 da ULHT, e os resultados obtidos são apresentados na tabela 11.

Tabela 11 - Valor de pH do vermicomposto de cada ensaio e da amostra dos resíduos de cânhamo

AMOSTRA	VALOR pH
Ensaio A	7,69
Ensaio B	7,67
Ensaio C	7,60
Ensaio D	7,50
Ensaio E	7,37
Cânhamo	6,27

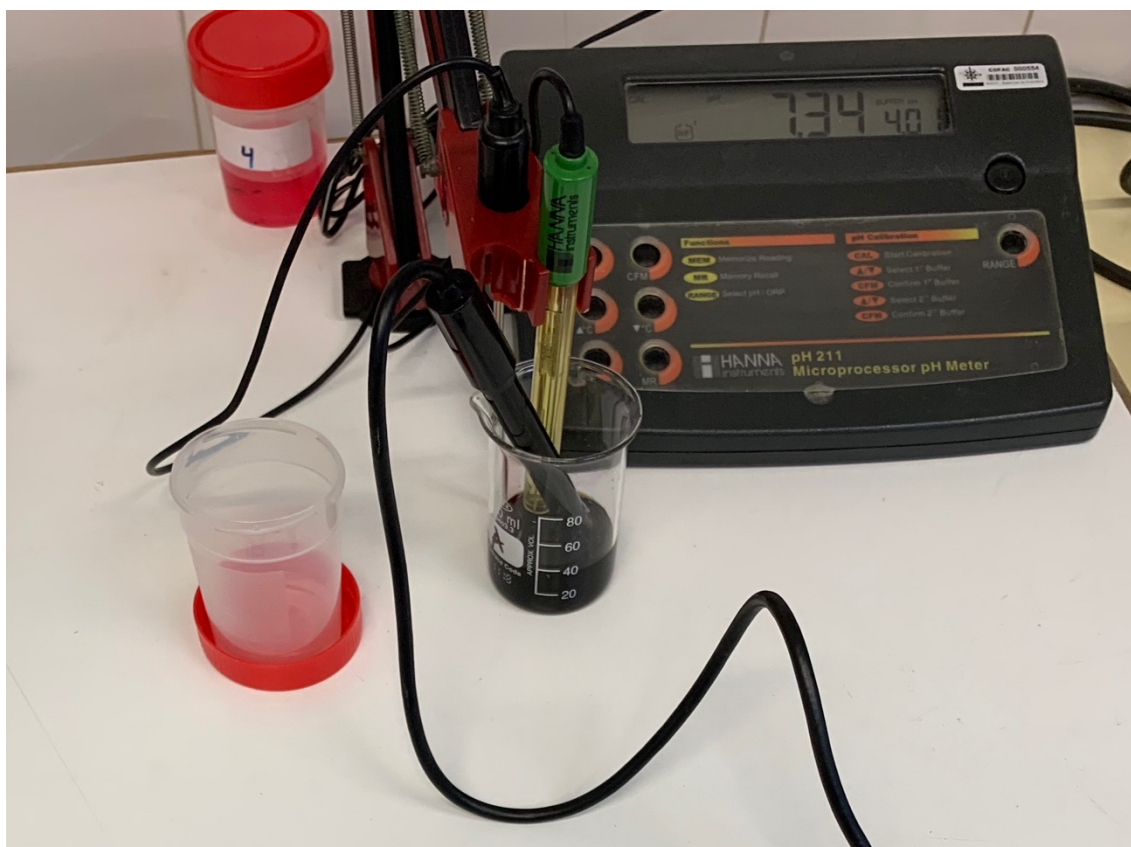


Figura 51 - Aparelho usado para medição dos valores de pH das amostras.

4.8. Determinação do valor da condutividade elétrica do vermicomposto

O valor da condutividade elétrica final do vermicomposto, foi determinado usando o aparelho de medição, mostrado na figura 52 e obtiveram-se os seguintes resultados (tabela 12):

Tabela 12 - Valor da condutividade elétrica do vermicomposto por ensaio e da amostra dos resíduos de cânhamo (em dS/m). Valor ótimo e valor máximo admissível para a condutividade elétrica de um vermicomposto, segundo Lourenço (2014, p. 109)

AMOSTRA	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (dS/m)
Ensaio A	18,25
Ensaio B	16,17
Ensaio C	18,30
Ensaio D	16,39
Ensaio E	15,49
Cânhamo	0,43
Valor ótimo da condutividade elétrica: 2,5 dS/m	
Valor máximo admissível para a condutividade elétrica: 7,8 dS/m	



Figura 52 - Aparelho usado para a medição da condutividade elétrica das amostras.

4.9. Determinação da fração > 63 μm e análise com a lupa binocular

A lupa binocular é um instrumento ótico que nos permite obter e capturar imagens com ampliação na ordem dos 250 μm . “Por ser uma técnica expedita, pouco dispendiosa e sem a necessidade da preparação das amostras, é uma técnica muito utilizada como primeira abordagem às observações de caracterização” (Gominho, 2016, p. 32). Com esta técnica é possível identificar componentes do vermicomposto e as “dimensões, distribuição e textura, forma e cores dos componentes, avaliar as quantidades e por último obter uma visão ampliada do que é percecionado a olho” (Gominho, 2016, p. 32).

Foi utilizada uma lupa binocular (figura 53), para obter imagens com ampliação das amostras do vermicomposto e dos resíduos de cânhamo, tendo uma escala de observação de 1 cm, como mostra a figura 55. Para se obter a fração grosseira (fração > 63 μm) (figura 54), usou-se o método descrito no anexo IV desta dissertação.

Os valores da percentagem da fração grosseira do vermicomposto, apresentam-se na tabela 13:

Tabela 13 - Percentagem da fração grosseira (> 63 μm) do vermicomposto de cada ensaio

AMOSTRA	FRAÇÃO > 63 μm (%)
Ensaio A	9,09
Ensaio B	24,52
Ensaio C	26,61
Ensaio D	17,74
Ensaio E	16,42



Figura 53 - Lupa binocular

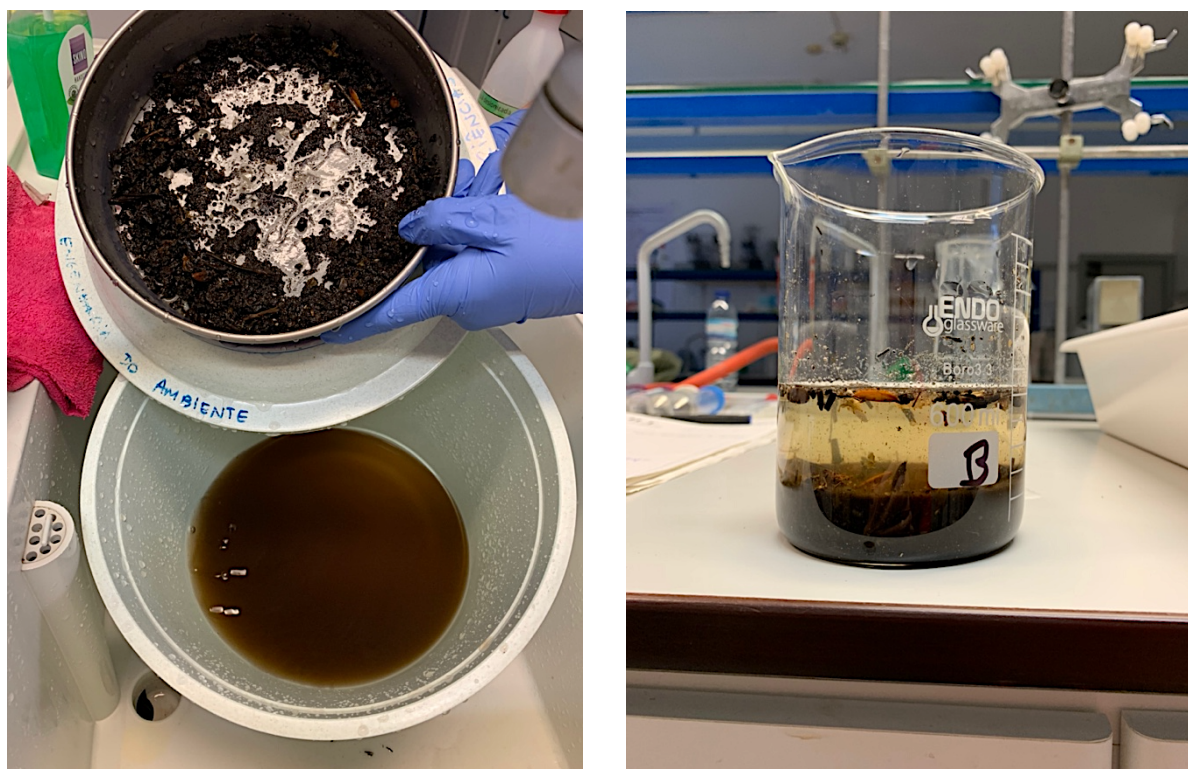


Figura 55 - Separação da fração fina da fração grosseira de uma amostra de vermicomposto e copo com apenas a fração grosseira para ir para a estufa, como indicado no protocolo no anexo IV

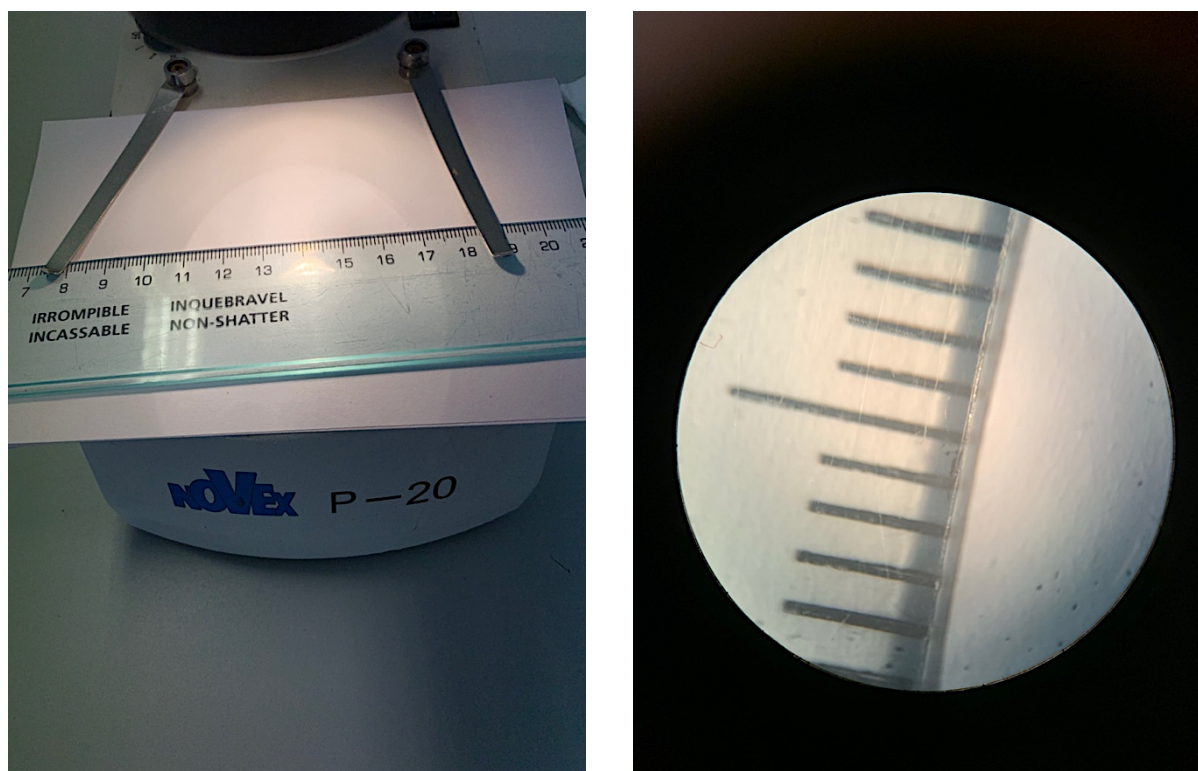


Figura 54 - Método para calcular a escala da lupa binocular com ajuda de uma régua

5. Análise e Discussão de Resultados

5.1. Parâmetros de controlo

5.1.1. Valor de pH

Os valores de pH medidos durante os dias da experiência prática, foram obtidos usando um aparelho de medição de pH para solos, como indicado no capítulo 4.2, na página 72.

Segundo Lourenço (2014, p. 109) os valores ótimos de pH do vermicomposto situam-se entre 5,5 e 6,5 para as minhocas *Eisenia fetida* atingirem a sua atividade metabólica máxima. Segundo Domingues & Edwards (2011, p. 37), as minhocas epigeicas toleram valores de pH dentro do intervalo de 5 a 9, e os mesmos autores afirmam que também é o intervalo considerado ideal para a reprodução da espécie *Eisenia fetida*.

Comparando os valores obtidos de pH durante toda a parte experimental com os valores indicados pelos autores (tabela 14), e admitindo o intervalo de erro da leitura na escala que o aparelho continha, usado para medição, podemos admitir que durante toda a experiência, o vermicomposto teve valores de pH dentro do intervalo considerado ótimo, em todos os ensaios, ou na fronteira superior desse intervalo, conseguindo afirmar, por parte deste parâmetro medido, terem condições para atingirem a atividade metabólica máxima e terem condições ideais para a reprodução. Não ocorreu uma diferença significativa nos valores de pH, sendo o valor de pH máximo registado num ensaio de 6,6 e o valor mínimo de 6,3.

Tabela 14 - Valores de pH do vermicomposto, obtidos na medição nos ensaios da experiência prática, comparando-os com os intervalos de valores considerados ótimos e de tolerância, segundo Lourenço (2014, p. 109) e Dominguez & Edwards (2011, p. 37)

Dia	28	43	50	78	113	Média
Ensaio						
A	6,50	6,30	6,50	6,40	6,50	6,44
B	6,50	6,50	6,60	6,50	6,50	6,52
C	6,60	6,60	6,60	6,30	6,50	6,52
D	6,50	6,60	6,60	6,50	6,60	6,52
E	6,50	6,50	6,50	6,30	6,40	6,44
Intervalo ótimo de pH: 5,50 - 6,50 Intervalo de tolerância de pH: 5,00 - 9,00						

5.1.2. Valor de temperatura

Ao analisar os valores de temperatura de cada ensaio obtidos em cada dia de medição (tabela 15), conseguimos verificar que todos os ensaios, durante toda a experiência prática (num total de 160 dias), se situaram dentro do intervalo de tolerância, defendido por Lourenço (2014, p. 109) e Dominguez & Edwards (2011, p. 36), que está compreendido entre os 0 °C e os 35 °C.

Os mesmos autores afirmam que o intervalo considerado ótimo de temperatura situa-se entre os 20 °C e os 25 °C, e os valores de temperatura do vermicomposto obtidos, situaram-se dentro deste intervalo a partir do dia 43 até ao dia 78, segundo as medições efetuadas.

Admitindo que a temperatura do vermicomposto acompanhou a mesma tendência da temperatura ambiente, visto que não teve nenhum suporte artificial de aquecimento nem esteve diretamente em contacto com luz solar, podemos afirmar que então a temperatura do vermicomposto teve uma tendência de descida constante, desde o começo até ao fim da experiência, sendo esta tendência normal visto que a experiência prática começou já no meio do verão e acabou em pleno inverno, e as temperaturas do ar registadas foram normais para as épocas.

Já Dominguez e Edwards (2011, p. 37), afirmam que a temperatura ideal para a reprodução da espécie de minhoca *Eisenia fetida* está compreendida no intervalo entre 15 °C e 20 °C. Sabendo que os primeiros casulos aparecerem no dia 103, nos ensaios A e B, e estes tinham sensivelmente a mesma temperatura, e caracterizando o comportamento dos valores de temperatura com tendência de descida constante, coincide o aparecimento dos casulos com a temperatura do vermicomposto estar entre os 20,5 °C (do dia 78) e os 16,0 °C (do dia 113), que é o intervalo dentro dos valores considerados ideais para reprodução da espécie *Eisenia fetida*.

Podemos afirmar que quanto maior a quantidade de cânhamo colocado no sistema para alimentação, maior conservação da temperatura do vermicomposto se obteve. A alimentação com os resíduos de cânhamo ocorreu no dia 50 e durante as duas medições, no dia 78 e 113, após essa alimentação, a diferença da temperatura do ensaio que não continha cânhamo (ensaio A) para o ensaio que continha maior quantidade de cânhamo (ensaio E), foi de 1,5 °C, superior neste último. Contudo, se a temperatura ambiente estiver demasiado baixa, o cânhamo não consegue conservar a temperatura do vermicomposto, como podemos verificar no dia 160, onde se registou valores de temperatura igual em todos os ensaios.

O valor máximo de temperatura do vermicomposto, registado num ensaio foi de 30 °C e o valor mínimo foi de 11 °C, havendo uma diferença de temperatura do vermicomposto de 19 °C entre a primeira medição (dia 28) e o final da experiência (dia 160).

Tabela 15 - Valores de temperatura (em °C) obtidos ao longo da experiência. Intervalos de temperatura ótimo e de tolerância, segundo Lourenço (2014, p. 109) e Dominguez & Edwards (2011, p. 36)

Dia Ensaio	28	43	50	78	113	160
A	30,0	23,5	22,0	20,0	16,0	11,0
B	30,0	23,5	21,5	20,5	16,0	11,0
C	28,0	24,0	22,0	20,0	16,5	11,0
D	29,0	24,0	22,0	21,0	17,0	11,0
E	29,5	24,0	22,0	21,5	17,5	11,0
 Intervalo ótimo de temperatura: 20,0 °C - 25,0 °C Intervalo de tolerância de temperatura: 0,0 °C - 35,0 °C						

5.2. Análises finais do vermicomposto

Neste capítulo são analisados os valores das amostras finais utilizadas para apresentar os resultados da adição de resíduos de cânhamo num sistema de vermicompostagem e também tentar dar resposta à pergunta inicial de investigação: a vermicompostagem é uma técnica adequada para o tratamento de resíduos de cânhamo? São apresentados e analisados os valores dos parâmetros de pH, da condutividade elétrica, do teor de MO, do teor de humidade e do teor da fração grosseira, das amostras do vermicomposto e da amostra dos resíduos de cânhamo.

5.2.1. Análise do valor de pH

Em relação ao valor do pH da amostra final, verificou-se uma diminuição constante no valor de pH, quanto maior a quantidade de cânhamo usado na alimentação.

Na figura 56 podemos verificar a linearidade dos valores de pH, medidos numa amostra de vermicomposto de cada ensaio e numa amostra de resíduos de

cânhamo, existindo uma relação inversamente proporcional entre as variáveis. Concluimos facilmente que os resíduos de cânhamo, tendo um pH no valor de 6,3, situando-se na zona considerada ácida ($\text{pH} < 7$), na escala do pH, acidificam o vermicomposto, porque em comparação ao valor de pH do ensaio A, ensaio que não foi alimentado com resíduos de cânhamo, este obteve um valor de 7,69 e mostra que os RUB 'construíram' um vermicomposto alcalino. Analisando os valores de pH do vermicomposto de todos os ensaios, todos eles se encontram-se na zona alcalina ($\text{pH} > 7$), da escala do pH, mas com uma diminuição quanto maior quantidade de resíduos de cânhamo usados na alimentação. Com os dados obtidos podemos afirmar que existe uma relação linear negativa entre as duas variáveis, quantidade de cânhamo presente no vermicomposto e o valor do seu pH, e com a ajuda da figura 56, concluimos que quanto maior a quantidade de cânhamo usado na alimentação do sistema de vermicompostagem, menor é o valor de pH e menos alcalino fica o vermicomposto.

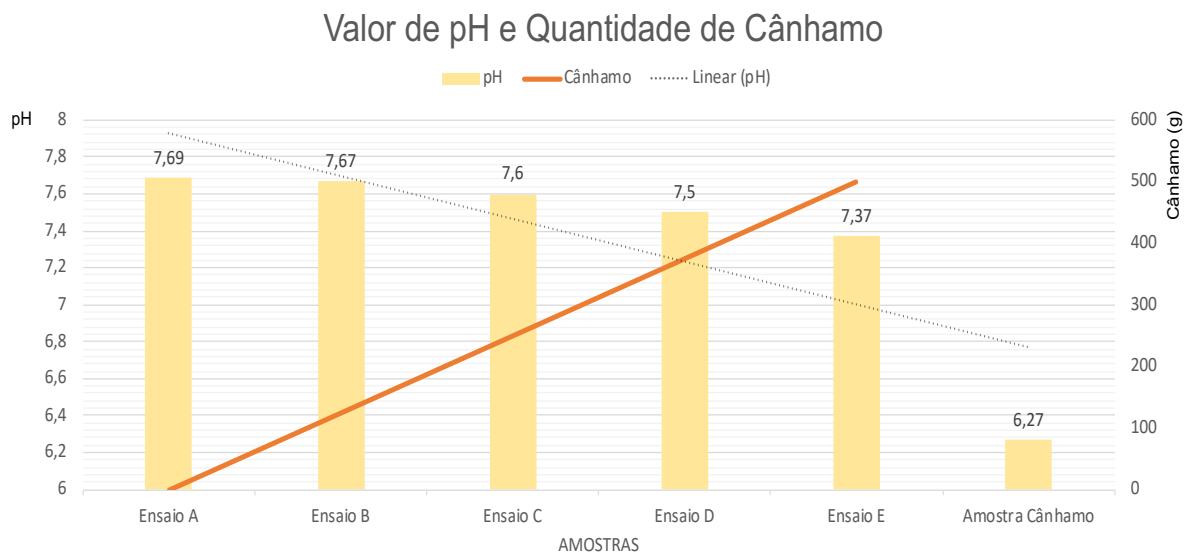


Figura 56 - Gráfico com os valores de pH das amostras do vermicomposto de cada ensaio e da amostra dos resíduos de cânhamo, quantidade de resíduos de cânhamo usada na alimentação de cada ensaio e reta linear da variável pH

5.2.2. Análise para determinação da matéria orgânica

A diferença de percentagem dos resíduos de cânhamo, que ocorre nos ensaios, também afeta o teor de MO presente no vermicomposto. Com as análises realizadas para determinar o teor de MO na amostra de vermicomposto de cada ensaio e numa amostra de resíduos de cânhamo, obtiveram-se valores que indicam a existência de uma correlação linear negativa, com relação inversamente proporcional entre as variáveis.

Na figura 57 são apresentados os valores obtidos do teor de MO em cada amostra de cada ensaio, da amostra dos resíduos de cânhamo e a reta da relação linear existente entre estas duas variáveis. Podemos verificar essa relação entre o teor de MO e a quantidade de cânhamo adicionado a cada ensaio, e apuramos que quanto maior for a quantidade de cânhamo adicionado ao ensaio, menor teor de MO possui o vermicomposto do respetivo ensaio. Isto acontece devido aos resíduos de cânhamo conterem um teor de MO muito baixo (4,10% de MO) e por isso, mesmo havendo uma maior biodegradação dos resíduos de cânhamo, estes não afetavam significativamente o teor de MO do vermicomposto.

No ensaio A, que não contém resíduos de cânhamo, obteve-se um valor para o teor de MO de 34,00%, e foi neste ensaio que se obteve uma maior percentagem de MO. Em contraponto, foi no ensaio E onde se registou a percentagem mais baixa de MO, cerca de 19,00%, e foi neste ensaio onde se colocou maior quantidade de resíduos de cânhamo. Na amostra dos resíduos de cânhamo, obteve-se apenas 4,10% de MO.

Também na figura 57 pode-se visualizar 6 imagens obtidas com a ajuda da lupa binocular, com ampliação 2 e com uma escala de 1 cm. Nestas imagens conseguimos comparar a quantidade de cânhamo e de RUB por degradar, presente em cada amostra analisada e o seu grau de degradação. Como o cânhamo é constituído por fibras internas (macias e finas) e por fibras externas (mais duras), verificamos que os <fios> que são as fibras internas, foram potencialmente biodegradados, mas nas fibras externas é visível o baixo grau de degradação.

Da amostra do ensaio A para a amostra do ensaio E, é possível verificar a diminuição da percentagem de RUB não degradados e o aumento da percentagem de resíduos de cânhamo, devido à concentração deste ser diferente de ensaio para ensaio, mas o grau de degradação ser semelhante entre todos os ensaios.



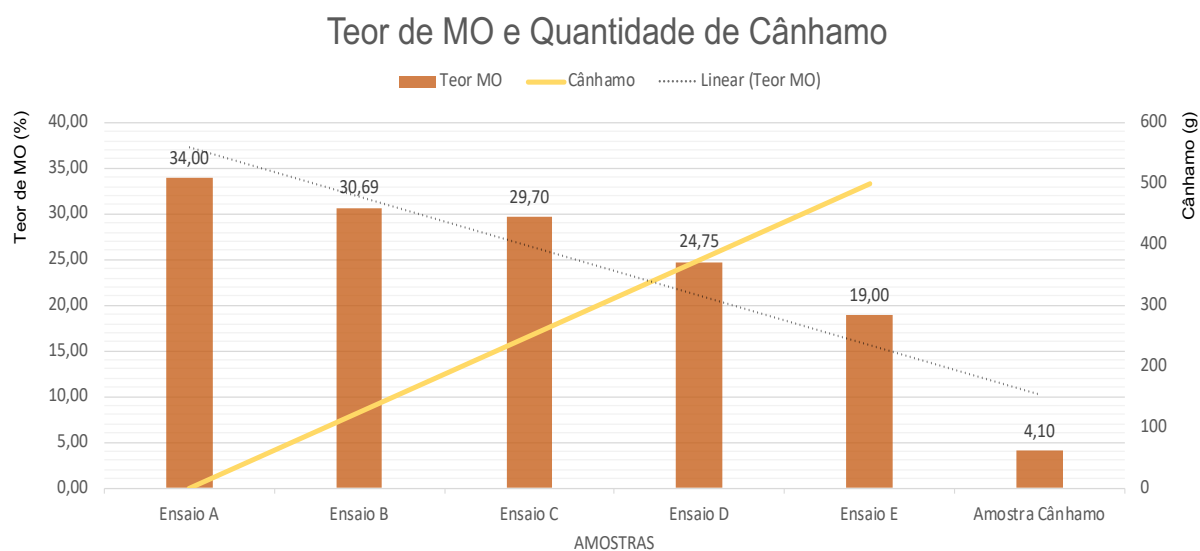
ENSAIO A



ENSAIO B



ENSAIO C



ENSAIO D



ENSAIO E



CÂNHAMO

Figura 57 - Gráfico com os valores do teor de MO das amostras do vermicomposto de cada ensaio e da amostra dos resíduos de cânhamo, quantidade de resíduos de cânhamo usada na alimentação de cada ensaio e reta linear da variável teor de MO. Imagens obtidas da lupa binocular, com ampliação 2x, das amostras do vermicomposto do ensaio correspondente e dos resíduos de cânhamo

5.2.3. Análise do teor de humidade do vermicomposto

Os RUB usados para alimentação têm um elevado teor em água (casca de melão, de abacaxi, de melancia, de manga, alface e couve representam cerca de 64% do total de RUB usados), e com o <teste da mão>, ao conseguir compactar o vermicomposto com as mãos de uma forma fácil durante toda a experiência, podemos afirmar que o teor de humidade do vermicomposto sabia-se, empiricamente, que fosse elevado.

Os valores (figura 58) mostram que todos os ensaios se encontram bastante acima do intervalo de tolerância de humidade, o que indica que existia entre 6 a 7 vezes mais água do que substâncias sólidas, tornando o vermicomposto uma espécie de lama que foi visível em todo o processo da experiência prática.

Os resíduos de cânhamo, por serem um material fibroso, têm a capacidade de retenção de água pelas suas fibras, e como estes resíduos estão presentes no vermicomposto, verificou-se que o peso final da quantidade do vermicomposto produzido, é maior, quanto maior for a quantidade de cânhamo introduzido para alimentação. A diferença de quantidade de cânhamo introduzido no ensaio B e no ensaio E, é de 375 g, a mais no ensaio E mas a diferença do peso total do vermicomposto nos mesmos ensaios é de 953 g, a mais no ensaio E. Isto acontece porque existe uma absorção de água nas fibras dos resíduos de cânhamo.

Esta absorção que as fibras realizaram, verificou-se diretamente no teor de humidade do vermicomposto, numa relação direta entre a quantidade de cânhamo introduzido em cada ensaio e o teor de humidade do vermicomposto. Como se pode verificar na figura 58, existe uma relação linear positiva entre as variáveis: quantidade de resíduos de cânhamo introduzido em cada ensaio e teor de humidade do vermicomposto desse mesmo ensaio. Quer dizer que quanto maior for a quantidade de cânhamo introduzido para alimentação do vermicompostor, maior a quantidade de humidade presente no vermicomposto.

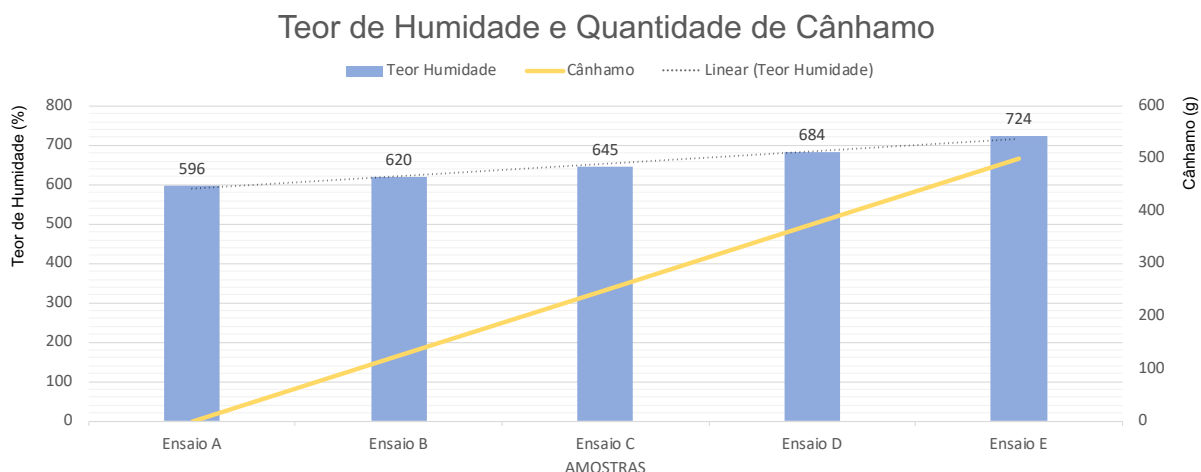


Figura 58 - Gráfico com os valores do teor de humidade das amostras do vermicomposto dos 5 ensaios, quantidade de resíduos de cânhamo usada na alimentação de cada ensaio e reta linear da variável teor de humidade.

5.2.4. Análise dos valores da condutividade elétrica e do teor da fração grosseira (> 63 μm)

Sabendo que um elevado teor de condutividade elétrica indica que os materiais são ricos em nutrientes, mas o excesso destes pode tornar o meio salino e comprometer a sobrevivência das minhocas, os valores obtidos (figura 59) mostram que em todos os ensaios, a condutividade elétrica está com valores acima do que a literatura defende como valor máximo admissível (7,8 dS/m, segundo Lourenço, 2014, p. 106). Mesmo a análise aos resíduos de cânhamo indicar que têm um valor de condutividade elétrica muito baixo, cerca de 0,4 dS/m, a fraca degradação destes resíduos não ajudou a diminuir o valor da condutividade do vermicomposto.

A degradação dos resíduos pode ser contabilizada calculando o teor da fração grosseira (fração > 63 μm) do vermicomposto (figura 60 e 61), servindo para comparar a evolução da degradação dos resíduos ao longo dos 5 ensaios.

Analisando os valores obtidos da percentagem da fração grosseira (figura 60), o ensaio A foi onde os resíduos foram mais degradados porque não se adicionou cânhamo neste ensaio. Os outros ensaios, como foi adicionado resíduos de cânhamo e as suas fibras duras não foram totalmente degradadas, a percentagem da fração grosseira foi maior.

Valor da Condutividade Elétrica e Quantidade de Cânhamo

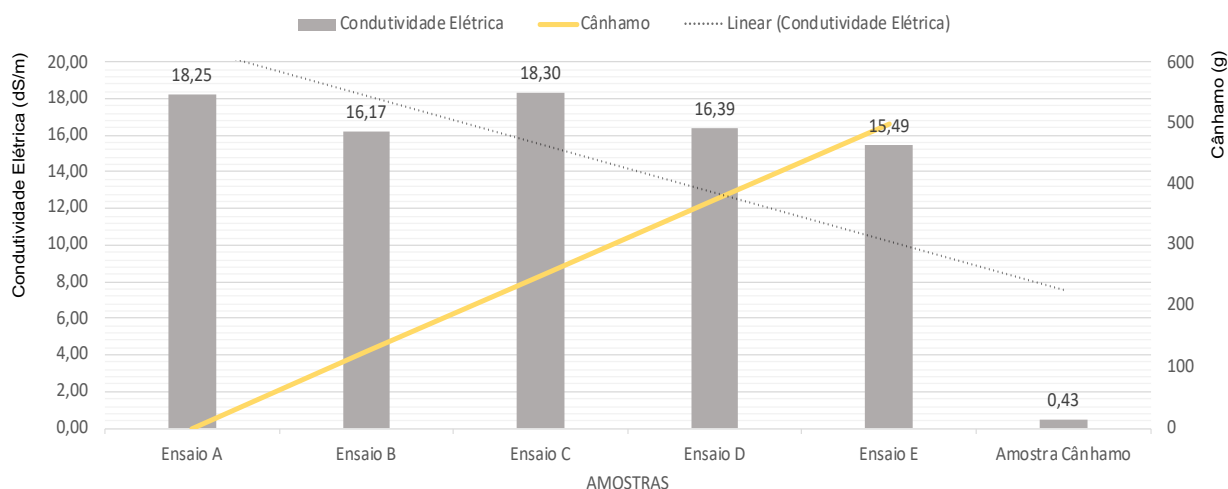


Figura 59 - Gráfico com os valores da condutividade elétrica das amostras do vermicomposto de cada ensaio e da amostra dos resíduos de cânhamo, quantidade de resíduos de cânhamo usada na alimentação de cada ensaio e reta linear da variável condutividade elétrica.

Valor da Fração > 63 μm e Quantidade de Cânhamo

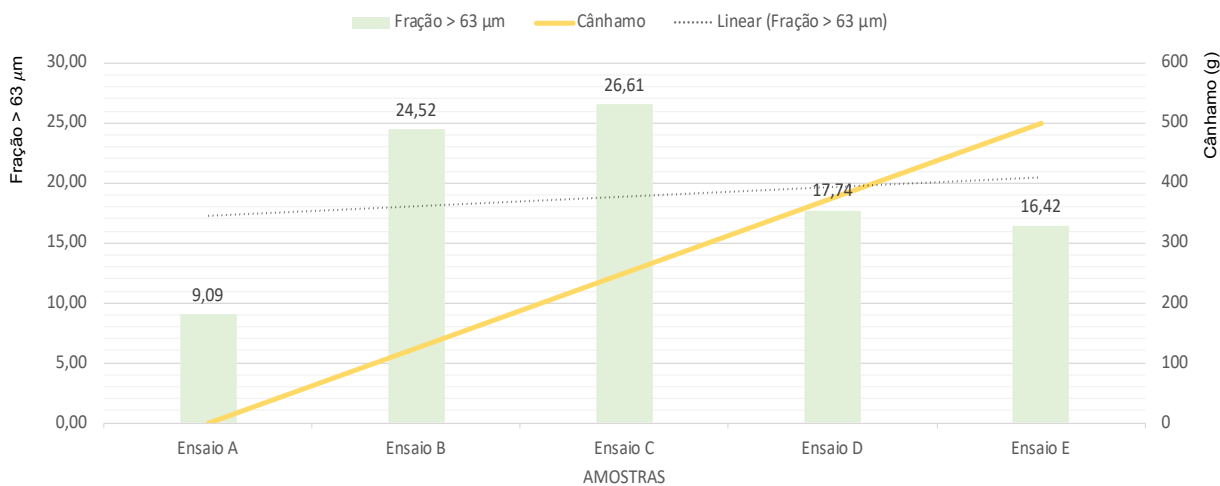


Figura 60 - Gráfico com a percentagem da fração grosseira (> 63 μm) das amostras do vermicomposto de cada ensaio, quantidade de resíduos de cânhamo usada na alimentação de cada ensaio e reta linear da variável fração > 63 μm .



Figura 61 - Amostras da fração grosseira ($> 63 \mu\text{m}$) do vermicomposto de cada ensaio e dos resíduos de cânhamo

5.2.5. Visão geral dos parâmetros analisados

Para concluir é mostrado uma representação (figura 63) onde são apresentadas as tendências dos parâmetros estudados nas análises finais, conforme a quantidade de resíduos de cânhamo introduzidos no sistema de vermicompostagem de cada ensaio.

São mostradas as tendências dos parâmetros dos valores de pH, teor de MO, teor de humidade, consoante cada ensaio e nos resíduos de cânhamo e a tendência da percentagem da fração grosseira ($> 63 \mu\text{m}$) e dos valores da condutividade, de cada ensaio.

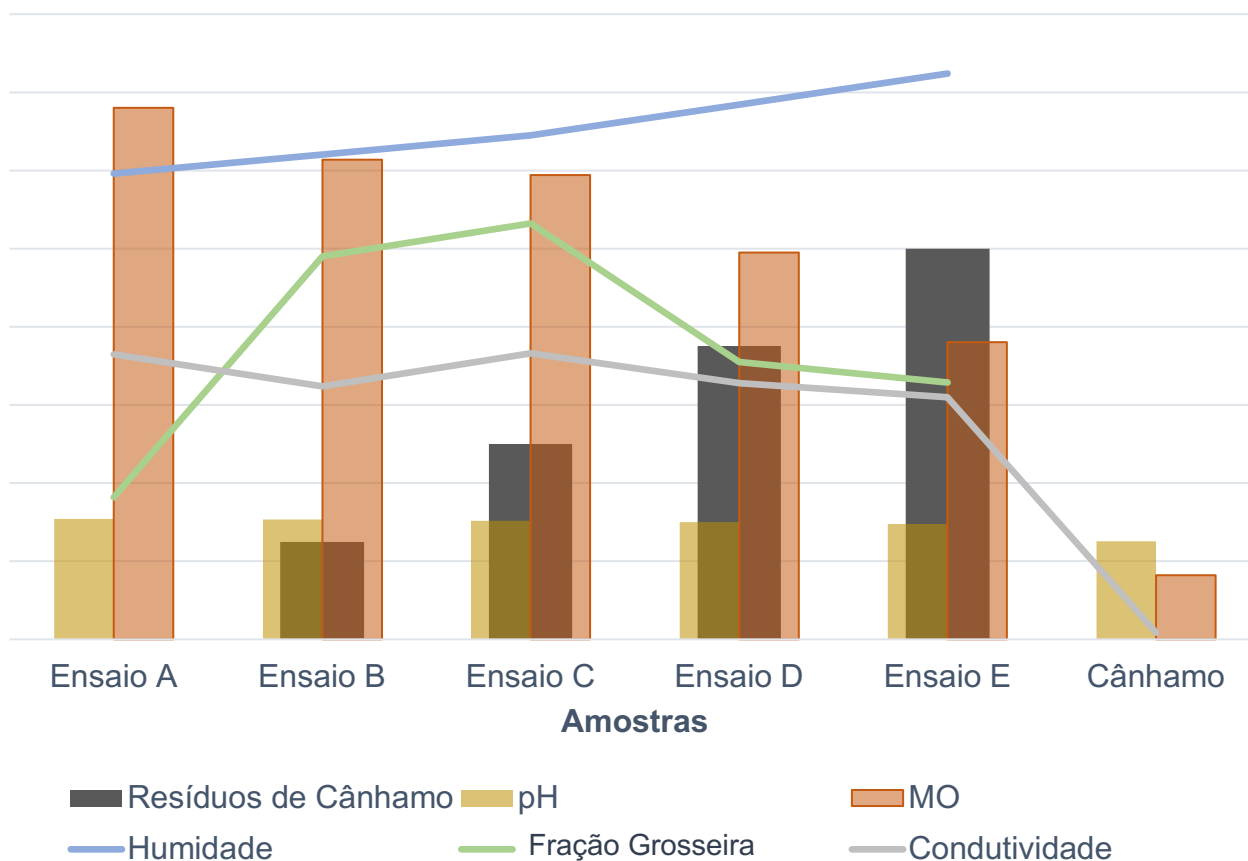


Figura 62 - Representação da tendência dos parâmetros analisados de pH, teor de MO, teor de humidade, percentagem da fração grosseira e valores da condutividade, das análises finais realizadas ao vermicomposto de cada ensaio e aos resíduos de cânhamo

6. Conclusões

Hoje temos uma preocupação crescente com a sustentabilidade do Planeta e por consequência estamos cada vez mais informados para escolher materiais mais sustentáveis no nosso dia a dia. É essencial que se adotem comportamentos e escolhas que reduzam o impacto negativo provocado no planeta, e um começo é escolher materiais mais ecológicos, com um menor consumo energético incorporado, que globalmente se reduza a produção de resíduos e que ao mesmo tempo esses materiais ecológicos respondam de uma maneira positiva às exigências procuradas pelos consumidores.

Assim, a utilização do cânhamo na incorporação em diversos materiais mostra ser uma alternativa sustentável aos materiais convencionais e em alguns casos mostram uma melhoria na qualidade da resposta dos materiais que possuem fibras de cânhamo na sua matriz. A produção de cânhamo tem um impacto residual no ambiente visto que o consumo de água e solo é de baixo valor, não necessita de químicos tóxicos na sua produção, absorve CO₂ e nutre o solo superior. Não tendo na sua constituição tóxicos associados, pode ser classificado como potencialmente seguro para a saúde humana.

O cultivo da planta de cânhamo tem um baixo custo visto que a produção vs. gasto de água vs. solo utilizado, acabam numa boa rentabilidade e adapta-se a condições de pouca disponibilidade de água. Poderá ser uma forma de promover zonas de baixa densidade populacional e/ou em países em desenvolvimento, sendo capaz de criar empregos e riqueza ao ser cultivada e vendida para recolha do seu óleo que está na vanguarda da pesquisa e uso científico, estando o mercado de CBD em crescimento em todo o mundo.

Podemos afirmar que o uso do cânhamo tem potencial na promoção da sustentabilidade ambiental, sustentabilidade económica e sustentabilidade sociocultural.

Com a presente dissertação foi possível analisar a potencialidade da vermicompostagem como técnica de tratamento dos resíduos de cânhamo. Na parte experimental foram usados resíduos de cânhamo e RUB para alimentação das minhocas *Eisenia fetida*.

Com a monitorização dos parâmetros da temperatura, pH e humidade pela observação de evidências nos diferentes ensaios, podemos concluir que existiram condições favoráveis para as minhocas conseguirem ter uma alta atividade, mantendo uma atividade constante na biodegradação dos RUB, apenas diminuindo quando a temperatura do vermicomposto ficou abaixo dos 15 °C, verificando-se assim um aumento no tempo de degradação dos alimentos que eram colocados no sistema de vermicompostagem.

Um ótimo sinal que mostra as condições ambiente que o sistema de vermicompostagem desenvolveu, foi a reprodução e o aparecimento de casulos e o nascimento de minhocas. Para haver reprodução, as condições do meio são mais restritas em comparação às condições de sobrevivência das minhocas. É também de notar que a biodegradação dos resíduos de cânhamo e dos RUB foi semelhante em todos os ensaios, não havendo nenhum onde se conseguisse notar diferença substancial na biodegradação dos alimentos colocados.

Os valores de humidade mostraram o que era facilmente visível em cada ensaio, que existia um alto teor de humidade no vermicomposto. As altas taxas de humidade, entre 596% a 724% superiores às toleradas, segundo a literatura, não mostraram ter afetado a atividade normal das minhocas. Contudo, como os teores de humidade não foram medidos durante a parte experimental, devido à falta de equipamento no laboratório onde se desenvolveu a parte experimental e às restrições impostas pela pandemia da Covid-19, apenas se mediu o teor de humidade no final da experiência e os resultados mostram a existência de uma relação linear positiva entre a variável quantidade de resíduos de cânhamo e a variável teor de humidade.

O ensaio A foi o ensaio que obteve um menor valor de humidade do vermicomposto e o ensaio E foi o ensaio onde se obteve o maior teor de humidade, teor este com um crescimento nos ensaios do A para o E, mostrando que quanto maior a quantidade de resíduos de cânhamo adicionados ao ensaio, maior o teor de humidade presente no vermicomposto. Esta retenção de água deve-se à absorção da mesma nos poros das fibras que constituem o caule da planta do cânhamo.

Os valores de pH do vermicomposto apresentam uma relação linear direta negativa com a variável da quantidade de resíduos de cânhamo, introduzidos em cada ensaio. Estes resultados acontecem devido aos resíduos de cânhamo usados na alimentação dos vermicompostores, possuírem um valor de pH de cerca de 6,3. Já o ensaio A, sendo o ensaio no qual nunca foi introduzido cânhamo, tem um valor de pH

do vermicomposto de 7,69 o qual mostra que o vermicomposto dos ensaios sem os resíduos de cânhamo é superior ao pH da amostra dos resíduos de cânhamo, concluindo assim que quanto maior a quantidade de resíduos de cânhamo adicionados ao ensaio do sistema de vermicompostagem, menor o valor de pH do vermicomposto desse ensaio, como se verificou com as análises efetuadas.

Após a análise dos valores da MO presente no vermicomposto de cada ensaio, concluiu-se que os resíduos de cânhamo não enriqueceram o vermicomposto com matéria orgânica. Na amostra dos resíduos de cânhamo, o teor de MO foi de 4,10%, sendo este um valor considerado baixo. O ensaio onde se obteve um maior valor de teor de MO foi no ensaio A, cerca de 34%, ensaio este que não foi alimentado com resíduos de cânhamo. Em contraponto, foi no ensaio E, onde foi colocado mais quantidade de resíduos de cânhamo, onde se obteve um valor mais baixo de teor de MO no vermicomposto, a rondar os 19%. Existe uma relação linear negativa entre as variáveis: quantidade de resíduos de cânhamo e teor de MO. É explicada pela incompleta biodegradação e baixa quantidade de MO presente na planta do cânhamo, usada na vermicompostagem.

Os valores obtidos da condutividade elétrica do vermicomposto, foram valores muito acima do valor máximo admissível, em comparação ao que a literatura indica para a sobrevivência das minhocas. O valor máximo registado foi de 18,30 dS/m, no ensaio A e C e o menor valor foi no ensaio E, com 15,49 dS/m, de valor de condutividade elétrica. A amostra dos resíduos de cânhamo registou um valor de 0,43 dS/m, o que mostra que os resíduos de cânhamo não alteram os valores da condutividade elétrica do vermicomposto, apresentando uma relação linear negativa entre as variáveis quantidades de resíduos de cânhamo e valor da condutividade elétrica do vermicomposto.

Os resíduos de cânhamo mostraram ter um baixo valor de condutividade elétrica o que, mesmo acontecendo a biodegradação total dos resíduos de cânhamo, não iria ajudar a baixar os valores de condutividade do vermicomposto. É de notar o valor da condutividade elétrica do ensaio C, que é superior ao do ensaio B, sendo apenas aqui que o valor da condutividade elétrica não segue uma tendência decrescente contínua em todos os ensaios. Um valor elevado de condutividade elétrica indica a presença de materiais ricos em nutrientes, o que pode indiciar que estamos na presença de um vermicomposto que pode ser usado para enriquecer os solos, contudo seria necessário a realização de análises específicas para se conhecer os elementos ou substâncias úteis cujo teor deve ser declarado e assim saber se

estava dentro dos parâmetros para ser classificado e usado como fertilizante ou corretivo orgânico.

A percentagem da fração grosseira ($> 63 \mu\text{m}$) do vermicomposto indica-nos a evolução da degradação dos resíduos introduzidos no sistema de vermicompostagem. Os dados obtidos mostraram que os resíduos de cânhamo, por não terem sido totalmente biodegradados, a percentagem da fração grosseira, é maior nos ensaios onde foram colocados resíduos de cânhamo para alimentação. No ensaio A, onde não foram colocados resíduos de cânhamo, a percentagem da fração grosseira obtida foi de 9,09%. Em todos os ensaios onde foi colocado resíduos de cânhamo a percentagem da fração grosseira foi sempre superior ao ensaio A. No ensaio B e C obtivemos valores de 24,52 e 26,61%, respetivamente, da percentagem da fração grosseira do vermicomposto, e nos ensaios D e E os valores foram um pouco inferiores, 17,74% no ensaio D e 16,42% no ensaio E.

Com os resíduos colocados no sistema de vermicompostagem para a alimentação, tanto os RUB como os resíduos de cânhamo, conseguiu-se uma biodegradação semelhante em todos os ensaios. Os RUB foram totalmente biodegradados ao longo da experiência prática, mas os resíduos de cânhamo devido à parte das fibras primárias, constituídas por celulose rígida, não se obteve a total biodegradação deste tipo de resíduos, o que representa uma parte da fração grosseira do vermicomposto. Contudo como foi no ensaio D e E que se adicionaram mais resíduos de cânhamo, e pela observação realizada, afirmamos que a biodegradação dos resíduos foi semelhante em todos os ensaios, era de esperar que a percentagem da fração grosseira nos ensaios D e E fosse maior que nos ensaios B e C, mas não foi este o resultado obtido, o que poderá indicar que nos ensaios com maior quantidade de resíduos de cânhamo, a biodegradação dos resíduos foi superior à dos ensaios com menor quantidade de cânhamo.

A observação realizada às fibras dos resíduos de cânhamo, usando uma lupa binocular, mostra que as fibras secundárias foram biodegradadas no sistema de vermicompostagem, por serem fibras mais pequenas e finas do que as fibras primárias, mas estas últimas, consideradas fibras duras, não foram totalmente biodegradadas, mesmo passado seis meses dentro do sistema de vermicompostagem. Pela observação, o estado de degradação dos resíduos presentes no vermicomposto, é semelhante em todos os ensaios. De todos os resíduos colocados para alimentar o sistema de vermicompostagem, apenas as fibras

primárias dos resíduos de cânhamo têm um estado de biodegradação menor em relação às fibras secundárias do cânhamo e aos outros RUB.

Os resultados obtidos da análise ao vermicomposto produzido, revelam uma biodegradação incompleta das fibras dos resíduos de cânhamo. São necessários estudos adicionais para comprovar a eficácia da vermicompostagem para o tratamento dos resíduos de cânhamo. Uma possível solução de estudo futuro, seria aumentar a concentração de microrganismos, adicionando ao sistema de vermicompostagem, por exemplo, lamas produzidas em ETAR, chorume de animal (bovino ou caprino) ou mesmo reintroduzir no sistema o lixiviado produzido durante a experiência prática.

Dentro de uma visão de economia circular, com a elaboração da parte experimental, foi possível desviar mais de 30 kg de resíduos biodegradáveis dos aterros ou da incineração, estando assim no caminho correto para alcançar as metas de reciclagem estabelecidas na UE.

Trabalhos futuros

Segundo a literatura uma possível solução para se conseguir biodegradar totalmente as fibras primárias do caule da planta do cânhamo é adicionar lamas produzidas em ETAR (Estações de Tratamento de Águas Residuais) ou chorume de animais, por estes conterem uma maior concentração de microrganismos que ajudam na biodegradação deste tipo de fibras, possivelmente potenciando assim uma total biodegradação, dentro de um espaço temporal aceitável e conseguindo tornar a vermicompostagem como uma técnica adequada de tratamento para os resíduos de cânhamo. Este poderá ser um futuro estudo.

Após a entrega desta dissertação será escrito um artigo científico, que terá a compilação de tudo o que foi desenvolvido neste trabalho, para futura submissão.

Referências bibliográficas

Albinante, S., Pacheco, É. and Visconte, L. (2013). “Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas”. *Quim. Nova*, Vol. 36, No. 1, 114-122.

Ahmad, R., Tehsin, Z., Malik, S., Asad, S., Shahzad, M., Bilal, M., Shah, M. and Khan, S. (2016). “Phytoremediation Potential of Hemp (*Cannabis sativa* L.): Identification and Characterization of Heavy Metals Responsive Genes”. *Clean Soil Air Water. CSAWAC* 44 (2) 107-218 (2016), Vol. 44, No. 2, February 2016. DOI: 10.1002/clen.201500117

Annibaldi, V., Cucchiella, F., Berardinis, P., Gastaldi, M. and Rotilio, M. (2020). “An integrated sustainable and profitable approach of energy efficiency in heritage buildings”. *Journal of Cleaner Production*. 251 (2020) 119516. doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119516

Asquer C, Melis E, Scano EA, Carboni G (2019) Opportunities for green energy through emerging crops: biogas valorization of *Cannabis sativa* L. residues. *Climate* 7:142. <https://doi.org/10.3390/cli7120142>

Baptista, C. & Santos, N. (1999). “Cânhamo - aplicações Papeleiras”. *Agroforum*, Nº 14, ano 7, 1999, 37-40.

Baptista, K. G. A. S. (2018). *Valorização social de resíduos orgânicos para o turismo no Brasil* (Tese de mestrado). Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.

Barroso, L. (2010). *Construção Sustentável – Soluções Comparativas para o Uso Eficiente da Água nos Edifícios de Habitação*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.

Benelli, G., Pavela, R., Petrelli, R., Cappellacci, L., Santini, G., Fiorini, D., Sut, S., Acqua, S., Canale, A. and Maggi, F. (2018). “The essential oil from industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) by-products as an effective tool for insect pest management in organic crops”. *Industrial Crops & Products*. 122 (2018), 308-315. doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.05.032

Bonini S., Premoli M., Tambaro S., Kumar A., Maccarinelli G., Memo M. and Mastinu, A. (2018). “*Cannabis sativa*: a comprehensive ethnopharmacological review of a medicinal plant with a long history”. *J Ethnopharm* 227:300–315. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.09.004>

Bragança, L., Neiva, O. and Mateus, R. (2012). *Utilização do Método LCA no Projeto de Edifícios Sustentáveis*. Coimbra, 4º congresso Nacional da Construção.

Bueno, G. (2019). *Efeitos da densidade de plantação, fertilização azotada e método de extração nas propriedades mecânicas de fibras de cânhamo*. Tese de Mestrado. Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal.

Cai, L., Gong, X., Sun, X., Li, S. and Yu, X. (2018). “Comparison of chemical and microbiological changes during the aerobic composting and vermicomposting of green waste”. *PLoS ONE*, 13 (11): e0207494. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207494>

Cai, Y. and Choi, T. (2020). A United Nations’ Sustainable Development Goals perspective for sustainable textile and apparel supply chain management. *Transportation Research Part E*. 141. 2020. 102010. doi.org/10.1016/j.tre.2020.102010

Chauhan, V., Karki, T. and Varis, J. (2019). Review of natural fiber-reinforced engineering plastic composites, their applications in the transportation sector and processing techniques. *J Thermoplast Compos Mater UNSP*. <https://doi.org/10.1177/0892705719889095>

Cherney, JH. and Small, E., (2016). Industrial hemp in North America: production, politics and potential. *Agronomy* 6:1–24. <https://doi.org/10.3390/agronomy6040058>

Cooper, M., Zanon, R., Reia, Y. & Morato, W. (2010). *Compostagem e reaproveitamento de resíduos orgânicos agroindustriais: teórico e prático*. ESALQ, Piracicaba, Brasil.

Crini, G., Lichtfouse, E., Chanet, G. *et al.* Applications of hemp in textiles, paper industry, insulation and building materials, horticulture, animal nutrition, food and beverages, nutraceuticals, cosmetics and hygiene, medicine, agrochemistry, energy production and environment: a review. *Environ Chem Lett* **18**, 1451–1476 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01029-2>

Danielewicz D, Surma-Slusarska B (2017) Properties and fibre characterization of bleached hemp, birch and pine pulps: a comparison. *Cellulose* **24**:5173–5186. <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1476-6>

Dominguez, J. and Edwards, C. (2011). Biology and ecology of earthworm species used for vermicomposting. *Taylor & Francis Group*, LLC, 2011, Chapter 3, 27-40

Edwards, C. and Arancon, N. (2009). The science of vermiculture: the use of earthworms in organic waste management. *Soil Ecology Laboratory*, The Ohio State University, Columbus, Ohio, U.S.A.

Eires, R. (2006). *Materiais não convencionais para uma construção sustentável utilizando cânhamo industrial, pasta de papel e cortiça*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Braga, Portugal.

Elie Awwad, Mounir Mabsout, Bilal Hamad, Mohamad Talal Farran, Helmi Khatib. (2012). Studies on fiber-reinforced concrete using industrial hemp fibers. *Construction and Building Materials*, **35** (2012) 710–717.

Esmaeili, A., Khoram, M., Gholami, M. and Eslami, H. (2020). Pistachio waste management using combined composting-vermicomposting technique: Physico-chemical changes and worm growth analysis. *Journal of Cleaner Production*, Volume **242**, 1 January 2020, 118523. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118523>

Esposito, M., Tse, T. & Soufani, K. (2018). Introducing a Circular Economy: new thinking with new managerial and policy implications. *Berkeley Haas*, volume **60** issue **3**, 5-19. DOI: 10.1177/0008125618764691

Fathordoobady F, Singh A, Kitts DD, Singh AP. (2019). Hemp (*Cannabis sativa* L.) extract: anti-microbial properties, methods of extraction, and potential oral delivery. *Food Rev Int*, 35:664–684. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1600539>

Fernandes, F. (2010). *Especificações para a Reabilitação Sustentável de Edifícios*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.

Fernández-Gómez, M., Nogales, R., Plante, A., Plaza, C. and Fernández, J. (2014). Application of a set of complementary techniques to understand how varying the proportion of two wastes affects humic acids produced by vermicomposting. *Waste Management*. Volume 35, January 2015, Pages 81-88.

Fernandes, R. (2016). A matéria orgânica do solo. *Vida Rural*. Maio 2016, 26-28.

Fike, J. (2016). Industrial hemp: renewed opportunities for an ancient crop. *Crit Rev Plant Sci*, 35:406–424. <https://doi.org/10.1080/07352689.2016.1257842>

Fiorini, D., Molle, A., Nabissi, M., Santini, G., Benelli, G. and Maggi, F. (2019). Valorizing industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) by-products: cannabidiol enrichment in the inflorescence essential oil optimizing sample pretreatment prior to distillation. *Ind Crops Prod*, 128:581–589. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.10.045>

Gedik G, Avinc O (2018) Bleaching of hemp (*Cannabis sativa* L.) fibers with peracetic acid for textiles industry purposes. *Fibers Polym* 19:82–93. <https://doi.org/10.1007/s12221-018-7165-0>

Geyer R, Jambeck JR, Law KL (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made, science advances. *American Association for the Advancement of Science* 3 (7): e1700782

Gholampour A, Ozbakkaloglu T (2020) A review of natural fiber composites: properties, modification and processing techniques, characterization, applications. *J Mater Sci* 55:829–892. <https://doi.org/10.1007/s10853-019-03990-y>

Gominho, M. (2016). “Caracterização Microestrutural de Argamassas”. Tese de Mestrado. Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.

Guimarães, B. (2014). *Estudo das características físico-químicas de fibras têxteis vegetais de espécies de Malvaceae*. Tese de Mestrado. Escola de Artes Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

Hussain, N., Das, S., Goswami, L., Das, P., Sahariah, B. and Bhattacharya, S. (2018). Intensification of vermitechnology for kitchen vegetable waste and paddy straw employing earthworm consortium: Assessment of maturity time, microbial community structure, and economic benefit. *Journal of Cleaner Production*. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.01.241

Ievins, G., Vikmane, M., Kīrse, A. and Karlsons, A. (2017). Effect of Vermicompost Extract and Vermicompost-Derived Humic Acids on Seed Germination and Seedling Growth of Hemp. *Proceedings of the latvian academy of sciences*. Section B, Vol. 71 (2017), No. 4 (709), pp. 286–292. DOI: 10.1515/prolas-2017-0048

Jianyong F, Jianchun Z (2014). Preparation and oil/air filtration properties of hemp paper. *Journal of Industrial Textiles*. 0(00) 1-30. DOI: 10.1177/1528083714521071

Karmegam, N., Vijayan, P., Prakash, M. and Paul, J. (2019), Vermicomposting of paper industry sludge with cowdung and green manure plants using *Eisenia fetida*: A viable option for cleaner and enriched vermicompost production. *Journal of Cleaner Production*, 228, 718-728.

Kibert, C. (2012). *Sustainable Construction – Green Building Design and Delivery*. Third edition. Canada, John Wiley & Sons, Inc.

Leonard W, Zhang PZ, Ying DY, Fang ZX (2020) Hempseed in food industry: nutritional value, health benefits, and industrial applications. *Compr Rev Food Sci Food Saf*, 19:282–308. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12517>

Liu M, Thygesen A, Summerscales J, Meyer AS (2017) Targeted pre-treatment of hemp bast fibres for optimal performance in biocomposites materials: a review. *Ind Crops Prod* 108:660–683. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.07.027>

Lobo, A. (2018). *Desenvolvimento de Produtos com Novos Materiais Poliméricos Biodegradáveis*. Tese de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.

Lourenço, N., 2014. Manual de Vermicompostagem e vermicultura para a agricultura orgânica. Publindústria, Edições técnicas

Lucas, S. (2008). *Critérios Ambientais na Utilização de Materiais de Construção*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.

Malone, T., Gomez, K. (2019). Hemp in the United States: A Case Study of Regulatory Path Dependence. *Applied Economic Perspectives and Policy*, volume 41, number 2, pp. 199–214. doi:10.1093/aepp/ppz001

Mamone G, Picariello G, Ramondo A, Nicolai MA, Ferranti P (2019) Production, digestibility and allergenicity of hemp (*Cannabis sativa* L.). *Food Res Int* 115:562–571. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.09.017>

Mateus, R. (2004). *Novas Tecnologias Construtivas com vista à Sustentabilidade da Construção, Parte I*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Minho, Bragança, Portugal.

Mateus, S. (2012). *Construção Sustentável – Materiais eco-eficientes para a melhoria do desempenho de edifícios*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal.

Mendes, A. (2019). *A Economia Circular no desenvolvimento da Região do Algarve – Uma proposta de indicadores*. Tese de mestrado. Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.

Menezes, J. (2015). *Utilização agrícola de produtos e subprodutos resultantes da aquacultura e da vermicompostagem*. Tese de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, Portugal.

Mikulec A, Kowalski S, Sabat R, Skoczylas L, Tabaszewska M, Wywrocka-Gurgul A (2019) Hemp flour as a valuable component for enriching physicochemical and antioxidant properties of wheat bread. *LWT Food Sci Technol* 102:64–172. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.028>

Morin-Crini N, Loiacono S, Placet V, Torri G, Bradu C, Kostić M, Cosentino C, Chanet G, Martel B, Lichtfouse É, Crini G (2019) Hemp-based adsorbents for sequestration of metals: a review. *Environ Chem Lett*. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0812-x>

Nadjla Mostefai, Rabah Hamzaoui, Sofiane Guessasma, Amadou Aw, Hedi Nouri, “Microstructure and mechanical performance of modified hemp fibre and shiv mortars: Discovering the optimal formulation”. *Materials and Design* 84 (2015) 359–371

Pereira, P. (2009). *Construção Sustentável: o desafio*. Tese de Mestrado, Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal.

Pihlanto A, Mattila P, Mäkinen S, Pajari AM (2017) Bioactivities of alternative protein sources and their potential health benefits. *Food Funct* 8:3443–3458. <https://doi.org/10.1039/C7FO00302A>

Pinheiro, M. (2006). *Ambiente e Construção Sustentável*. Amadora, Instituto do Ambiente.

Riboulet-Zemouli K, Anderfuhren-Biget S, Díaz Velásquez M and Krawitz M (2019), “Cannabis & Sustainable Development: Paving the way for the next decade in Cannabis and hemp policies.” FAAAT think & do tank, Vienna, March 2019. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Available at: <https://faaat.net/publications/9791097087340>

Rijavec T, Janjić S, Ačko DK (2017) Revitalization of industrial hemp *Cannabis sativa* L. var. *sativa* in Slovenia: a study of green hemp fibres. *Tekstilec* 60:36–48. <https://doi.org/10.14502/Tekstilec2017.60.36-48>

Rockenbach, G., Gonçalves, E., Simões, B., Buttow, F. & Nichelle, C. (2018). “Vermicompostagem da mistura de cinza de casca de arroz com esterco bovino e serragem”. *Archivos de Zootecnia*. 67 (258): 212-218.

Sair, S., Oushabi, A., Kammouni, A., Tanane, O., Abboud, Y., and Bouari, A. (2018). "Mechanical and thermal conductivity properties of hemp fiber reinforced polyurethane composites". *Case Studies in Construction Materials* 8 (2018) 203–212

Santos, M. (2013). "O Cânhamo como material de construção: Viabilidade e Oportunidade". Dissertação de mestrado, Universidade Fernando Pessoa, Porto, Portugal.

Schluttenhofer, C. and Yuan, L. (2017) Challenges towards revitalizing hemp: a multifaced crop. *Trends Plant Sci*, 22:917–929. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2017.08.004>

Sena, L., Arruda, J., Costa, F., Almeida, F., Brito, P. and Gondim, F. (2019). "Compostagem e vermicompostagem como alternativa para tratamento e de destinação de resíduos orgânicos". *Revista Verde*, V.14, n.2, p. 266-272, 2019. doi: 10.18378/rvads.v14i2.6136

Silva, I. (2019). "Comparação de regimes de alimentação na produção de Bio-CH₄ e avaliação de indicadores microbiológicos". Dissertação de Mestrado, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal.

Steffen, G., Antonioli, Z., Steffen, R. and Jacques, R. (2013). "Importância ecológica e ambiental das minhocas". *Revista de Ciências Agrárias*, 2013, 36(2): 137-147

Sudkolai, S.T. and Nourbakhsh, F., (2017). "Urease activity as an index for assessing the maturity of cow manure and wheat residue vermicomposts". *Waste Management*, volume 64, 2017, 63-66. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2017.03.011>

Tahseen KARCHE & Rajdeo SINGH (2019). The application of hemp (*Cannabis sativa* L.) for a green economy: a review. *Turkish Journal of Botan*, 43: 710-723.

Torgal, F. e Jalali, S. (2010). *A Sustentabilidade dos Materiais de Construção*. TecMinho, Edição de Autor.

VanDolah HJ, Bauer BA, Mauck KF (2019) Clinicians's guide to cannabidiol and hemp oils. *Mayo Clinic Proc* 94:1840–1851. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2019.01.003>

Wang QL, Xiong YL (2019) Processing, nutrition, and functionality of hempseed protein: a review. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 18:936–952. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12450>

Whalen, K. & Whalen, C. (2018). “The Circular Economy and Institutional Economics: Compatibility and Complementarity”. *Journal of Economic Issues*. 52:3, 605-614. DOI: 10.1080/00213624.2018.1495985

Yu Y, Zhan JB, Wan H, Zhang Y, Li LW, Yu J, Yu TT, Xie J, Yue BS (2017) Manufacturing technology and application of hemp cigarette paper with dense ash integration. In: 3rd international conference energy material environmental engineering. Book series: IOP conference series earth and environmental science 61. UNSP 012078. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/61/1/012078>

Zajac M, Guzik P, Kulawik P, Tkaczewska J, Florkiewicz A, Migdal W (2019) The quality of pork loaves with the addition of hemp seeds, de-hulled hemp seeds, hemp protein and hemp flour. *LWT Food Sci Technol* 105:190–199. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.013>

Zhou Y, Wang S, Lou H, Fan P (2018) Chemical constituents of hemp (*Cannabis sativa* L.) seed with potential anti-neuroinflammatory activity. *Phytochem Lett* 23:57–61. <https://doi.org/10.1016/j.phytol.2017.11.013>

Páginas da internet visitadas

American Lime Technology (2012). What is hempcrete. Disponível em <http://www.americanlimetechnology.com/what-is-hempcrete/>. [Consultado em 18/01/2020].

Bragança, L. e Mateus, R. (2004). *Avaliação da sustentabilidade da construção: desenvolvimento de uma metodologia para a avaliação a sustentabilidade de soluções construtivas*. Disponível em <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/7333>. [Consultado em 25/01/2020].

Metodologia Científica (2019). Métodos de Procedimentos - Método Experimental. Disponível em <https://www.metodologiacientifica.org/metodos-de-procedimentos/metodo-experimental/>

Miranda, M. (2012). Sistemas de certificação na eficiência hídrica. Disponível http://www.ordemengenheiros.pt/fotos/dossier_artigo/19102012_marcomiranda_350320592509a34543eccd.pdf. [Consultado em 25/01/2020].

Tian-yan, W. e Min, C. (2012). *Research on Low-carbon Building Development Based on Whole Life Cycle Analysis*. Disponível em <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029612002836>. [Consultado em 15/01/2020]

Carvalho, R. (2015). Definição de Abordagem de Processo. Disponível em <https://pt.slideshare.net/RoneCarvalho/definio-de-abordagem-de-processo> [Consultado em 15/12/2020]

Anexos

Anexo I - Folha de Registo utilizada na parte experimental



Código: BDTMUL2020S ____ - ____ / ____ E ____

Folha de Registos do dia ____/____/2020 da parte prática da dissertação de mestrado no Ensaio ____

O vermicompostor foi alimentado com um total de:

Elemento	Quantidade	% em relação ao total
Cânhamo (g)		-----
RUB (total em g)		-----
Água (ml)		-----
de lavagem de alimentos		-----
de amolecimento do cânhamo		-----

Resultado dos principais parâmetros para o bom desenvolvimento da *Eisenia fetida*

Parâmetros	Valor registado
Temperatura (° C)	
Humidade (%)	
pH	
Condutividade elétrica (µS/cm)	
Lixiviado produzido (ml)	

Notas:

Anexo II - Protocolo da determinação do teor de matéria orgânica



Licenciatura em Engenharia do Ambiente

CIÊNCIAS DO SOLO
Docente: Anabela Cruces

DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA

MÉTODO 1: Incineração/Calcinação em mufla (Loss on Ignition - LOI)



Fig. 1



Figura 2



Figura 3



Figura 4



Figura 5

Material:

Balança com precisão 0,001g (quatro casas decimais);
Almofariz + pilão de porcelana;
Cadinho de porcelana para ir à mufla;
Mufla;
Pinça metálica (ou tenaz) de metal;
Excicador.

Procedimento:

1. Desagregar em almofariz com auxílio do pilão a amostra previamente seca, até obter um pó fino.
2. Referenciar e pesar os cadinhos de porcelana (anotar o valor da tara).
3. Pesar cerca de 1,0000g de amostra para o cadinho (anotar o peso da amostra).
4. Colocar o cadinho com a amostra na mufla a 500°C, durante 2 horas.
5. Retirar os cadinhos e deixar arrefecer em excicador, até atingir temperatura ambiente.
6. Pesar com a mesma precisão o cadinho mais a amostra após incineração.

Exemplo de Tabela a colocar no caderno de laboratório.

Refª Amostra	Nº cadinho	Tara cadinho (g)	Peso da amostra inicial (g)	Cadinho + amostra final (g)	Peso da amostra final (g)	% MO

Tratamento dos resultados:

O teor de Matéria Orgânica é dado por diferença ponderal (ver fórmula).

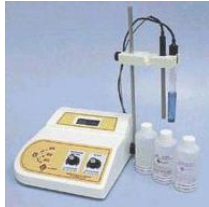
$$\%MO = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Anexo III - Protocolo da determinação eletrométrica do pH do vermicomposto



Licenciatura em Engenharia do Ambiente

CIÊNCIAS DO SOLO
Docente: Anabela Cruces



DETERMINAÇÃO ELECTROMÉTRICA DO pH DO SOLO/SEDIMENTO

O pH, abreviatura de *pondus hydrogenii*, é definido como o logaritmo negativo de base 10 da actividade do ião hidrogénio ($\text{pH} = \log_{10} a_{\text{H}^+}$).

Material:

Reagentes:

- água destilada fervida e conservada ao abrigo do ar;
- água destilada;
- soluções tampão, para calibragem do aparelho de medição*;
*para o aparelho de medição WTW-inoLab (modelo pH 730) são: 4,01; 7,00 e 10,01.

Aparelhos e Utensílios:

- aparelho de medição do pH;
- balança para pesagens com limites de erro de $\pm 0,001\text{g}$;
- balão de pirex ou vidro;
- proveta;
- copo de vidro de 100ml;
- agitador magnético (de preferência), ou vareta de vidro para agitação manual;
- esquicho plástico;
- copo de vidro ou plástico para lavagem.

Procedimento:

✓ Preparação da amostra:

- Ferver água destilada e deixar arrefecer no interior do balão de pirex ou vidro, de preferência hermeticamente fechados com a água ainda quente;
- Pesar 30g de amostra devidamente quarteada num copo de vidro de 100cm³, e juntar 75cm³ de água destilada fervida medidos numa proveta;
- Agitar manualmente a solução durante alguns minutos, e deixar repousar durante várias horas, de preferência durante a noite.



✓ **Determinação electrométrica do valor de pH:**

- Verificar se o aparelho de medição do pH se encontra calibrado; se tal não acontecer, proceder à calibração do aparelho com recurso a soluções tampão, segundo o processo especificado pelo fabricante;
- Agitar manualmente ou com agitador magnético a suspensão da amostra, e mergulhar o eléctrodo previamente lavado com água destilada na suspensão agitada;
- Esperar que o aparelho atinja o equilíbrio, ou seja que o pH atinja um valor constante em cerca de 1 minuto;
- Registar o valor;
- Efectuar mais duas leituras do pH da suspensão de solo com breve agitação entre cada leitura;
- Efectuar mais leituras se necessário, tendo em conta que estas não devem diferir em mais de 0,05 unidades de pH;
- Retirar o eléctrodo da suspensão e lavar com água destilada;
- Quando não estiverem em uso, mergulhar os eléctrodos numa solução de 3 mol/l de cloreto de potássio (KCl).

Anexo IV - Protocolo da separação da fracção fina da grosseira por via húmida



Licenciatura em Engenharia do Ambiente

CIÊNCIAS DO SOLO
Docente: Anabela Cruces

SEPARAÇÃO POR VIA HÚMIDA DA FRACÇÃO >63µm e <63µm



Figura 1

(Material - métodos)



Figura 2

MATERIAL:

- Goblets (1000 ml)
- Balança (2 casas decimais);
- Crivo de 63µm (Figura 1);
- Recipiente de plástico para recolha da fracção fina (<63µm) (Figura 2);
- Pincel (opcional).

PROCEDIMENTO:

- Talar um copo de vidro de 1000 ml;
- Pesar para dentro do copo de vidro a amostra seca (amostra total, cerca de 20-30g);
- Adicionar um pouco de água para humedecer a amostra;
- Despejar a amostra e a água para dentro do crivo de 63µm, previamente colocado no topo de um balde (Figura 2);
- Fazer passar lentamente água da torneira, dispersando o solo com o auxílio de um pincel ou dos dedos;
- Considerar que a separação está completa quando a água que passar pelo crivo se apresentar limpa.
- Retirar a fracção >63µm retida no crivo para o copo de vidro que continha a amostra inicial e colocar na estufa para secar;
- Guardar a fracção fina em recipiente, para secagem;
- Após secagem retirar a fracção >63µm da estufa, aguardar que atinja a temperatura ambiente e pesar:
- Calcular a % fracção >63µm.

Exemplo de Tabela a colocar no caderno de laboratório.

Refª Amostra	Tara do copo (g)	Peso da amostra (g)	Copo + amostra final (>63µm) (g)	Peso da amostra final (>63µm) (g)	% >63µm

Tratamento dos resultados:

- O teor da fracção >63µm é dado pela seguinte fórmula:

$$\% > 63\mu m = \frac{P_f}{P_i} \times 100$$

Anexo V - Protocolo da determinação do teor de humidade



Licenciatura em Engenharia do Ambiente

CIÊNCIAS DO SOLO
Docente: Anabela Cruces

TEOR DE HUMIDADE



Figura 1 - Copo de vidro.



Figura 2 - Balança analítica.



Figura 3 - Estufa.

Material:

Copos de vidro (1 por cada amostra).
Espátula para transferência da amostra (do saco).

Procedimento:

1. Referenciar e pesar os copos de vidro (anotar as taras).
2. Transferir as amostras para os copos respectivos.
3. Pesar os copos com as amostras (anotar valores).
4. Colocar em estufa a 105°C.
5. Deixar secar a amostra até peso constante, o tempo requerido vai depender da quantidade de amostra a secar (*nestas aulas vai considerar-se seca na próxima aula - 1 semana*).
6. Retirar da estufa e deixar o copo tapado até adquirir a temperatura ambiente.
7. Pesar o copo + amostra seca (anotar valor).

Referência da amostra	Peso do copo (g)	Peso (g) copo + amostra húmida	Peso (g) copo + amostra seca

O cálculo do teor em água efectua-se através da seguinte expressão:

$$\gamma_{\text{água}} (\%) = \frac{(P_H - P_S)}{P_S} * 100$$

em que: $\gamma_{\text{água}}$ = Teor em água

P_H = peso da amostra húmida (g)

P_S = peso da amostra seca (g)

Peso	$\gamma_{\text{água}}$
água > sedimento	>100%
água = sedimento	= 100%
água < sedimento	<100%

Anexo VI - Cartaz de aviso colocado na zona onde se situava o sistema de vermicompostagem



Anexo VII - Resultados obtidos na análise dos parâmetros: teor de humidade, teor de MO, fração grosseira e valor de pH

ESTUDO: TEOR DE HUMIDADE					
AMOSTRA	TARA COPO (g)	COPO+AMOSTRA HÚMIDA (g)	COPO+AMOSTRA SECA (g)	TEOR DE ÁGUA (%)	
A	186,65	541,18	238,41	585%	
B	175,91	495,35	219,07	640%	
C	219,63	512,31	259,16	640%	
D	218,56	495,15	253,78	685%	
E	176,85	486,86	215,2	708%	
A	265,21	571,61	308,63	606%	
B	274,34	522,69	308,88	619%	
C	289,35	527,7	321,15	650%	
D	190,41	388,41	215,7	683%	
E	270,14	584	307,55	739%	

AMOSTRA	MÉDIA DO TEOR DE ÁGUA (%)
A	595,31%
B	629,58%
C	644,96%
D	684,12%
E	723,67%

ESTUDO: TEOR DE MO

AMOSTRA	NºCADINHO	TARA CADINHO	AMOSTRA INICIAL (g)	CADINHO+AMOSTRA INICIAL (g)	CADINHO+AMOSTRA FINAL (g)	PESO AMOSTRA FINAL (g)	%MO
A	3	28,38	1,00	29,38	28,72	0,66	34%
B	7	32,06	1,01	33,07	32,37	0,70	31%
C	11	29,29	1,01	30,30	29,59	0,71	30%
D	14	34,71	1,01	35,72	34,96	0,76	25%
E	20	30,57	1,00	31,57	30,76	0,81	19%

ESTUDO: FRAÇÃO > 63 µm

AMOSTRA	TARA COPO (g)	PESO AMOSTRA (g)	COPO+AMOSTRA INICIAL (g)	COPO+AMOSTRA FINAL (g)	PESO AMOSTRA FINAL (g)	% >63 µm
A	285,08	29,36	314,44	311,77	2,67	9%
B	179,62	30,22	209,84	202,43	7,41	25%
C	179,24	27,77	207,01	199,62	7,39	27%
D	173,6	25,53	199,13	194,60	4,53	18%
E	185,87	29,05	214,92	210,15	4,77	16%

ESTUDO: VALOR DE pH

AMOSTRA	TARA COPO (g)	PESO AMOSTRA (g)	VOLUME ADICIONADO (ml)	1º VALOR pH	2º VALOR pH	3º VALOR pH	4º VALOR pH	pH MÉDIO
A	186,65	30,00	75,00	7,66	7,70	7,70		7,69
B	175,91	30,02	75,00	7,66	7,67	7,67		7,67
C	219,63	30,01	75,00	7,60	7,60	7,59		7,60
D	218,56	30,01	75,00	7,50	7,49	7,51		7,50
E	176,86	30,00	75,00	7,36	7,36	7,38		7,37
CÂNHAMO	236,56	30,00	75,00	6,44	6,28	6,28	6,25	6,27

Anexo VIII - Matriz do fundo da gaveta do meio e da tampa

