

**ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM E  
IDENTIFICAÇÃO DE HIPÓTESES DE MELHORIA, TENDO EM VISTA A  
VALORIZAÇÃO DO PRODUTO COMERCIALIZADO**

**Carolina Ramos e Silva**

**Orientadoras:** Engenheira Sónia Figueiredo

Engenheira Nídia Caetano

**Orientadora da Suldouro:** Engenheira Ana Barbosa

Setembro de 2015



## **AGRADECIMENTOS**

Às minhas orientadoras, Engenheira Sónia Figueiredo e Nídia Caetano, do Departamento de Engenharia Química do Instituto Superior de Engenharia do Porto, pelo apoio e ajuda que disponibilizaram ao longo deste trabalho.

À Suldouro, porque sem eles este trabalho não teria sido possível de realizar, em especial à minha orientadora Engenheira Ana Barbosa e ao Engenheiro Joel Braga. Agradeço principalmente ao Senhor Azevedo e a todas as pessoas da CVO pelo carinho, simpatia e ajuda que me deram ao longo de todo o trabalho.

Agradeço ao Engenheiro Tomás, à Engenheira Magda, à Engenheira Marília e à Dona Lurdes do Laboratório de Tecnologia do ISEP pela ajuda e apoio que me deram ao longo de todo o trabalho.

Ao GRAQ pela disponibilidade dos equipamentos necessários para a realização do trabalho e à Doutora Teresa Oliva Teles pela ajuda e disponibilidade ao longo de todo o trabalho laboratorial.

Aos amigos que fiz ao longo desta caminhada por estarem sempre ao meu lado e me ajudarem a ultrapassar todos os obstáculos que foram aparecendo ao longo do caminho percorrido.

Com um carinho especial, agradeço ao meu namorado pela ajuda, pelo carinho, pela paciência, por mesmo longe me apoiar incondicionalmente e fazer com que fosse possível terminar mais um capítulo da minha vida.

Por fim, agradeço às pessoas mais importantes da minha vida, a minha família, pais e irmãos, porque sem eles nada disto era possível. Agradeço todo o amor, o carinho, o encorajamento que me deram ao longo de todo este percurso e por sempre acreditarem que eu era capaz.



## **RESUMO**

A compostagem tem-se revelado uma boa alternativa na gestão, tratamento e valorização de resíduos sólidos urbanos. Dependendo das matérias-primas usadas no processo, os produtos podem ser considerados fertilizantes/corretivos orgânicos com utilidade agrícola.

A Suldouro, Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos, S.A., é responsável pela gestão, valorização, recuperação e destino final dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) produzidos em Vila Nova de Gaia e Santa Maria da Feira. Um dos processos do sistema de gestão é a valorização orgânica, que através da compostagem dos resíduos biodegradáveis origina um corretivo orgânico, denominado comercialmente de Agrovida.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar o composto produzido na Suldouro através da análise de alguns metais, nomeadamente cobre, zinco e chumbo, pois o seu teor condiciona a classe em que o composto está inserido, e da avaliação da razão C/N, visto ser um parâmetro importante para o desenvolvimento dos microrganismos. Um outro objetivo foi a determinação do tempo ótimo de compostagem, através da avaliação da temperatura máxima, recorrendo ao teste de auto-aquecimento usando vasos de *Dewar*.

O estudo da presença de chumbo não chegou a ser realizado, pois a sua concentração era muito baixa (da ordem dos ppb), ou seja, não era limitativa para a utilização do composto. Quanto à análise de cobre e zinco no composto verificou-se que era necessário fazer alterações no processo, no sentido de reduzir estes valores, tanto a nível da qualidade dos resíduos usados como matéria-prima como a nível da limpeza, essencial depois das operações de manutenção aos *pulpers*.

Em relação à razão C/N esta apresenta valores muito elevados, ou seja, uma quantidade de azoto total muito baixa, indicativa de que seria necessário acrescentar, no início do processo, resíduos mais ricos em azoto.

A análise do teste de auto-aquecimento indica que o tempo necessário para a estabilização e maturação das pilhas de compostagem é superior a 3 meses. Assim, sugerem-se melhorias a nível da qualidade do resíduo, tentando incluir resíduos mais facilmente biodegradáveis, uma redução da altura da pilha proporcionando um melhor arejamento ou em alternativa proceder periodicamente ao seu revolvimento como complemento à insuflação de ar.

Para concluir, neste trabalho foi realizada uma pesquisa sobre processos de valorização energética, alternativas potenciais à valorização orgânica, tendo sido dado especial relevo a um dos processos, a carbonização hidrotérmica (HTC).

Palavras-Chave: Compostagem, Composto, Valorização, Cobre, Razão C/N.

## **ABSTRACT**

Composting has been considered a good alternative in the management, treatment and valorization of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste. Depending on the raw materials used in the composting process, the resulting products can be considered organic fertilizers/corrective for agricultural use.

Suldouro, Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos, SA, is responsible for the management, valorization, recovery and final destination of the Municipal Solid Wastes (MSW) produced in Vila Nova de Gaia and Santa Maria da Feira. One of the processes of the management system is the organic valorization that by composting of biodegradable waste produces an organic corrective commercially known as Agrovida.

The focus of the presente study was to characterize the compost produced in Suldouro, through the analysis of some metals, including copper, zinc and lead, as it determines the class in which the compost is inserted, and the evaluation of C/N ratio, as it is an important parameter for the development of microorganisms. Another objective was to determine the optimal composting time, by the evaluation of the maximum temperature, using the self-heating test with Dewar vessels.

The analysis of lead's amount was not realized along time because its concentration was too low (in order of ppb), so it was not a limitation to the use of the compost. After copper and zinc analysis in the compost it was found that it was necessary to make changes in the process to reduce these values, both in what concerns the quality of waste used as raw material and in terms of cleaning, essentially after the operations of the pulper's maintenance.

In what concerns to the C/N ratio it shows very high values, due to a very low total amount of nitrogen, being necessary to add at the beginning of the process wastes rich in nitrogen.

The analysis of the self-heating test results showed that the time needed for stabilization and maturation of the piles is greater than 3 months. Thus, it was also suggested improvements in the quality of waste, trying to include more easily biodegradable waste, a reduction in the pile height providing better aeration, or alternatively to periodically revolve the pile in addition to the air supply.

At the end of this study, research on energetic valorization was performed as potential alternative to organic valorization, being given special emphasis to one of the processes, the hydrothermal carbonization (HTC).

Keywords: Composting process, compost, valorization, copper, ratio C/N



## ÍNDICE

Índice.....	i
Índice de Figuras .....	iii
Índice de Tabelas .....	v
Nomenclatura .....	ix
1 Introdução .....	1
1.1 Enquadramento do Trabalho.....	1
1.2 Organização da Dissertação .....	2
2 Estado de Arte .....	5
2.1 Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).....	5
2.2 Compostagem.....	5
2.2.1 Resíduos Orgânicos Biodegradáveis.....	6
2.2.2 Compostagem .....	6
2.2.3 Fatores que Interferem no Processo de Compostagem.....	9
2.2.4 Vantagens e Limitações do Processo de Compostagem.....	12
2.2.5 Estabilização/Maturação do Composto .....	13
3 A Empresa .....	15
3.1 Gestão de Resíduos .....	15
3.2 Processo da Empresa para Obtenção do Composto.....	18
4 Métodos .....	21
4.1 Locais onde Ocorreu Recolha de Amostra.....	21
4.2 Equipamentos e Procedimentos Usados para a Análise das Amostras.....	23
5 Resultados e Discussão .....	30
5.1 Avaliação da Concentração de Metais nas Diferentes Fases do Processo ...	30
5.2 Razão C/N .....	40
5.3 Teste de Auto-Aquecimento.....	41
5.4 Valorização Energética do Composto Fora de Especificação.....	43
6 Conclusão .....	48
7 Bibliografia .....	50
Anexos .....	52
A. Planeamento do Trabalho .....	52
B. Teste efetuado no micro-ondas.....	54
C. Condições de funcionamento do micro-ondas.....	54
D. Curvas de Calibração.....	54

E.	Resultados Obtidos.....	57
F.	Exemplos de Cálculo .....	91
G.	Composição química do Fe430b.....	96
H.	Valores Máximos Admissíveis.....	96

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 2.1 - Processo de compostagem (Compostagem, 2015) .....	7
Figura 2.2 - Curva típica da variação de temperatura observado durante as diferentes fases de compostagem (Tchobanoglous & Kreith, 2002) .....	8
Figura 2.3 - Variação da temperatura e do pH ao longo do processo de compostagem (Temperatura e pH, 2015) .....	11
Figura 3.1 - Instalações da Suldouro .....	15
Figura 3.2 - Central de valorização energética (Suldouro, 2015) .....	16
Figura 3.3 - Central de valorização orgânica (Suldouro, 2015) .....	16
Figura 3.4 - Aterro sanitário de Sermonde (Suldouro, 2015) .....	17
Figura 3.5 - Instalações do novo aterro da Suldouro (Suldouro, 2015) .....	17
Figura 3.6 - a) Processo de compostagem em pilha com arejamento forçado revolvidas ao fim de 2 semanas, b) Compostagem em pilha estática com arejamento forçado, c) Equipamento que faz a separação do composto da estilha e d) Composto maturado	19
Figura 3.7 – Processo efetuado pela CVO da Suldouro para a obtenção do composto .....	20
Figura 4.1 - Material estruturante usado pela empresa no processo de compostagem .....	22
Figura 4.2 - Estufa usada para secar as amostras .....	23
Figura 4.3 - Moinho Fritsch usado na trituração das amostras .....	23
Figura 4.4 - Micro-ondas CEM Mars X .....	24
Figura 4.5 - Espectrofotómetro ContrAA 700 - Analytik Jena AG .....	25
Figura 4.6 - TOC Schimadzu SSM - 5000 A - sólidos .....	25
Figura 4.7 - Bloco digestor da marca Raypa .....	26
Figura 4.8 - Controlador do tempo e da temperatura do bloco digestor .....	26
Figura 4.9 - Digestor Raypa DNP 1500 .....	27
Figura 4.10 - Teste de auto-aquecimento em vaso de Dewar com o auxílio de um termómetro TandD RTR-52A .....	28
Figura 5.1 - Refugo dos pesados à esquerda e refugo dos leves à direita .....	35
Figura 5.2 - Resultados obtidos no teste de auto-aquecimento para o lote 122 (T2), 124 (T3) e 126 (T4) e temperatura ambiente (TA) .....	42
Figura 5.3 – Evolução da temperatura ao longo do tempo, no lote 126 (T4) e TA .....	43
Figura D.1 - Curva de calibração para baixas concentrações de Cu .....	55
Figura D.2 - Curva de Calibração para concentrações de Cu elevadas .....	55
Figura D.3 - Curva de Calibração para concentrações de Zn .....	56



## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 - Classificação dos compostos em função da temperatura máxima .....	13
Tabela 5.1 – Concentração do metal cobre em dias diferentes para a entrada e saída dos <i>Pulpers</i> , Refugos e PW0 .....	31
Tabela 5.2 - Concentração do metal zinco em dias diferentes para a entrada e saída dos <i>Pulpers</i> , Refugos e PW0.....	33
Tabela 5.3 – Concentração de cobre na entrada e saída do digestor 1 e 2 em diferentes dias.....	37
Tabela 5.4 - Concentração de zinco na entrada e saída do digestor 1 e 2 em diferentes dias.....	37
Tabela 5.5 - Concentração de cobre presente em diferentes lotes de composto durante o processo de compostagem .....	38
Tabela 5.6 - Concentração de zinco presente em diferentes lotes de composto durante o processo de compostagem .....	38
Tabela 5.7 - Concentração de cobre em dois lotes diferentes de composto maturado	39
Tabela 5.8 - Concentração de zinco em dois lotes diferentes de composto maturado	39
Tabela 5.9 - Concentração de cobre na estilha de fora, aterro e valetas.....	40
Tabela 5.10 - Concentração de zinco na estilha de fora, aterro e valetas .....	40
Tabela 5.11 - Razão C/N para diferentes tipos de amostras .....	41
Tabela 5.12 – Principais conclusões e condições de funcionamento de dois ensaios com a técnica de HTC para RSU.....	45
Tabela A.1 – Plano de recolha de amostras na Suldouro .....	52
Tabela A.2 - Realização das análises em laboratório para o estudo dos parâmetros a estudar .....	53
Tabela A.3 - Início do teste de auto-aquecimento nos vasos de <i>Dewar</i> .....	54
Tabela B.1 – Resultados obtidos para a concentração de metal numa amostra usando HNO <sub>3</sub> e HCl na presença ou na ausência de H <sub>2</sub> O.....	54
Tabela C.1 - Condições de funcionamento do micro-ondas para 2 vasos.....	54
Tabela D.1 – Equação da reta e respetivo coeficiente de correlação, limite de deteção e limite de quantificação da curva.....	55
Tabela D.2 - Equação da reta e respetivo coeficiente de correlação, limite de deteção e limite de quantificação da curva.....	56
Tabela D.3 - Equação da reta e respetivo coeficiente de correlação, limite de deteção e limite de quantificação da curva.....	56
Tabela E.1 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas nos <i>pulpers</i> no dia 26/02/2015.....	57

Tabela E.2 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas nos <i>pulpers</i> no dia 18/03/2015.....	58
Tabela E.3 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas nos <i>pulpers</i> no dia 30/03/2015.....	59
Tabela E.4 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas nos <i>pulpers</i> no dia 31/03/2015.....	59
Tabela E.5 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas nos <i>pulpers</i> e refugos no dia 1/04/2015 .....	60
Tabela E.6 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas nos <i>pulpers</i> e água do PW0 no dia 2/04/2015 .....	61
Tabela E.7 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas nos <i>pulpers</i> no dia 20/05/2015.....	62
Tabela E.8 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas nos <i>pulpers</i> no dia 15/06/2015.....	63
Tabela E.9 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas nos <i>pulpers</i> no dia 18/06/2015.....	64
Tabela E.10 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas nos <i>Pulpers</i> no dia 22/06/2015 .....	65
Tabela E.11 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas nos <i>Pulpers</i> no dia 25/06/2015 .....	66
Tabela E.12 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas à entrada e à saída dos digestores no dia 26/02/2015.....	67
Tabela E.13 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas à entrada e à saída dos digestores no dia 18/03/2015.....	68
Tabela E.14 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas à entrada e à saída dos digestores no dia 20/05/2015.....	69
Tabela E.15 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras de composto em fase de estabilização recolhidas no dia 28/10/2014.....	70
Tabela E.16 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras de composto em fase de estabilização recolhidas no dia 18/11/2014.....	71
Tabela E.17 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras de composto em fase de estabilização recolhidas no dia 16/03/2015.....	71
Tabela E.18 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras de composto em fase de estabilização recolhidas no dia 20/05/2015.....	72
Tabela E.19 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras de composto maturado recolhidas no dia 20/05/2015.....	73

Tabela E.20 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras de estilha recolhidas no dia 18/03/2015.....	73
Tabela E.21 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras de estilha recolhidas no dia 20/05/2015.....	74
Tabela E.22 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas nos <i>Pulpers</i> no dia 18/03/2015 .....	74
Tabela E.23 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas nos <i>Pulpers</i> no dia 30/03/2015 .....	75
Tabela E.24 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas nos <i>Pulpers</i> no dia 31/03/2015 .....	75
Tabela E.25 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas nos <i>Pulpers</i> e refugos no dia 1/04/2015.....	76
Tabela E.26 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas nos <i>Pulpers</i> e água do PW0 no dia 2/04/2015 .....	77
Tabela E.27 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas nos <i>Pulpers</i> no dia 20/05/2015 .....	78
Tabela E.28 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas nos <i>Pulpers</i> no dia 15/06/2015 .....	79
Tabela E.29 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas nos <i>Pulpers</i> no dia 18/06/2015 .....	80
Tabela E.30 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas nos <i>Pulpers</i> no dia 22/06/2015 .....	81
Tabela E.31 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas nos <i>Pulpers</i> no dia 25/06/2015 .....	82
Tabela E.32 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas à entrada e à saída dos digestores no dia 18/03/2015.....	83
Tabela E.33 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas à entrada e à saída dos digestores no dia 20/05/2015.....	84
Tabela E.34 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras de composto em fase de estabilização recolhidas no dia 28/10/2014.....	85
Tabela E.35 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras de composto em fase de estabilização recolhidas no dia 18/11/2014.....	86
Tabela E.36 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras de composto em fase de estabilização recolhidas no dia 16/03/2015.....	86
Tabela E.37 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras de composto em fase de estabilização recolhidas no dia 20/05/2015.....	87

Tabela E.38 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras de composto maturado recolhidas no dia 20/05/2015.....	88
Tabela E.39 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras de estilha recolhidas no dia 18/03/2015.....	88
Tabela E.40 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras de estilha recolhidas no dia 20/05/2015.....	89
Tabela E.41 - Percentagem de carbono total e de carbono inorgânico para diferentes amostras.....	90
Tabela E.42 - Volume de titulante gasto para diferentes amostras e o branco, para determinar o teor de azoto total .....	90
Tabela E.43 - Temperatura observada ao longo de 10 dias em vasos de Dewar para os lotes 122, 124 e 126 .....	91
Tabela F.1 - Volume de NaOH gasto na titulação do H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .....	94
Tabela F.2 - Valores de temperatura obtidos para os valores compreendidos entre o terceiro e o quarto dia, tendo-se assinalado a temperatura máxima atingida.....	96
Tabela G.1 - Composição química do Fe430b.....	966
Tabela H.1 - Valores máximos admissíveis para os teores "totais" de metais pesados, materiais inertes antropogénicos, pedras de granulometria superior a 5 mm no composto e concentração em microrganismos patogénicos, para as diferentes classes (DGAE, 2008) .....	96

## **NOMENCLATURA**

CAS – *Chemical Abstracts Service*

CVO – Central de Valorização Orgânica

ECAL – Embalens de cartão para alimentos líquidos

EN – Norma Europeia

GRS – Sistema de remoção de areias

LHV – *Lower Heating Value*

PERH – Plano Estratégico dos Resíduos Hospitalares

PERSU – Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos

PESGRI – Plano Estratégico dos Resíduos Industriais

ROB – Resíduo Orgânico Biodegradável

RSU – Resíduo Sólido Urbano

RU – Resíduo Urbano

°C – Grau Celsius

cm – Centímetro

g – Grama

h – Hora

kg – Quilograma

m<sup>3</sup> – Metro cúbico

mg – Miligrama

mg/kg – Miligrama por quilograma

mg/L – Miligrama por litro

min – Minuto

MJ/kg – Megajoule por quilograma

mL – Mililitro

mm – Milímetro

mol/L – Número de mol por litro

MW – Mega watt

nm – Nanómetro

ppm – Parte por milhão

psig – *Pound per square inch gauge*

t/ano – Tonelada por ano

W – watt

C/N – Razão Carbono / Azoto

CI – Carbono Inorgânico

COT – Carbono orgânico total

CT – Carbono Total

LD – Limite de detecção

LQ – Limite de quantificação

$r^2$  – Coeficiente de correlação

$S_{x0}$  – Desvio padrão do sinal

Conc. e C. – Concentração

d – Densidade

m – Massa

MM – Massa molar

$n^{\circ}$  - Número

V – Volume

T – Temperatura

P – Pressão

t - Tempo

# **1 INTRODUÇÃO**

## **1.1 Enquadramento do Trabalho**

Ao longo de décadas tem-se vindo a verificar a intensificação das atividades económicas. Esta intensificação traz consequências que contribuem hoje em dia para o esgotamento dos recursos naturais e da capacidade natural para a absorção e processamento dos resíduos e efluentes, carecendo estas questões de soluções prementes e urgentes, quer ao mais alto nível da decisão política, quer da sociedade em geral.

Como tal, as políticas de ambiente têm vindo a destacar-se nas últimas décadas. No contexto destas políticas, os resíduos têm vindo a merecer especial atenção, sendo, conjuntamente com os recursos naturais, uma das 4 áreas prioritárias da União Europeia.

As orientações estratégicas para a gestão de resíduos, em Portugal, foram reconhecidas em vários planos específicos de gestão de resíduos, sobretudo a partir de finais da década de 90. Alguns exemplos mais relevantes são o Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU), o Plano Estratégico dos Resíduos Hospitalares (PERH) e o Plano Estratégico de Gestão dos Resíduos Industriais (PESGRI).

O PERSU é um instrumento de planeamento de referência no âmbito dos resíduos urbanos. Este foi aprovado em 1997 e proporcionou a implementação de um conjunto de ações que se tornaram fundamentais na concretização da política de resíduos urbanos na altura preconizada. O PERSU I (1996 – 2006) teve como principais ações a erradicação das lixeiras, a infraestruturação do setor (unidades de triagem e transferência, centrais de valorização orgânica, centrais de incineração e aterros sanitários) e o desenvolvimento da recolha seletiva (ecopontos e ecocentros). Em 2007, foi aprovado, através da Portaria nº 187/2007, de 12 de fevereiro, o PERSU II, para o período de 2007 a 2016, que dá continuidade à política de gestão de resíduos, tendo em conta novas exigências, tais como, o cumprimento dos objetivos comunitários em matéria de desvio de resíduos urbanos biodegradáveis de aterro e de reciclagem e valorização de resíduos de embalagens, procurando colmatar as limitações apontadas à execução do PERSU I. Recentemente, foi aprovado, pela Portaria nº 187-A/2014, de 17 de setembro, o PERSU 2020. A estratégia para os resíduos, sugerida neste plano, pretende manter o objetivo de garantir um alto nível de proteção ambiental e saúde humana, recorrendo a processos, tecnologias e infraestruturas adequadas. O PERSU 2020 promove também a minimização da produção e perigosidade dos resíduos procurando integrá-los em processos produtivos como materiais secundários reduzindo

os impactes da extração de recursos naturais e assegurando os recursos às nossas economias, ao mesmo tempo que se criam oportunidades de emprego e desenvolvimento económico (PERSU, 2014).

De forma a cumprir as exigências estipuladas no PERSU, a Suldouro construiu uma central de valorização orgânica (CVO) fazendo a valorização de uma parte dos resíduos orgânicos biodegradáveis que anteriormente eram enviados para aterro. Esta valorização é feita através de um processo de digestão anaeróbia seguido de um processo de compostagem, sendo obtido no final, para além do biogás, um corretivo orgânico, denominado comercialmente de AgroVida.

Este trabalho teve o intuito de melhorar a qualidade do produto final, o corretivo orgânico, produzido pela empresa e reduzir os custos associados à sua produção através da determinação do tempo ótimo para a maturação e estabilização do composto.

Desta forma foram identificados e analisados os metais mais problemáticos presentes no composto, cobre (Cu), zinco (Zn) e chumbo (Pb). Estes foram analisados ao longo de todo o processo com o objetivo de descobrir qual a causa para o aumento da concentração destes metais, sem que houvesse qualquer alteração ao processo. Para a análise destes metais foi feita uma digestão ácida por micro-ondas das amostras e depois foram analisados por espectrofotometria de absorção atómica com chama.

Um outro parâmetro avaliado foi a razão C/N, pois é muito importante para o bom desenvolvimento dos microrganismos, levando a uma boa maturação do composto final.

Por fim, com o intuito de reduzir os custos de produção, foi estudado o tempo que era necessário para a maturação e estabilização do composto final, que antecedem a sua comercialização. Esta determinação foi feita recorrendo a vasos de *Dewar* com termómetros que permitem conhecer a temperatura máxima atingida, sabendo assim se o composto está ou não maturado.

## **1.2 Organização da Dissertação**

Esta dissertação encontra-se dividida em 7 capítulos. O presente capítulo faz um enquadramento do trabalho. No capítulo 2 encontra-se apresentado o estado de arte onde se fala dos Resíduos Sólidos Urbanos e do processo de compostagem.

O capítulo 3 descreve a empresa onde se realizou o trabalho e explica o processo utilizado pela empresa para a obtenção do composto produzido.

De seguida, no capítulo 4 faz-se a descrição experimental do trabalho desenvolvido, indicando os locais do processo onde ocorreu recolha de amostras e referindo os equipamentos e procedimentos que foram usados na análise das amostras recolhidas.

Os resultados e discussão são apresentados no capítulo 5. Como ideia para um trabalho futuro, neste capítulo é também abordado o tema da valorização energética do composto, nomeadamente para aquele que não cumpre as especificações.

No capítulo 6 apresentam-se as conclusões deste trabalho como resposta aos objetivos que foram propostos pela empresa e no capítulo 7 encontram-se as referências bibliográficas que foram utilizadas para a realização deste trabalho.

Nos anexos é possível consultar-se informação complementar. No anexo A é apresentado todo o planeamento deste trabalho, tanto a nível de recolha de amostras como a nível laboratorial; os anexos B e C referem-se aos testes e condições de funcionamento do micro-ondas; no anexo D estão apresentadas as curvas de calibração para os dois metais estudados; os anexos E e F apresentam, respetivamente, os resultados obtidos e os exemplos de cálculo; a composição química do Fe430b (material que constitui os *pulpers*) encontra-se no anexo G; o tempo de compostagem de cada lote estudado encontra-se no anexo H; e no anexo I estão apresentados os valores máximos admissíveis para os metais em cada classe de composto.



## **2 ESTADO DE ARTE**

### **2.1 Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)**

Segundo o Decreto-Lei nº 73/2011, de 17 de junho, os resíduos urbanos são definidos como “o resíduo proveniente de habitações bem como outro resíduo que, pela sua natureza ou composição, seja semelhante ao resíduo proveniente de habitações”. Estes resíduos incluem diferentes constituintes, nomeadamente embalagens de produtos alimentares, restos de comida, papel, plásticos, tinteiros, óleos, entre outros.

A sociedade produz grandes quantidades de resíduos, criando assim um problema em relação ao seu destino. Nos países desenvolvidos, os RSU representam uma percentagem muito importante da criação de resíduos. Em 2008, na Europa, a produção de RSU foi o equivalente a 524 kg/ano per capita (Cabeza et al., 2013).

No final do século passado, as lixeiras a céu aberto eram o destino principal para os resíduos, em Portugal. Esta opção causava diversos problemas ambientais, nomeadamente maus cheiros devido ao lixo se encontrar depositado em locais a céu aberto e devido à queima (auto-inflamação) do mesmo. Os solos e a água eram também alvos potenciais de poluição, devido ao arrastamento de metais e outras substâncias pelas chuvas. Outro grande problema ambiental era o fato de uma lixeira a céu aberto atrair animais, tais como, mosquitos, moscas, ratos e outros animais que aí encontram uma fonte de alimento e que poderiam desta forma transmitir doenças graves.

Além dos problemas ambientais gerados pela enorme quantidade de RSU produzidos, existem também problemas sociais. Desta forma, é necessário encontrar maneiras de reduzir o impacto dos resíduos e minimizar a sua produção.

Uma forma encontrada para erradicar as lixeiras foi a criação de aterros sanitários onde os resíduos são depositados. Para além da criação de aterros sanitários foram criados locais para a valorização de resíduos, incluindo postos de triagem para separação de resíduos, incineradoras ou centrais de valorização orgânica (RSU, 2015), (Hannequart et al, 2005).

### **2.2 Compostagem**

Segundo Epstein (2011), a compostagem é definida como a decomposição biológica da matéria orgânica em condições aeróbias, através do controlo do processo. Este controlo do processo implica que a temperatura e o nível de oxigénio sejam mantidos nas condições ótimas.

### **2.2.1 Resíduos Orgânicos Biodegradáveis**

A sociedade atual apresenta um consumismo muito elevado, levando a que os Resíduos Orgânicos Biodegradáveis desempenhem um papel muito importante. Desta forma, é necessário encontrar estratégias de valorização destes resíduos, evitando que eles sejam depositados em aterros.

Os Resíduos Orgânicos Biodegradáveis são resíduos que se decompõem em condições aeróbias ou anaeróbias. Isto leva a que sejam potenciais fontes de contaminação pela emissão de odores e gases com efeito de estufa, atraindo macro e microorganismos indesejáveis e nocivos.

Assim sendo, estes resíduos devem ser valorizados como solução para o seu tratamento e como opção económica viável.

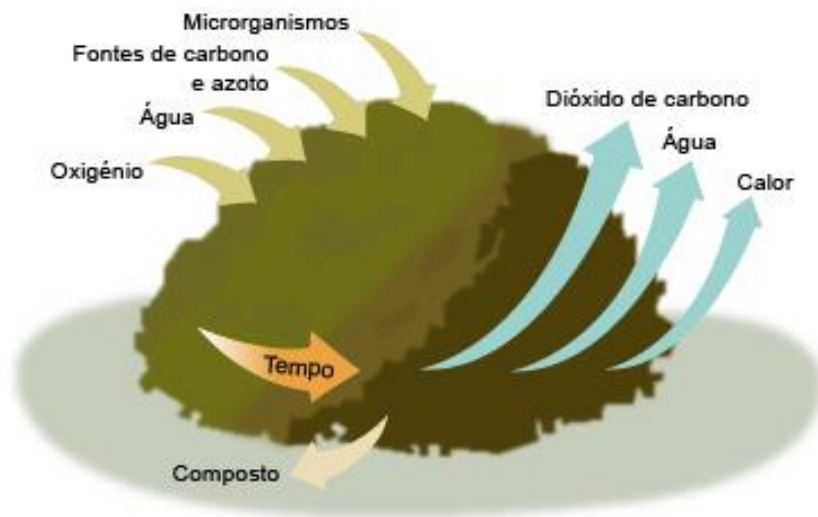
Para que a sua valorização seja possível é desejável que exista uma recolha seletiva dos resíduos biodegradáveis, que permita aplicar diferentes formas de tratamento para obter diferentes produtos e ainda dispor de uma capacidade suficiente para tratar os resíduos de forma a poder comercializar os produtos finais, geralmente o composto e o biogás. O composto tem grande interesse sobretudo para a agricultura, enquanto que o biogás poderá ser utilizado como substituto de alguns combustíveis (Wallström, 2000).

### **2.2.2 Compostagem**

A compostagem é a decomposição aeróbia de materiais orgânicos realizada por microrganismos sob certas condições. Assim sendo, durante o processo, os microrganismos consomem o oxigénio enquanto se alimentam dos nutrientes da matéria orgânica (Pace et al., 1995).

O composto ativo gera uma quantidade considerável de calor, grandes quantidades de dióxido de carbono e vapor de água que são libertados para o ar. Estas perdas fazem com que o volume e a massa do produto final sejam bastante reduzidos.

Para que exista uma compostagem eficaz devem estar presentes diversos fatores importantes, sendo estes o arejamento/oxigenação, a temperatura, a humidade e ainda a presença de nutrientes necessários para o desenvolvimento dos microrganismos (Tchobanoglous & Kreith, 2002). A Figura 2.1 representa o que ocorre num processo de compostagem.



**Figura 2.1** - Processo de compostagem (Compostagem, 2015)

Um composto de boa qualidade deve cumprir certos requisitos, como por exemplo, ter passado por uma maturação adequada, não conter elementos indesejáveis, como plásticos, borrachas, entre outros, não conter elementos tóxicos, tais como metais pesados e não deve conter microrganismos patogénicos.

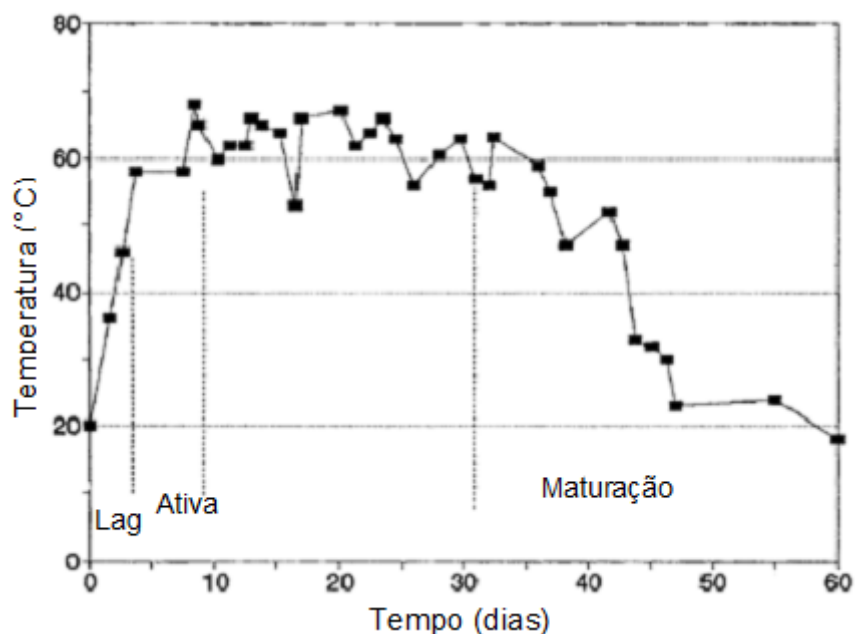
Existem, para o processo de compostagem, diferentes técnicas, sendo que exigem sempre controlo da temperatura e da oxigenação, elementos fundamentais para uma boa compostagem.

Uma das técnicas é a compostagem em pilhas e pode ser definida, como o seu nome indica, como a compostagem de resíduos depositados em pilhas. Esta técnica necessita que as pilhas sejam revolvidas regularmente através de meios mecânicos, para introdução de oxigénio do ar e para melhorar a homogeneidade dos resíduos. Este é um processo fácil de gerir, todavia necessita de uma superfície significativa, a área de compostagem encontra-se obrigatoriamente sobre um terreno duro e impermeável, preferencialmente betão ou asfalto, e o revolvimento da pilha deve ser adaptado à atividade da pilha (Hannequart et al, 2005).

A partir do momento em que temos a pilha formada, microrganismos residentes, que são capazes de utilizar os nutrientes presentes nos resíduos, começam a crescer. Desta forma, as condições do composto começam a ser favoráveis à proliferação de outras populações residentes.

A produção do composto dá-se em três fases, sendo estas, a fase de latência, ou fase inicial, a fase ativa, sendo esta o período em que se dá um crescimento exponencial acompanhado de um aumento da atividade da pilha, seguindo-se uma fase terminal, a fase de maturação, em que se verifica um declínio da atividade até se atingir a temperatura ambiente.

Na prática, o avanço das fases manifesta-se através do aumento e diminuição da temperatura na pilha de composto, como se pode ver através do gráfico típico de variação da temperatura apresentado na Figura 2.2.



**Figura 2.2** - Curva típica da variação de temperatura observado durante as diferentes fases de compostagem (Tchobanoglous & Kreith, 2002)

A evolução do processo é determinada pelos fatores ambientais ao qual se encontra exposto, pelos parâmetros operacionais seguidos e pela tecnologia aplicada.

Se ao longo do processo se observar um desvio num dos fatores, isto significará um funcionamento defeituoso. Se tal ocorrer, as fases só poderão ser concluídas depois da resolução do problema.

A fase de latência começa no momento em que as condições para a produção de composto estejam reunidas, sendo o período de adaptação dos microrganismos presentes nos resíduos.

Os microrganismos começam a proliferar usando açúcares, amidos, e aminoácidos presentes nos resíduos iniciais. Devido à rápida aceleração da atividade, a temperatura começa a aumentar na pilha. Esta fase é tão mais rápida quantos mais resíduos herbáceos e resíduos putrescíveis estiverem envolvidos e mais lenta quantos mais RSU e materiais secos existirem.

A segunda fase do processo, fase ativa, é marcada pelo crescimento exponencial e pela intensificação da atividade dos microrganismos, como tal observa-se um aumento intenso e sem interrupções da temperatura na pilha de composto. Este aumento é contínuo enquanto existirem resíduos de fácil decomposição em quantidades suficientes para suportar o crescimento dos microrganismos, podendo atingir uma temperatura de 70 °C no pico. Quando representado num gráfico, o período do pico da

atividade é representado por um abrandamento da curva. Este abrandamento pode durar alguns dias, como pode atingir semanas caso existam materiais de grande resistência na pilha. A duração da fase varia com as condições ambientais e operacionais aplicadas. Assim sendo, pode durar entre cinco a seis dias, como pode atingir duas a cinco semanas.

A fase de maturação acontece quando os materiais de fácil decomposição se esgotam. Nesta fase, a quantidade de microrganismos diminui. Também a temperatura começa a diminuir, diminuição esta que se verifica até ser atingida a temperatura ambiente. A duração desta fase resulta das condições ambientais e operacionais implementadas, podendo ir de algumas semanas a um ano ou dois (Tchobanoglous & Kreith, 2002).

### **2.2.3 Fatores que Interferem no Processo de Compostagem**

Existem diferentes fatores que interferem no processo de compostagem. De seguida, estão descritos alguns dos fatores mais importantes para este tipo de processo.

#### **✓ Razão C/N:**

O Carbono (C) e o azoto (N) são os nutrientes que mais podem interferir no processo caso estejam presentes em quantidades muito elevadas um relativamente ao outro (razões muito altas ou muito baixas) ou não estejam presentes em quantidades suficientes. Os microrganismos usam o carbono como fonte de energia e de crescimento, enquanto que o azoto é essencial para a produção de proteínas e para a reprodução. Normalmente, uma razão C/N apropriada assegura a presença dos nutrientes restantes necessários em quantidades corretas.

As matérias-primas apresentam uma razão C/N entre 25:1 e 30:1 que é ideal para um composto ativo, mas podem ir até uma razão de 40:1, que também origina bons resultados para o composto. Para razões abaixo dos 20:1, o carbono esgota-se e o azoto ficará em excesso, podendo ser perdido, por volatilização ou por lixiviação, sob a forma de amoníaco, causando odores desagradáveis.

Para razões superiores a 40:1, o azoto não se encontra em quantidade suficiente para a produção dos microrganismos fazendo com que o processo de compostagem abraque drasticamente.

Devido à atividade microbiana que ocorre na pilha a razão C/N tende a diminuir durante o processo de compostagem podendo obter-se razões de 15:1 a 10:1 para um composto já maturado.

### ✓ **Humidade:**

A humidade é também um fator de forte influência no processo de compostagem. Os níveis ideais de humidade encontram-se entre os 40% e 65%, sendo que abaixo dos 40% o processo pára e acima dos 65% a água ocupa demasiado os espaços vazios limitando a deslocação do ar e levando a condições anaeróbias.

Por outro lado, a humidade tem tendência a diminuir com o decorrer do processo de compostagem, pelo que pode ser necessário adicionar água ao composto.

### ✓ **Arejamento:**

Para que o composto seja mantido em condições aeróbias são consumidas grandes quantidades de oxigénio, principalmente durante a fase inicial do processo. Se a fonte de oxigénio for limitada isso pode levar a que o processo se torne anaeróbio, o que torna o processo mais lento e cria maus odores. Desta forma, é necessário um mínimo de 5% de concentração de oxigénio nos poros do composto para que ocorra compostagem aeróbia.

Os níveis de oxigénio podem ser repostos com o revolvimento da pilha.

Para que o oxigénio possa estar presente em toda a pilha esta deve ter uma porosidade suficiente para não haver diminuição da circulação do ar. Se o material não se encontrar saturado com água, os poros encontram-se com ar suficiente para fornecer oxigénio ao composto e os poros fornecem assim um caminho para que o ar possa circular.

Assim sendo, comprimir demasiado a pilha leva a uma diminuição da porosidade impedindo a deslocação do ar. Portanto, devem adicionar-se materiais de maior dimensão, para aumentar a porosidade da pilha, como por exemplo a adição de um material estruturante, como é o caso da estilha de madeira.

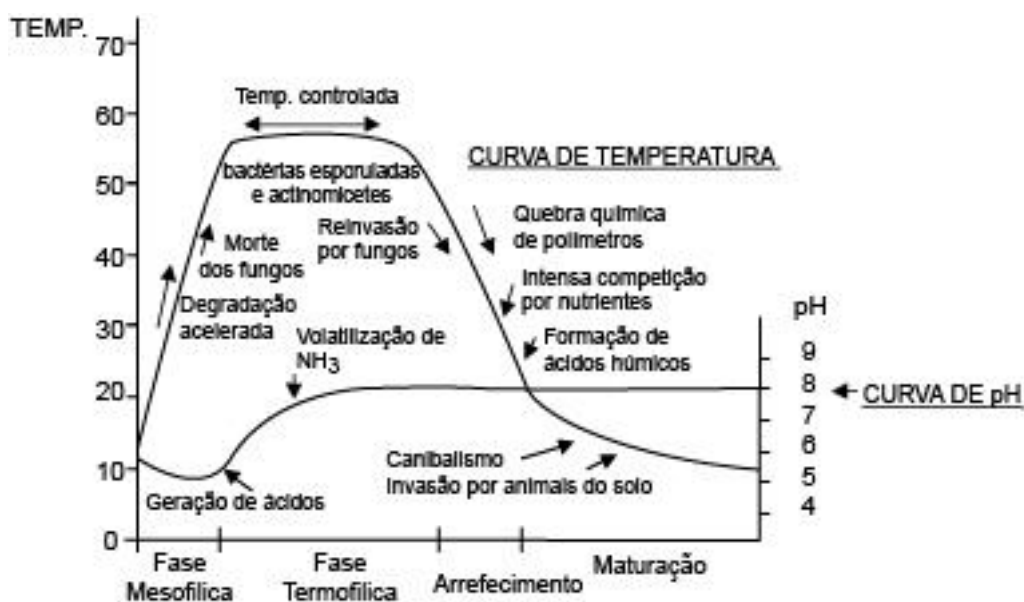
### ✓ **Temperatura:**

A temperatura é também um fator muito importante. O calor é produzido pelos microrganismos enquanto decompõem a matéria orgânica. Existe uma relação direta entre a temperatura e o consumo de oxigénio. Quanto maior a temperatura, maior o consumo de oxigénio e assim apresenta-se uma decomposição mais rápida. Durante o início do processo, as bactérias e fungos mesofílicos são os microrganismos que existem em maior quantidade. Na fase de aquecimento, as pilhas apresentam temperaturas entre 20 °C e 40 °C, sendo nesta fase em que ocorre a degradação microbiológica dos compostos de carbono, o que leva ao aumento da temperatura.

A seguir à fase inicial, dá-se a fase de degradação que é caracterizada por temperaturas na ordem dos 40 a 60 °C, sendo que estas temperaturas favorecem o aparecimento de bactérias termotolerantes. As temperaturas superiores a 60 °C levam a uma redução da população microbiana. Durante esta fase conclui-se a degradação da matéria orgânica, restando apenas a celulose e a lenhina devido à difícil biodegradabilidade destes polímeros estruturantes.

Após este ciclo, denota-se um decréscimo da temperatura, levando a um aumento do número de microrganismos, que serão responsáveis pela decomposição lenta dos compostos como a lenhina e celulose (Figura 2.3).

Pilhas que apresentem temperaturas entre os 32 °C e os 60 °C, indicam compostagem rápida.



**Figura 2.3** - Variação da temperatura e do pH ao longo do processo de compostagem (Temperatura e pH, 2015)

✓ pH:

O pH dos materiais é também importante no processo de compostagem, visto que o pH ótimo para os microrganismos se encontra na gama entre 6,5 e 7,5. Nas primeiras fases da compostagem, os resíduos são degradados por ácidos orgânicos, o que leva a uma diminuição do pH e favorecimento do crescimento de fungos capazes de degradar celulose e lenhina (Figura 2.3).

Durante o processo verificam-se diferentes variações de pH, seja para valores mais baixos, aumentando a acidez da pilha, como para valores mais altos, elevando a alcalinidade. No entanto, globalmente a pilha apresenta um pH estável muito próximo do neutro.

### ✓ **Substâncias tóxicas:**

Deve-se ainda ter atenção a substâncias tóxicas, devido a certos materiais orgânicos apresentarem níveis de zinco, níquel, crómio, entre outros, elevados, sendo estes tóxicos para os microrganismos aeróbios (The composting process, 1996), (Tchobanoglous & Kreith, 2002).

## **2.2.4 Vantagens e Limitações do Processo de Compostagem**

As vantagens do processo de compostagem são inúmeras, podendo destacar-se as seguintes:

- Processo de tratamento de resíduos orgânicos eficiente;
- Excelente processo de reciclagem terciária, retendo no composto macro (N, P, K, Ca, Mg) e micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn, etc.), que podem ser devolvidos ao solo, completando outros ciclos energéticos na natureza;
- Utilização do composto orgânico, em substituição de adubos e corretivos artificiais, na prática agrícola, controlo da erosão dos solos, entre outros;
- Eliminação de microrganismos patogénicos (Caetano, 2014).

No entanto, como qualquer outro processo, o processo de compostagem também apresenta algumas limitações ou desvantagens, como por exemplo:

- Necessidade de grandes áreas de terreno disponíveis;
- Necessidade de realizar uma triagem prévia do material para que não se encontrem produtos de decomposição lenta e que contenham metais pesados;
- Monitorização ao longo do processo, para que não ocorra formação de maus cheiros nem perda excessiva de humidade do material;
- Exigência de mais trabalho e conseqüentemente mais mão-de-obra, o que encarece o processo, no entanto pode traduzir-se numa vantagem parcial já que a mão-de-obra pode ser pouco especializada tendo um impacto social positivo (Caetano, 2014).

## 2.2.5 Estabilização/Maturação do Composto

Na literatura encontram-se muitas vezes os termos “estabilidade” e “maturidade” que são frequentemente confundidos.

A estabilidade do composto refere-se a uma fase específica da decomposição durante a compostagem, a qual está relacionada com a atividade biológica do material.

A maturidade do composto, por outro lado, está relacionada com o grau em que o produto final está livre de substâncias fitotóxicas que podem causar danos a plantas ou a organismos presentes no solo.

Assim sendo, a avaliação da maturidade tem sido um dos maiores problemas relacionados com o processo de compostagem.

Foram propostas várias abordagens para avaliar a estabilidade biológica da matéria orgânica. Algumas consideram métodos químicos, por serem baratos, e outras métodos físicos, reconhecidos por demorarem menos tempo (Cesaro et al., 2015).

Desta forma, a utilização de métodos capazes de avaliar a maturidade dos compostos tem-se demonstrado um desafio importante.

### ✓ Teste de Auto-Aquecimento:

O teste de auto-aquecimento é um método que está relacionado com a atividade biológica e consiste em avaliar a variação da temperatura de uma amostra de composto colocada num recipiente isolado termicamente (*Dewar flask*), em intervalos regulares e durante vários dias (10 dias é o aconselhado).

Morais (2003) mostrou que a classe de estabilidade da amostra de composto será definida pela temperatura máxima atingida pela amostra quando colocada no recipiente adiabático.

Na Tabela 2.1 apresenta-se a classificação do composto em função da temperatura máxima alcançada neste teste.

Tabela 2.1 - Classificação dos compostos em função da temperatura máxima

Classe de Estabilidade	Temperatura máxima (°C)	Designação do Produto
I	>60	Pré composto
II	50-60	Composto fresco
III	40-50	Composto fresco
IV	30-40	Composto maturado
V	<30	Composto maturado



### **3 A EMPRESA**

O estágio foi realizado na sociedade Suldouro, Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos, S.A. situada na Rua Conde Barão, 4415-103, Sermonde, Vila Nova de Gaia.

A sociedade foi constituída através do Decreto-Lei 89/96, de 3 de julho e iniciou a atividade de exploração em março de 1999. Esta sociedade foi concessionada pelo Estado Português, em regime de exclusividade por um período de 25 anos.

A Suldouro tem como finalidade o tratamento e valorização de resíduos sólidos urbanos do sistema multimunicipal do Sul do Douro, abrangendo os concelhos de Vila Nova de Gaia e de Santa Maria da Feira, que contém uma população de 443.041 habitantes numa área de 384 km<sup>2</sup> (censos 2011). Na Figura 3.1 encontra-se uma imagem das instalações da empresa.



**Figura 3.1 - Instalações da Suldouro**

A empresa apresenta a seguinte missão: “Gerir e explorar o Sistema Multimunicipal de Valorização e Tratamento dos Resíduos Sólidos Urbanos do Sul do Douro, que integra como utilizadores os Municípios de Vila Nova de Gaia e de Santa Maria da Feira, sob a orientação de uma política de transparência para com as partes interessadas, de forma ambiental e economicamente sustentável, adotando soluções tecnicamente adequadas de tratamento e valorização dos resíduos sólidos urbanos, promovendo a criação de valor e respeitando sempre as exigências legais instituídas para a sua área de atividade, ao menor custo possível para os utilizadores” (Suldouro, 2015).

#### **3.1 Gestão de Resíduos**

No que diz respeito à gestão dos resíduos, a empresa recebe resíduos indiferenciados e resíduos específicos (provenientes de recolha seletiva porta-a-porta, ecopontos, ecocentros e triagem). Para a valorização e eliminação dos resíduos indiferenciados a empresa possui uma central de valorização energética, uma central

de valorização orgânica e um aterro sanitário.

A central de valorização energética (Figura 3.2) consiste na captação e tratamento do gás rico em metano, designado por biogás, que se gera devido à decomposição anaeróbia da matéria orgânica depositada em aterro, seguido da sua queima numa central equipada com 6 grupos moto-geradores com uma potência instalada de 6,101 MW para produção de eletricidade que é injetada na rede elétrica. Este biogás é proveniente da central de valorização orgânica e do aterro sanitário.



**Figura 3.2** - Central de valorização energética (Suldouro, 2015)

Relativamente à central de valorização orgânica (CVO), representada na Figura 3.3, esta tem como objetivo reduzir a quantidade de resíduos a depositar em aterro, recuperar materiais para reciclagem, produzir eletricidade e composto corretivo de solos. A CVO da empresa tem capacidade para valorizar 20.000 t/ano de resíduos urbanos biodegradáveis (RUB). A primeira etapa consiste no tratamento mecânico de cerca de 60.000 t/ano de resíduos urbanos (RU) recolhidos indiferenciadamente e que seguidamente são encaminhados para uma unidade de tratamento biológico por digestão anaeróbia, produzindo-se biogás, o qual é valorizado energeticamente. Depois da digestão anaeróbia, as lamas digeridas são encaminhadas para um processo de compostagem resultando num composto orgânico corretivo de solos.



**Figura 3.3** - Central de valorização orgânica (Suldouro, 2015)

Em relação ao aterro sanitário (Figura 3.4), este contempla as melhores práticas e tecnologias de proteção ambiental e de saúde pública disponíveis atualmente, tal como previsto no Decreto-Lei nº 183/2009, de 10 de agosto, nomeadamente:

- impermeabilização do fundo e taludes;
- rede separativa de drenagem de lixiviados;
- rede de drenagem e captação de biogás;
- sistema de controlo de qualidade das águas subterrâneas;
- Tratamento adequado dos lixiviados.

Os resíduos são depositados em camadas, compactados com máquinas específicas, e depois cobertos com terra.



**Figura 3.4** - Aterro sanitário de Sermonde (Suldouro, 2015)

Como o aterro de Sermonde se encontra próximo de esgotar a sua capacidade de rececionar resíduos urbanos, foi construído recentemente um novo aterro de resíduos urbanos em Canedo, em Santa Maria da Feira. Na Figura 3.5 é possível observar as instalações do novo aterro (Suldouro, 2015),



**Figura 3.5** - Instalações do novo aterro da Suldouro (Suldouro, 2015)

### 3.2 Processo da Empresa para Obtenção do Composto

A produção do composto pela empresa Suldouro, na CVO, é sujeito a um processo minucioso na qual estão envolvidos três tipos de tratamentos, o tratamento seco, o tratamento hidromecânico e por fim o tratamento biológico.

O tratamento seco consiste na recepção do resíduo na CVO, seguido de encaminhamento para um posto de triagem manual onde se procede à separação de monstros (materiais volumosos). Após a passagem pelo abre sacos, o resíduo é conduzido até um crivo horizontal, de malha circular de 80 mm. A fração superior a 80 mm é separada por um separador balístico em três frações: os rolantes (embalagens metálicas e plásticas não filme) são enviados para a unidade de triagem onde são separados os materiais recicláveis que posteriormente são compactados e enviados para as respectivas empresas recicladoras, os rejeitados desta fração são enviados para aterro; os planos que consistem em embalagens de cartão para alimentos líquidos (ECAL) e plástico filme, que são compactados e enviados para empresas de reciclagem; e a fração fina que é enviada para um “bunker”, em conjunto com a fração de granulometria inferior a 80 mm que sai do crivo, ambas consideradas como materiais orgânicos.

Os orgânicos armazenados no “bunker” vão alimentar os *pulpers*, onde se inicia o tratamento hidromecânico. Nos *pulpers* para além da entrada do resíduo é também adicionada água para que com a agitação da hélice se promova a desagregação de partículas de maior dimensão obtendo-se, desta forma, uma suspensão aquosa homogênea. Neste equipamento existe também a remoção de partículas de materiais indesejados, tais como pedras, plásticos, vidro e têxteis. Seguidamente, a suspensão é enviada para uma sucessão de sistemas de remoção de areias (GRS), denominados hidrociclones, onde ocorre a remoção de partículas de maior densidade, como por exemplo areias. Depois da ação dos hidrociclones a suspensão é encaminhada para os espessadores, com o intuito de se atingir a concentração de sólidos ideal para se iniciar a ação das bactérias envolvidas na decomposição anaeróbia da matéria orgânica. O sobrenadante é enviado para o tanque de água do processo e a pasta é encaminhada para um tanque de suspensão, o qual alimenta em contínuo os digestores durante o funcionamento da central, iniciando-se o tratamento biológico.

A suspensão permanece nos digestores, durante um período de aproximadamente 20 dias, nos quais estão reunidas as condições ambientais ótimas para uma eficaz ação metabólica das bactérias anaeróbias (aproximadamente 35 °C), principalmente das bactérias metanogénicas, responsáveis pela produção de biogás. O

material digerido obtido é enviado para as prensas de desidratação onde ocorre a separação entre a fase sólida e a fase líquida.

A fase sólida obtida (lama digerida) é submetida a um processo biológico aeróbio, a compostagem, após prévia incorporação de material estruturante de origem vegetal, a estilha de madeira. Esta permite um melhor arejamento da pilha, pois aumenta a porosidade da mistura. Durante as primeiras três semanas as pilhas são submetidas a um arejamento forçado pela base (através de um solo perfurado) e revolvidas ao final da segunda semana (Figura 3.6 a). Posteriormente, o tratamento decorre em sistema de pilhas estáticas com arejamento forçado inferior durante aproximadamente nove semanas (Figura 3.6 b). Nesta fase são criadas condições para o desenvolvimento das fases de humificação e estabilização da matéria orgânica. Depois do composto maturado este é encaminhado para um equipamento que procede à separação do composto da estilha (Figura 3.6 c). Por fim, este é armazenado para posterior venda, a granel e ensacada (Figura 3.6 d).



**Figura 3.6** - a) Processo de compostagem em pilha com arejamento forçado revolvidas ao fim de 2 semanas, b) Compostagem em pilha estática com arejamento forçado, c) Equipamento que faz a separação do composto da estilha e d) Composto maturado

Na Figura 3.7 é possível observar, de uma forma esquematizada, o que foi explicado anteriormente.

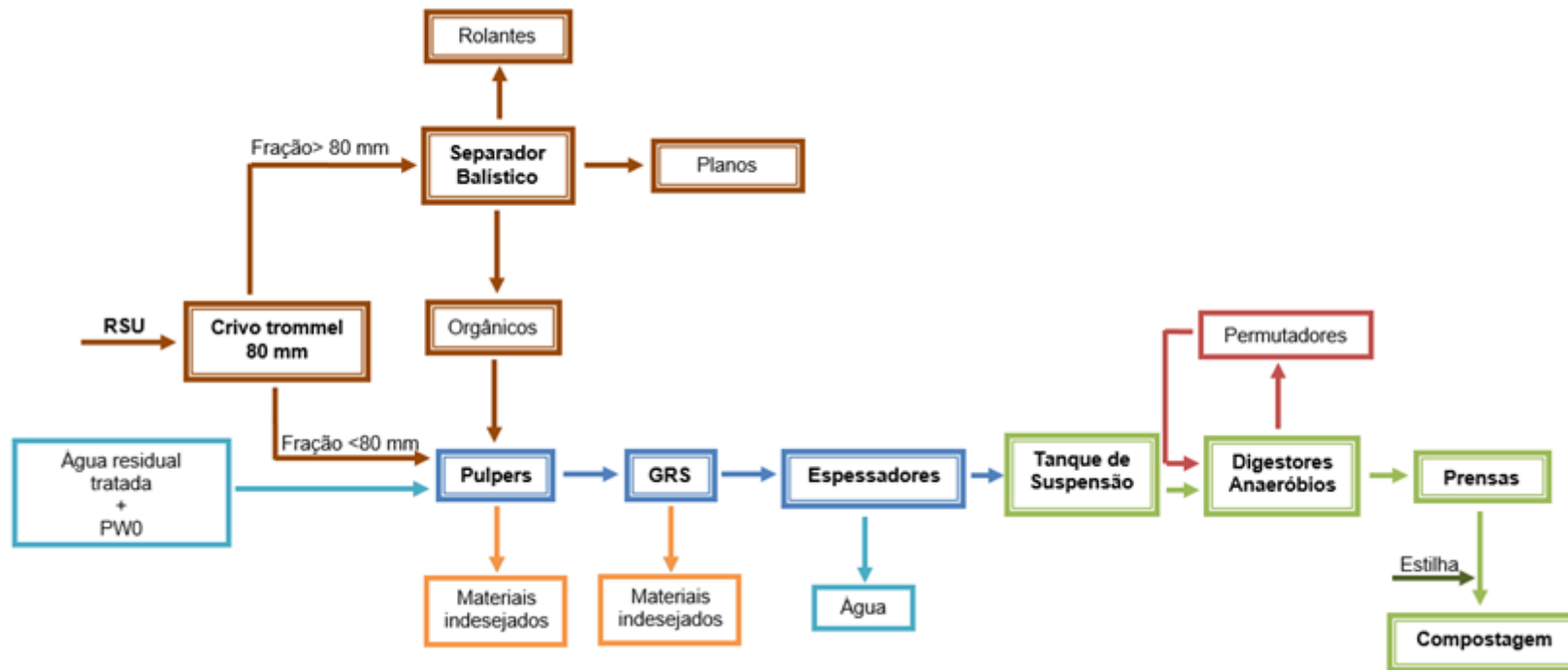


Figura 3.7 – Processo efetuado pela CVO da Suldouro para a obtenção do composto

**Legenda:**

- Tratamento seco
- Tratamento Hidromecânico
- Tratamento Biológico
- Refugos
- Aquecimento da Suspensão

## 4 **MÉTODOS**

### 4.1 **Locais onde Ocorreu Recolha de Amostra**

Com o intuito de cumprir os objetivos propostos para este trabalho, foi feita uma recolha cuidada das amostras em vários pontos do processo, que a seguir se encontram descritos sucintamente.

#### ✓ ***Pulpers***

Os resíduos urbanos sofrem a primeira transformação nos *pulpers*, por este motivo foi um dos focos importantes na recolha das amostras, visto poder ser aqui que estivesse a proveniência dos metais, como o cobre e o zinco, metais esses que foram analisados neste trabalho.

Nos *pulpers* foram feitas recolhas de amostras, pontuais e compostas diárias, ao longo do tempo. Para além da análise da suspensão que sai dos *pulpers* foi feita também a recolha do resíduo à entrada, à água do processo (PW0) e aos refugos, pesados e leves.

Na análise ao resíduo e aos refugos, leves e pesados, foi necessário fazer-se uma lixiviação para posterior digestão do lixiviado em micro-ondas e análise dos metais.

#### ✓ **Digestores**

Nos digestores, onde ocorre a degradação da matéria orgânica na ausência de oxigénio, foi realizada a recolha periódica de amostras, com o intuito de perceber a quantidade de metais presentes na suspensão.

No fim, retirou-se uma amostra da entrada e da saída dos digestores para analisar a razão C/N da suspensão, com o objetivo de avaliar se a proporção de nutrientes seria adequada para o bom desenvolvimento da população microbiana presente na suspensão.

#### ✓ **Composto**

Quanto à recolha do composto foram feitas recolhas de amostras ao longo do tempo, no decorrer do processo de compostagem, 12 semanas aproximadamente, e a diferentes lotes, nas quais se analisou a concentração de metais. Os lotes estudados foram o 108, 109, 110, 122, 124 e 126.

A avaliação da razão C/N, razão entre a percentagem de carbono orgânico total e a percentagem de azoto total, foi feita em amostras de composto já maturado, sendo

efetuada também uma análise da concentração de metais. Neste caso os lotes estudados foram o 112 e 117.

Outro objetivo era a recolha de composto, ainda na fase de compostagem, para efetuar o teste de auto-aquecimento. Este estudo foi realizado em vasos de *Dewar* onde se monitoriza a temperatura ao longo do tempo. Primeiramente, o teste não decorreu como era esperado, visto não ocorrer nenhum aumento da temperatura ao longo do tempo, devido a erros que podem ocorrer neste tipo de testes, por exemplo a posição da sonda de temperatura ou a percentagem de humidade a que é feito o teste. Depois de eliminados estes erros foi feito um estudo para os lotes 122, 124 e 126.

#### ✓ **Biomassa**

A empresa utiliza dois tipos de estilha (Figura 4.1) provenientes de diferentes sítios. A denominada “estilha de aterro” é proveniente de valetas de estrada, jardins e espaços verdes, etc. A designada como “estilha de fora” é proveniente de um horto. No entanto, independentemente das diferentes origens, a estilha provém dos resíduos verdes que são entregues à Suldouro.

Estes dois tipos de estilha, assim como a estilha proveniente de valetas, foram analisadas com o intuito de avaliar a concentração de metais existentes e investigar se poderiam ser um ponto de contaminação para o composto produzido pela empresa.

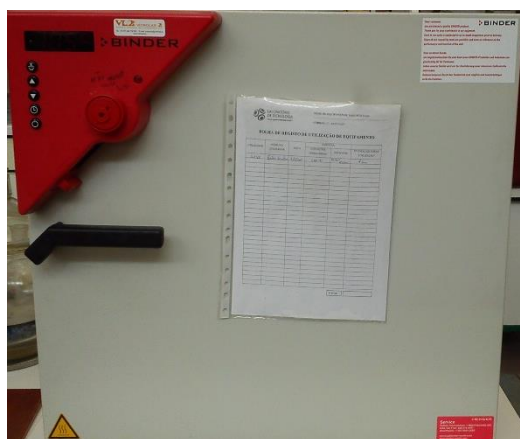


**Figura 4.1** - Material estruturante usado pela empresa no processo de compostagem

## 4.2 Equipamentos e Procedimentos Usados para a Análise das Amostras

### ✓ Preparação das amostras

Para que fosse possível realizar as análises foi necessário preparar previamente as amostras. Como tal, estas precisaram de ser secas em estufa durante 24 h para retirar a humidade da amostra, visto os resultados das análises serem apresentados em massa de matéria seca. A estufa (WTB Binder) que foi utilizada encontra-se na Figura 4.2.



**Figura 4.2** - Estufa usada para secar as amostras

Depois de secas as amostras foram trituradas num moinho (Fritsch) (Figura 4.3), para ficarem com uma granulometria mais pequena que facilite a digestão das amostras.



**Figura 4.3** - Moinho Fritsch usado na trituração das amostras

### ✓ **Determinação da concentração de metais**

Para a determinação da concentração de metais foi usada como base a norma EN 13650 e o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Método referência 3030 E - digestão para metais usando ácido nítrico) (Rice et al., 2012). Como a norma EN 13650 sugeria que a digestão das amostras fosse feita com água régia e o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Rice et al., 2012) com ácido nítrico foi feito um pequeno estudo, apresentado no anexo B, com o intuito de descobrir qual seria mais eficaz na digestão do tipo de amostras estudadas para os metais que se pretendia conhecer. No final do teste verificou-se que o ácido nítrico era mais eficaz na digestão deste tipo de amostras.

O ácido nítrico usado foi da marca Chem-lab, com uma pureza de 65% (número CAS 7697-37-2) e o ácido clorídrico foi da marca Scharlau, com uma pureza de 36,5 – 38% (número CAS 7647-01-0).

A massa pesada na balança analítica (Mettler Toledo) estava compreendida na gama entre 0,5000 e 2,0000 g.

O micro-ondas usado para a digestão das amostras era da marca CEM Mars X (Figura 4.4) e os ensaios realizados para optimização das condições, para dois vasos de digestão, encontram-se apresentados no anexo C. Para a utilização de mais vasos foi feito um ajuste da potência máxima e da % de energia do micro-ondas.



**Figura 4.4 - Micro-ondas CEM Mars X**

Depois de efetuar a digestão das amostras estas foram transferidas quantitativamente para balões volumétricos de 50,00 mL, efetuando-se a filtração de cada uma das soluções para eliminar qualquer tipo de resíduo presente na solução (filtro do tipo Whatman *quantitative filter paper*, ashless).

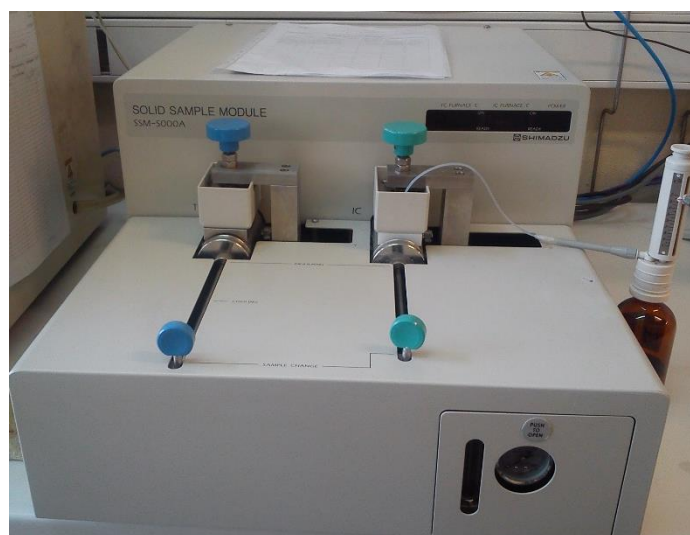
Por fim, as soluções foram analisadas num espectrofotómetro de chama (ContrAA 700 – Analytik Jena AG) (Figura 4.5). As curvas de calibração obtidas e respetivos limites de quantificação e deteção para cada um dos metais apresentam-se no Anexo D.



**Figura 4.5** - Espectrofotómetro ContrAA 700 - Analytik Jena AG

#### ✓ **Determinação da concentração de Carbono Orgânico Total**

Para determinar a percentagem de carbono orgânico total em cada uma das amostras foi usado o aparelho TOC Shimadzu SSM – 5000 A – sólidos (Figura 4.6). A determinação foi feita segundo o procedimento do equipamento. A massa de amostra pesada foi entre 50 e 100 mg.



**Figura 4.6** - TOC Shimadzu SSM - 5000 A - sólidos

#### ✓ **Determinação da quantidade de Azoto Total**

Para realizar a determinação da percentagem de azoto total é necessário efetuar-se a digestão das amostras, depois a destilação e por fim a titulação do destilado obtido (Rice et al., 2012).

Para a digestão das amostras foi usado um bloco digestor da marca Raypa (Figura 4.7) e respetivo controlador (figura 4.8) seguindo o procedimento do equipamento. A massa de amostra usada estava compreendida entre 0,5000 e 1,0000 g.



**Figura 4.7** - Bloco digestor da marca Raypa



**Figura 4.8** - Controlador do tempo e da temperatura do bloco digestor

Depois de feita a digestão das amostras procedeu-se à destilação da mesma no equipamento da marca Raypa – DNP 1500 (Figura 4.9).



**Figura 4.9** - Digestor Raypa DNP 1500

Por fim, foi feita a titulação das amostras usando uma solução de ácido sulfúrico 0,025 mol/L (Merck, pureza 98 % e número CAS 7664-93-9).

#### ✓ **Teste de Auto-aquecimento**

O teste de auto-aquecimento consiste em colocar uma amostra de composto, representativa da pilha que se pretende estudar, num vaso de Dewar equipado com um termómetro e avaliar a variação da temperatura ao longo de 10 dias, tendo sempre em conta a temperatura ambiente.

Depois de recolhida, a amostra deve ser peneirada com o auxílio de um vibrador de peneiros, num peneiro com uma malha de 10 mm. Da amostra peneirada pesa-se, num tabuleiro, aproximadamente 2 kg. De seguida, deve verificar-se a humidade da amostra, esta deve ter uma humidade de aproximadamente 35 %. Se a amostra tiver muita humidade deixar secar ao ar livre até que atinja a humidade correta, não deve passar mais de um dia, se estiver muito seca deve ser adicionada água até atingir a humidade pretendida.

Quando o teor de humidade se encontra ajustado no valor ideal para a realização do teste deve colocar-se a amostra no vaso de *Dewar* sem compactar a amostra, batendo ligeiramente nos lados do vaso com as mãos. Em simultâneo, colocar a sonda

de temperatura (marca TandD RTR-52 A) no centro do vaso, a cerca de 2/3 cm do fundo (Figura 4.10).

Por fim, configurar o registo de temperatura no *software* e parar o registo quando os valores estabilizarem. Normalmente, o pico máximo de temperatura é atingido entre os 2 a 5 dias após o início e o período de ensaio costuma durar 10 dias.



**Figura 4.10** - Teste de auto-aquecimento em vaso de Dewar com o auxílio de um termómetro TandD RTR-52A



## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo vão ser apresentados os resultados que foram obtidos, referentes a cada um dos objetivos propostos pela empresa.

### 5.1 **Avaliação da Concentração de Metais nas Diferentes Fases do Processo**

Os metais estudados foram o cobre e o zinco, pois eram aqueles que apresentavam uma maior concentração no composto final. Inicialmente, ao analisar os valores disponíveis na empresa, o chumbo também era um metal que parecia ter influência na classificação do composto, no entanto com a primeira análise verificou-se que este não era relevante, pois não era detetado (limite de deteção de 0,17 mg/L), logo não constituía um problema para a classificação do composto. Com o intuito de descobrir a fonte de contaminação deste tipo de metais foi feita uma análise a todo o processo, desde os *pulpers*, digestores e composto, incluindo a estilha.

No anexo E encontram-se os valores obtidos para as diferentes análises efetuadas e no anexo F encontram-se os exemplos de cálculo.

- ***Pulpers***

Os *pulpers* são o primeiro equipamento no processo onde, com o auxílio de uma pá agitadora, a matéria orgânica é misturada com a água introduzida no pulper, triturando a matéria orgânica que se transforma numa suspensão. Os *pulpers* fazem uma primeira descarga da suspensão e antes de fazer a descarga dos contaminantes existe a introdução de aproximadamente 5 m<sup>3</sup> de água, havendo novamente a agitação e trituração da matéria orgânica. Como tal, foi um dos pontos importantes para o estudo.

Na Tabela 5.1 e Tabela 5.2 encontram-se os resultados obtidos, para a concentração de cobre e zinco, respetivamente, para as amostras recolhidas ao longo do tempo na entrada e saída dos *pulpers*, refugos e água do processo, PW0. As concentrações de metais foram obtidas através das curvas de calibração presentes no anexo D. O limite de deteção da curva para concentrações baixas de cobre é de 0,03 mg/L e o limite de quantificação é de 0,10 mg/L, para a curva das concentrações altas de cobre, como foi o caso das areias do PW0, o limite de deteção é de 0,17 mg/L e o limite de quantificação é de 0,58 mg/L. Quanto à curva de concentração do metal zinco o limite de deteção é de 0,42 mg/L e o de quantificação é de 1,40 mg/L.

**Tabela 5.1 – Concentração do metal cobre em dias diferentes para a entrada e saída dos *Pulpers*, Refugos e PW0**

Data	Entrada <i>Pulpers</i>	Saída <i>Pulper 1</i>		Saída <i>Pulper 2</i>			Refugos		PW0		
		Tipo de Recolha	Conc. (mg/kg)	Conc. (mg/kg) (+5 m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O)	Tipo de Recolha	Conc. (mg/kg)	Conc. (mg/kg) (+5 m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O)	Leves	Pesados	Água	Areia
								Conc. (mg/kg)	Conc. (mg/kg)	Conc. (mg/L)	Conc. (mg/kg)
26/02		Pontual	259,09	94,54	Pontual	152,28	41,60				
		Pontual	172,06	103,31	Pontual	80,63	58,07				
		Pontual	296,34	175,82	Pontual	226,30	136,08				
		<b>Média</b>	<b>242,50</b>	<b>124,56</b>	<b>Média</b>	<b>153,07</b>	<b>78,58</b>				
18/03	<0,03	Composta	<b>153,69</b>								
30/03		Composta	<b>41,20*</b>		Composta	<b>131,49</b>					
31/03		Composta	<b>118,84</b>		Composta	<b>60,18*</b>					
01/04		Composta	<b>46,24*</b>					<3,00	3,46		
02/04		Composta	<b>116,31</b>							<0,03	<b>579,77</b>
20/05		Pontual	<b>619,86</b>		Pontual	1113,46					
					Pontual	332,12	<b>251,00</b>				4,50
					<b>Média</b>	<b>722,79</b>					
15/06		Pontual	218,07								
		Pontual	288,72								
		Pontual	340,53								
		Pontual	105,97								
		<b>Média</b>	<b>238,32</b>								
18/06					Pontual	851,62					
					Pontual	349,18					
					<b>Média</b>	<b>600,40</b>					

Data	Entrada <i>Pulpers</i>	Saída <i>Pulper 1</i>		Saída <i>Pulper 2</i>		Refugos		PW0			
		Tipo de Recolha	Conc. (mg/kg)	Conc. (mg/kg) (+5 m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O)	Tipo de Recolha	Conc. (mg/kg)	Conc. (mg/kg) (+5 m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O)	Leves	Pesados	Água	Areia
								Conc. (mg/kg)	Conc. (mg/kg)	Conc. (mg/L)	Conc. (mg/kg)
22/06		Pontual	142,12		Pontual	327,86					
		Pontual	64,99		Pontual	157,52					
		<b>Média</b>	<b>103,56**</b>		Pontual	90,02					
					Pontual	122,13					
25/06					<b>Média</b>	<b>174,38</b>					
		Pontual	515,48		Pontual	296,98					
		Pontual	339,94		Pontual	381,79					
		<b>Média</b>	<b>427,71</b>		Pontual	381,91					
					Pontual	321,62					
				<b>Média</b>	<b>345,58</b>						

\*Suspensão muito diluída dificultando a análise da amostra

\*\*Suspensão com muitos inertes (pedras e vidros) dificultando a obtenção de uma amostra representativa para análise

Nota: Todos os valores de concentração foram calculados com base em massa de matéria seca

**Tabela 5.2** - Concentração do metal zinco em dias diferentes para a entrada e saída dos *Pulpers*, Refugos e PW0

Data	Entrada <i>Pulpers</i>	Saída <i>Pulper 1</i>		Saída <i>Pulper 2</i>			Refugos		PW0		
		Conc. (mg/kg)	Tipo de Recolha	Conc. (mg/kg)	Conc. (mg/kg) (+5 m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O)	Tipo de Recolha	Conc. (mg/kg)	Conc. (mg/kg) (+5 m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O)	Leves Conc. (mg/kg)	Pesados Conc. (mg/kg)	Água Conc. (mg/L)
18/03	7,95	Composta	167,14								
30/03		Composta	68,81*		Composta	228,57					
31/03		Composta	184,26		Composta	111,42*					
01/04		Composta	55,90*					<0,10	<0,10		
02/04		Composta	215,87							<0,10	490,23
20/05		Pontual	972,89		Pontual	1520,87					
					Pontual	695,15	554,10				7,64
					<b>Média</b>	<b>1108,01</b>					
15/06		Pontual	385,38								
		Pontual	721,62								
		Pontual	632,52								
		Pontual	202,36								
		<b>Média</b>	<b>485,47</b>								
18/06					Pontual	1351,97					
					Pontual	779,86					
					<b>Média</b>	<b>1065,92</b>					
22/06		Pontual	325,77		Pontual	648,06					
		Pontual	175,01		Pontual	296,91					
		<b>Média</b>	<b>250,39**</b>		Pontual	191,43					
					Pontual	325,99					

Data	Entrada <i>Pulpers</i>	Saída <i>Pulper 1</i>		Saída <i>Pulper 2</i>		Refugos		PW0			
		Conc. (mg/kg)	Tipo de Recolha	Conc. (mg/kg)	Conc. (mg/kg) (+5 m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O)	Tipo de Recolha	Conc. (mg/kg)	Conc. (mg/kg) (+5 m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O)	Leves	Pesados	Água
					<b>Média</b>	<b>271,44</b>					
25/06		Pontual	622,90		Pontual	364,49					
		Pontual	484,04		Pontual	559,16					
		<b>Média</b>	<b>553,47</b>		Pontual	550,42					
					Pontual	445,04					
					<b>Média</b>	<b>479,78</b>					

\*Suspensão muito diluída dificultando a análise da amostra

\*\* Suspensão com muitos inertes (pedras e vidros) dificultando a obtenção de uma amostra representativa para análise

Nota: Todos os valores de concentração foram calculados com base em massa de matéria seca

Nas análises efetuadas à fração orgânica à entrada dos *pulpers* verifica-se que a concentração de metal é inferior ao limite de deteção, tanto para o cobre como para o zinco. Esta análise foi feita através de uma recolha da matéria orgânica que é introduzida nos *pulpers*, sendo realizada uma lixiviação com o intuito de descobrir se o resíduos, sem ser triturado, apenas agitado, poderia contaminar, com metais, a suspensão. Visto que os valores se encontram abaixo do limite de deteção conclui-se que a lavagem dos materiais inertes não promove uma libertação significativa de cobre e zinco. No entanto, como foram recolhidas poucas amostras deste tipo, a quantidade de matéria orgânica recolhida é muito pequena (aproximadamente 5 kg) comparativamente com as toneladas que são tratadas todos os dias, sendo necessário considerar com algumas reservas os resultados obtidos, pois poderia recolher-se uma amostra que estivesse mais contaminada com os metais estudados e aí eventualmente já não teria sido obtida uma concentração abaixo do limite de deteção.

Depois de feita uma avaliação ao material à entrada dos *pulpers* foram feitas também recolhas dos refugos, leves e pesados, que o *pulper* descarrega, visto que seria nestes que poderiam estar presentes os materiais que contribuem para a contaminação da suspensão, principalmente no refugo dos pesados. Como tal, foi realizada uma lixiviação dos refugos, da mesma forma que foi feita para a amostra da matéria orgânica, e analisada a concentração de cobre e zinco (Figura 5.1). Para o metal cobre, obteve-se uma concentração de 3,46 mg/kg para o refugo dos pesados e para o refugo dos leves esta encontrava-se abaixo do limite de deteção (3,00 mg/Kg). Quanto à concentração do metal zinco tanto no lixiviado do refugo dos leves como dos pesados, esteve abaixo do limite de deteção (0,10 mg/L). A análise dos refugos indicia uma pequena contribuição, por parte do refugo dos pesados, na contaminação de metais. No entanto, como foram feitas poucas campanhas de amostragem e a amostra de refugos recolhida foi de aproximadamente 5 kg comparativamente com as grandes quantidades (toneladas) que são descarregados pelos *pulpers*, é necessário considerar os resultados obtidos com algumas reservas.



**Figura 5.1** - Refugo dos pesados à esquerda e refugo dos leves à direita

Além da entrada da matéria orgânica existe também a entrada da água do tanque PW0, assim o seu conteúdo também foi analisado para perceber se seria um ponto de

contaminação. Retirar a amostra da água do PW0 foi complicado devido à quantidade de inertes (areias) que este já possuía no fundo. Como existia grande quantidade de areia no fundo foi também feita uma análise a esta, pois a água é aspirada por uma bomba e sai pelo fundo do tanque. Se esta areia estivesse contaminada, podia estar a contaminar a água que era enviada para dentro dos *pulpers* e conseqüentemente a suspensão. Ao fazer a análise obteve-se uma concentração de cobre de 579,77 mg/kg de matéria seca para a areia e inferior ao limite de deteção para a água. Quanto à concentração em zinco obteve-se para a areia 490,23 mg/kg de matéria seca, e para a água, inferior ao limite de deteção (0,10 mg/L). Após a obtenção destes valores foi feita uma limpeza do tanque, considerando que este poderia ser uma fonte de contaminação por acumulação de metais no fundo do tanque. Depois de feita a limpeza do tanque foi realizada uma nova análise obtendo-se uma concentração de cobre de 4,50 mg/L e uma concentração de zinco de 7,64 mg/L, sendo estes valores aceitáveis para a concentração da água do processo, demonstrando a importância da limpeza para evitar problemas ao nível da contaminação com metais para a suspensão.

Quanto aos resultados à saída dos *pulpers* verifica-se que estes têm um comportamento muito parecido ao longo do tempo, para os dois metais, exceto em algumas recolhas. Nos dias 20/05, 18/06 e 25/06 verificou-se uma maior contaminação do composto, isto deve-se ao facto de ter existido manutenção aos *pulpers* e não ter sido feita qualquer tipo de lavagem com água fresca depois de terminada a intervenção, ficando todo o tipo de pequenos pedaços de soldas e do próprio material do *pulper* dentro deste, sendo introduzida logo de seguida a matéria orgânica. No dia 15/06 observam-se, nalguns pontos, concentrações um pouco elevadas, o que indica que o próprio resíduo também é responsável pela contaminação da suspensão.

Face a estes resultados é possível compreender que a matéria orgânica que é introduzida nos *pulpers* tem uma contribuição no que diz respeito à contaminação do composto final. No entanto, não é o único problema, pois verificou-se que quando ocorre manutenção, a primeira descarga de suspensão encontra-se muito contaminada com estes metais. Para isto, contribui o tipo de soldas dos *pulpers* e a própria composição de algumas das peças que constituem o *pulper*. Segundo documentos fornecidos pela empresa sobre os *pulpers*, onde se descreve qual a composição das peças deste, foi possível verificar que o reservatório do *pulper* e o eixo agitador são constituídos por Fe430b, que possui cobre na sua composição (ver anexo G).

Assim, considera-se necessário reduzir ao máximo o desgaste deste equipamento, para diminuir o número de manutenções que são feitas a este equipamento em particular, sendo atualmente necessária uma manutenção mensal a nível de soldas. Nesse sentido é necessário reduzir a quantidade de inertes que entram nos *pulpers*, ou seja, é necessário reduzir a entrada de materiais como o vidro, porcelanas, ferros, arames, plásticos, têxteis, entre outros. Como tal, seria necessário colocar um equipamento com uma malha menor que

a do crivo trommel, antes do resíduo ir para o bunker. Com esta alteração seria exigida menor manutenção aos *pulpers*, assim como às válvulas e bombas associadas, levando a menores gastos na manutenção. No entanto, ao usar este método vai existir uma perda de matéria orgânica que é eliminada juntamente com os inertes retirados, e que acabaria por ser depositada em aterro. Uma forma mais eficaz seria instalar um pequeno ponto de triagem antes do bunker com uma mesa vibratória para separar a matéria orgânica e duas a três pessoas que fizessem a separação dos metais/baterias, dos plásticos, vidros e têxteis. Isto iria apresentar duas vantagens adicionais para a empresa, além de diminuir os metais presentes no composto final, permitiria aproveitar mais materiais recicláveis que poderiam ser valorizados, em vez de serem eliminados em aterro e por outro lado iria diminuir as manutenções feitas nos *pulpers* e acessórios destes, tais como válvulas e bombas.

o **Digestores**

Os digestores são um ponto importante do processo, onde existe a ação dos microrganismos.

Os resultados obtidos para as amostras recolhidas à entrada e saída dos digestores 1 e 2 encontram-se na Tabela 5.3 e Tabela 5.4, para os metais cobre e zinco, respetivamente.

**Tabela 5.3 – Concentração de cobre na entrada e saída do digestor 1 e 2 em diferentes dias**

	<b>Entrada Digestores</b>	<b>Saída Digestor 1</b>	<b>Saída Digestor 2</b>
<b>Data</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>
<b>26/02/2015</b>	122,40	133,20	133,00
<b>18/03/2015</b>	158,63	280,52	150,11
<b>20/05/2015</b>	116,00	3,30*	228,10

\*Suspensão muito diluída dificultando a análise da amostra

Nota: Todos os valores de concentração foram calculados para matéria seca

**Tabela 5.4 - Concentração de zinco na entrada e saída do digestor 1 e 2 em diferentes dias**

	<b>Entrada Digestores</b>	<b>Saída Digestor 1</b>	<b>Saída Digestor 2</b>
<b>Data</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>
<b>18/03/2015</b>	95,99	365,32	216,58
<b>20/05/2015</b>	182,50	4,50*	335,20

\*Suspensão muito diluída dificultando a análise da amostra

Nota: Todos os valores de concentração foram calculados para matéria seca

Através dos resultados pode concluir-se que à saída dos digestores se observa uma concentração maior que à entrada dos digestores, o que já era esperado visto existir a degradação da matéria orgânica por parte dos microrganismos, e portanto uma redução de massa seca, aumentando a concentração de metais presentes na suspensão.

○ **Composto não maturado**

As tabelas 5.5 e 5.6 apresentam, respectivamente, a concentração de cobre e zinco nos diferentes lotes analisados ao longo do processo de compostagem.

**Tabela 5.5** - Concentração de cobre presente em diferentes lotes de composto durante o processo de compostagem

nº Lote	Tempo de Compostagem	Concentração C + E (mg/kg)	Concentração no Composto (mg/kg)	% Cu proveniente do composto	Concentração na Estilha (mg/kg)	% Cu proveniente da Estilha
108	2 meses 15 dias	219,07	305,95	85,89	76,33	14,11
	3 meses 5 dias	255,44	313,45	75,47	154,74	24,53
109	2 meses 3 dias	119,26	164,56	84,86	44,58	15,14
	2 meses 24 dias	214,18	293,73	84,34	82,81	15,66
110	1 mês 28 dias	152,39	220,74	89,08	41,08	10,92
	2 meses 19 dias	168,97	227,84	82,93	71,23	17,07
122	3 meses 5 dias	190,24	207,66	67,13	154,39	32,87
	5 meses 9 dias	274,68	363,72	81,44	125,9	18,56
124	4 meses 27 dias	278,81	359,76	79,36	142,12	20,64
126	1 mês 14 dias	141,9	208,82	90,50	33,28	9,50
	3 meses 18 dias	178,83	237,92	81,82	80,27	18,18

C – Composto; E - Estilha

Nota: Todos os valores de concentração foram calculados para matéria seca

**Tabela 5.6** - Concentração de zinco presente em diferentes lotes de composto durante o processo de compostagem

nº Lote	Tempo de Compostagem	Concentração C + E (mg/kg)	Concentração no Composto (mg/kg)	% Zn proveniente do composto	Concentração na Estilha (mg/kg)	% Zn proveniente da Estilha
108	2 meses 15 dias	830,88	1215,60	89,98	205,65	10,02
	3 meses 5 dias	918,04	1261,61	84,52	350,99	15,48
109	2 meses 3 dias	486,59	691,39	87,38	151,57	12,62
	2 meses 24 dias	772,02	1125,53	89,66	197,08	10,34
110	1 mês 28 dias	529,96	763,82	88,64	148,67	11,36
	2 meses 19 dias	558,23	790,99	87,14	177,22	12,86
122	3 meses 5 dias	282,55	375,46	81,72	127,51	18,28
	5 meses 9 dias	413,60	581,32	86,44	138,49	13,56
124	4 meses 27 dias	565,41	818,49	89,03	153,18	10,97
126	1 mês 14 dias	309,70			<0,10	
	3 meses 18 dias	425,35	619,09	89,51	110,15	10,49

C – Composto; E - Estilha

Nota: Todos os valores de concentração foram calculados para matéria seca

Ao observar os valores da concentração dos dois metais estudados, verifica-se que à medida que a população microbiana degrada a matéria orgânica, ocorre uma diminuição da massa e conseqüentemente um aumento da concentração dos metais, tal como já era esperado.

Ao analisar as percentagens de metal provenientes do composto observa-se que estas são superiores às da estilha, o que já era esperado, pois a matéria orgânica, que é o constituinte principal do composto, encontra-se mais contaminada com metais.

Um outro aspeto a salientar é o facto do aumento da concentração de metal, ao longo do tempo, na estilha, o que indica que a estilha, para além de conferir um melhor arejamento da pilha de compostagem, também possui uma boa capacidade de adsorção dos metais. Contudo, verifica-se uma diminuição da percentagem de metal na estilha ao longo do tempo no lote 122, isto pode dever-se ao facto de a estilha deste lote já se encontrar saturada com metais, perdendo a sua capacidade de adsorção.

- **Composto Maturado**

As tabelas 5.7 e 5.8 apresentam a concentração de cobre e zinco, respetivamente, em dois lotes de composto maturado.

**Tabela 5.7 - Concentração de cobre em dois lotes diferentes de composto maturado**

<b>Data</b>	<b>nº Lote</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>
<b>20/05/2015</b>	<b>112</b>	354,20
	<b>117</b>	327,20

Nota: Todos os valores de concentração foram calculados para matéria seca

**Tabela 5.8 - Concentração de zinco em dois lotes diferentes de composto maturado**

<b>Data</b>	<b>nº Lote</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>
<b>20/05/2015</b>	<b>112</b>	456,20
	<b>117</b>	527,90

Nota: Todos os valores de concentração foram calculados para matéria seca

Segundo a proposta de especificações técnicas sobre qualidade e utilizações do composto, os valores máximos admissíveis para o cobre e o zinco, para a classe IIA, de 400 mg/kg e 1000 mg/kg, o quadro com esta informação encontra-se no anexo H (DGAE, 2008).

Ao analisar os valores da concentração obtidos para estes dois metais, observa-se que estes se encontram abaixo dos valores máximos admissíveis para a classe em que o composto se enquadra. Para que o composto pudesse ter um leque de utilizações mais alargado, a concentração de metais teria que ser menor, integrando uma outra classe mais favorável para a empresa.

- **Estilha**

Para perceber se a estilha podia ser um contaminante das pilhas de compostagem, visto esta ser misturada com o composto, foi feita uma análise à estilha utilizada pela empresa. A estilha de valetas foi analisada em separado para perceber se esta estaria mais

contaminada com metais, pois está sujeita a uma maior poluição, principalmente à poluição proveniente dos carros.

As concentrações de cobre e zinco presentes na estilha de fora, na estilha de aterro e na estilha recolhida das valetas encontram-se, respetivamente, na tabela 5.9 e 5.10.

**Tabela 5.9 - Concentração de cobre na estilha de fora, aterro e valetas**

	<b>Estilha Fora</b>	<b>Estilha Aterro</b>	<b>Estilha Valetas</b>
<b>Data</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>
<b>18/03/2015</b>	11,29	19,84	
<b>20/05/2015</b>		94,90	<0,03

\*Todos os valores de concentração foram calculados para matéria seca

**Tabela 5.10 - Concentração de zinco na estilha de fora, aterro e valetas**

	<b>Estilha Fora</b>	<b>Estilha Aterro</b>	<b>Estilha Valetas</b>
<b>Data</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>
<b>18/03/2015</b>	<0,10	33,37	
<b>20/05/2015</b>		190,30	<0,10

\*Todos os valores de concentração foram calculados para matéria seca

Ao analisar as concentrações obtidas, verifica-se que a estilha proveniente de aterro é aquela que apresenta uma concentração, tanto em cobre como em zinco, mais elevada comparativamente com a concentração das outras duas estilhas estudadas, podendo contaminar mais o composto do que a estilha que é proveniente de fora. No entanto, é possível observar que a concentração da estilha de aterro variou nas duas recolhas efetuadas, o que indica que existem alturas em que a estilha apresenta valores baixos, sendo menos prejudicial para o composto.

## **5.2 Razão C/N**

Um dos parâmetros mais importantes para um bom crescimento dos microrganismos é a razão C/N. Por esta razão, foram feitas análises ao teor em carbono orgânico total e ao teor em azoto total no material à entrada e saída dos digestores anaeróbios, e em dois lotes de composto maturado. Na Tabela 5.11 é possível observar a percentagem de carbono orgânico total e azoto total, assim como a correspondente razão C/N. No anexo E encontram-se os resultados obtidos e no anexo F o exemplo de cálculos.

**Tabela 5.11 - Razão C/N para diferentes tipos de amostras**

<b>Tipo Amostra</b>	<b>% COT</b>	<b>% N</b>	<b>C/N</b>
<b>Lote 112</b>	15,12%	0,023%	663,2
<b>Lote 117</b>	15,73%	0,027%	583,1
<b>Entrada Digestor</b>	29,10%	0,095%	306,7
<b>Saída Digestor 1</b>	13,80%	0,238%	58,1
<b>Saída Digestor 2</b>	18,61%	0,121%	153,8

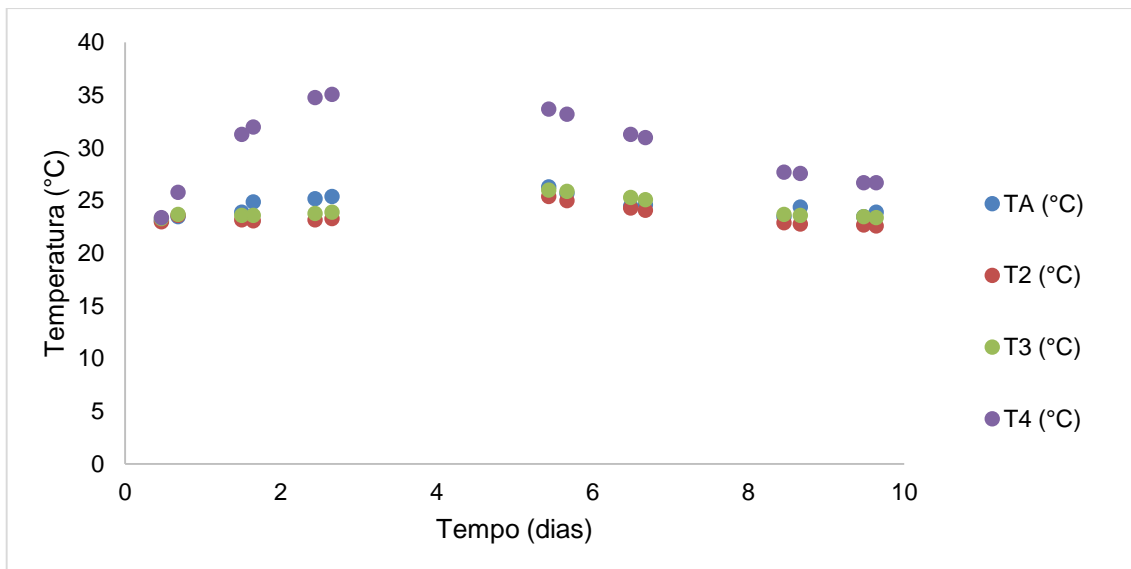
Ao observar as razões C/N das diferentes amostras verifica-se que estas são muito superiores ao que está descrito na literatura. Segundo a literatura, a razão ideal para este tipo de processos biológicos é aceitável até uma razão de 40:1, sendo que para o composto maturado o valor se encontra entre os 10:1 a 15:1, existindo assim um bom desenvolvimento dos microrganismos e uma boa degradação da matéria orgânica, levando a uma boa estabilização do composto final produzido. (Tchobanoglous & Kreith, 2002)

Avaliando isoladamente as percentagens de carbono e azoto é possível perceber que a percentagem de azoto está muito baixa, havendo portanto um déficit deste nutriente comparativamente com o carbono, o que não é bom para o desenvolvimento dos microrganismos. A baixa quantidade de azoto pode estar relacionada com a qualidade do resíduo no início do processo. O baixo nível de azoto na pilha de compostagem vai limitar o crescimento microbiano levando a que o carbono não seja todo degradado, a temperatura da pilha não aumente e tornando o processo de compostagem mais lento.

Para resolver este problema é necessário utilizar, ou adicionar, resíduos ricos em azoto para que se obtenha uma razão C/N adequada ao bom desenvolvimento dos microrganismos (uma razão compreendida entre os 25 e os 30:1). Quanto aos materiais ricos em azoto, são por exemplo folhas verdes, restos de vegetais e frutas, flores, borras de café, entre outros. Neste sentido seria necessário efetuar mais recolha seletiva, ou seja, recolher os resíduos de cemitérios, restaurantes e cafés e encaminhá-los para a central de valorização orgânica, misturando-os com o restante resíduo, obtendo assim um resíduo mais rico em nutrientes, que permita o bom desenvolvimento dos microrganismos e simultaneamente acelerar o processo de compostagem.

### **5.3 Teste de Auto-Aquecimento**

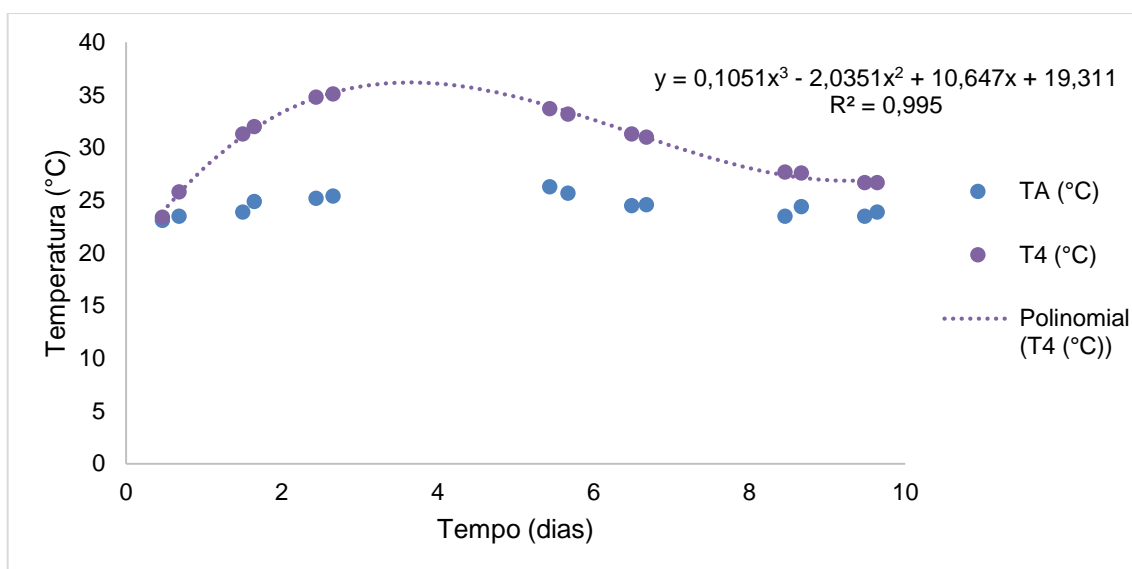
O teste de auto-aquecimento foi realizado para os lotes 122 (T2), 124 (T3) e 126 (T4), sendo necessário analisar também a temperatura ambiente (TA). Quando o teste começou o processo de compostagem para o lote 122 já decorria há 6 meses e 6 dias, para o lote 124 decorria há 5 meses e 25 dias e para o lote 126 há 4 meses e 15 dias. A Figura 5.2 apresenta os resultados obtidos para os diferentes lotes analisados e para a temperatura ambiente.



**Figura 5.2** - Resultados obtidos no teste de auto-aquecimento para o lote 122 (T2), 124 (T3) e 126 (T4) e temperatura ambiente (TA)

Ao analisar o gráfico da figura verifica-se que os lotes 122 e 124 tiveram o mesmo comportamento que a temperatura ambiente, o que indica que o composto destes dois lotes já estava maturado. Para verificar se o teste estava de acordo com o que estava a acontecer nestas pilhas de compostagem foi efetuada uma análise da temperatura na própria pilha verificando que de fato os resultados obtidos para o composto do lote 122 eram concordantes, uma vez que a temperatura da pilha era igual à temperatura ambiente. No entanto, a temperatura do composto do lote 124 na pilha era superior à temperatura ambiente, chegando a atingir 49 °C, não sendo concordante o teste realizado à amostra deste lote com o que realmente se passa na pilha de compostagem. O teste em vasos de *Dewar* apresenta algumas limitações, a nível de erros cometidos pelo operador de laboratório, como por exemplo a compactação da amostra no frasco ou a posição da sonda no frasco, ou então devido a problemas que estejam a ocorrer nas pilhas de compostagem, como por exemplo pilhas deterioradas pelo calor ou por falta de humidade, reagindo falsamente como estáveis devido à falta de populações microbianas estáveis. Assim, considera-se que os resultados do teste terão sido influenciados por algum destes erros. Quando foi realizada a recolha da amostra, a pilha encontrava-se muito compacta, ou seja, esta poderia conter caminhos preferenciais que dificultam o arejamento homogêneo da pilha, prejudicando o fornecimento de oxigénio aos microrganismos. Para evitar que este problema ocorra é necessário ter em atenção a altura das pilhas, pois o arejamento é feito através do chão, sendo necessário adicionar uma quantidade maior de material estruturante para aumentar a porosidade da pilha de compostagem.

Quanto ao composto do lote 126, este mostrou atividade microbiana, visto verificar-se um aumento da temperatura ao longo do ensaio, evidenciado no gráfico da Figura 5.3.



**Figura 5.3** – Evolução da temperatura ao longo do tempo, no lote 126 (T4) e TA

Quanto ao lote 126, foi feito um ajuste polinomial para estimar qual a temperatura máxima atingida. Esta foi de, aproximadamente, 36 °C, sendo que a temperatura medida na pilha de compostagem foi de 40 °C. O grau de maturação no composto desta pilha, de acordo com a classe de estabilidade, é de nível IV, sendo classificado como composto maturado. Contudo, o lote 126 apresenta um tempo de compostagem de 4 meses e 15 dias, considerado mais que suficiente para atingir a maturação, ultrapassando os 3 meses que seriam necessários para a estabilização da pilha. Este fato juntamente com o da elevadíssima razão C/N indica que realmente existem problemas que não permitem um bom desenvolvimento da população microbiana presente nas pilhas de compostagem, sendo necessário fazer correções não só ao nível dos nutrientes (azoto) do resíduo como também no tamanho e revolvimento das pilhas, criando um melhor arejamento nas pilhas.

#### 5.4 Valorização Energética do Composto Fora de Especificação

Ao longo destes anos, o consumismo cresceu de uma forma muito rápida. Com a industrialização dos países e o aumento exponencial da população, a produção de resíduos subiu consideravelmente. Por exemplo, na UE espera-se que haja um crescimento de 45% da produção de resíduos sólidos urbanos até 2020.

Para reduzir a eliminação dos resíduos por deposição em aterro o PERSU, lançou diferentes metas para os 23 sistemas de gestão de RU que existem a nível nacional. Uma das propostas foi a criação de uma CVO, para cada um dos sistemas de gestão, para produção de composto e biogás. Em 2012, o composto produzido pelos sistemas de gestão foi, em média, de 56 493 t, verificando-se uma diminuição de 15% em relação ao ano de 2011. Em 2013, ocorreu um pequeno aumento em relação a 2012, mas manteve-se abaixo da produção de 2011, 66 535 t. Do composto produzido em 2012, 83% foi comercializado. (PERSU, 2014)

Como todas as empresas, tanto nacionais como europeias, estão a produzir composto, o mercado começa a ficar saturado, não havendo quem queira comprar, sendo necessário procurar outra forma para a valorização dos resíduos ou composto produzidos. A valorização energética surge como uma alternativa melhor do que a deposição dos resíduos ou do composto em excesso em aterro. Como, hoje em dia, nos deparamos com a escassez dos recursos fósseis, os quais contribuem fortemente para a poluição do ambiente, é necessário recorrer a outro tipo de recursos para a produção de energia, sendo os resíduos e a biomassa os candidatos mais adequados para a resolução deste problema.

Como tal, neste trabalho foi realizado um pequeno estudo sobre técnicas existentes para este tipo de valorização. Existem várias técnicas que podem ser utilizadas, como a carbonização hidrotérmica (HTC), a pirólise, a gaseificação, a incineração, a carbonização vapotérmica (VTC), entre outras. Neste documento a técnica abordada foi a HTC, visto ser uma das técnicas mais recentes e com baixos custos operacionais.

### ✓ HTC

A HTC é um processo que apresenta muitas potencialidades no que diz respeito às soluções para a valorização dos resíduos. Trata-se de uma conversão termoquímica, em que substratos orgânicos húmidos reagem em água líquida quente e pressurizada.

As temperaturas atingidas podem ir de 180 °C a 250 °C e a pressão é a necessária para manter a água no seu estado líquido.

Estas condições resultam num comportamento reativo, no qual existe a transformação da matéria orgânica e o seu enriquecimento em carbono. O produto principal que sai deste processo é o *hydrochar*, um sólido constituído por cerca de 80 % de carbono. A sua composição é muito similar à do carvão e da lenhite.

Este é um produto muito interessante devido às suas diferentes aplicações, que vão desde combustíveis sólidos a corretivos de solos.

Os parâmetros utilizados no processo fazem com que a HTC seja muito interessante em aplicação industrial. Uma indústria para o processo HTC necessita de um investimento muito reduzido e tem custos operacionais igualmente baixos.

Comparado com outros processos de tratamento de resíduos, como por exemplo a compostagem, este apresenta tempos de processamento menores, o que levaria a uma redução do equipamento necessário (Basso et al., 2013).

A HTC um processo que permite homogeneizar fontes de biomassa de diferentes origens e obter um produto final com as qualidades de um combustível, sendo este um combustível sólido mais limpo. Os comportamentos do *hydrochar* sugerem que este é um produto apropriado para gerar calor (Liu & Balasubramanian, 2012).

**Tabela 5.12 – Principais conclusões e condições de funcionamento de dois ensaios com a técnica de HTC para RSU**

Autor	Caraterísticas do material usado	Principais Conclusões
Basso et al. 2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><u>Fração orgânica RSU</u></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ pH de <math>7,6 \pm 0,8</math></li> <li>○ Carbono Orgânico de <math>23 \pm 3\%</math></li> <li>○ Humidade de <math>66 \pm 5\%</math></li> <li>○ Resíduo seco (<math>550\text{ }^{\circ}\text{C}</math>) de <math>19 \pm 1\%</math></li> <li>○ Ponto de inflamação <math>&gt; 80\text{ }^{\circ}\text{C}</math></li> <li>○ LHV* de <math>10,21\text{ MJ/kg}</math></li> <li>○ Fluxo de resíduo de <math>\sim 9000\text{ t/ano}</math></li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A HTC é uma solução com sucesso, porque dá valor económico aos resíduos, ao mesmo tempo que reduz a quantidade de lixo que é encaminhado para aterro;</li> <li>• O processo ainda necessita de um estudo aprofundado, contudo as bases já estão implementadas;</li> <li>• O <i>hydrochar</i> é considerado como um corretivo de solos de qualidade, pelo que não se fica pelas suas características enquanto combustível sólido;</li> <li>• Tem possibilidade de resolver o problema das emissões de maus cheiros que ocorrem no setor da compostagem.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><u>Resíduos Indiferenciados</u></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ pH de <math>5,4 \pm 0,8</math></li> <li>○ Carbono Orgânico de <math>14 \pm 3\%</math></li> <li>○ Humidade de <math>47 \pm 5\%</math></li> <li>○ Resíduo seco (<math>600\text{ }^{\circ}\text{C}</math>) de <math>20 \pm 1\%</math></li> <li>○ Ponto de inflamação <math>&gt; 80\text{ }^{\circ}\text{C}</math></li> <li>○ LHV* de <math>5,53\text{ MJ/kg}</math></li> <li>○ Fluxo de resíduo de <math>\sim 14000\text{ t/ano}</math></li> </ul> </li> </ul>	
Basso et al. 2015	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b><u>Composto fora de especificações:</u></b> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Tamanho de partícula <math>&gt; 10\text{mm}</math></li> <li>○ Constituído por materiais: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ lignocelulósicos</li> <li>▪ orgânicos estabilizados</li> </ul> </li> <li>○ %Humidade de <math>30,3 \pm 0,1\%</math></li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Os resultados confirmam que o <i>hydrochar</i> produzido é conveniente para propósitos energéticos, em que picos de <math>19\text{ MJ/kg}</math> podem ser atingidos;</li> <li>• A composição é similar à da lenhite e turfa e pode ser utilizado como um co-combustível juntamente com carvões fósseis;</li> <li>• HTC abre perspetivas interessantes para a valorização energética do composto fora de especificação, que é hoje um problema desafiante;</li> <li>• Tempos de residência superiores com temperaturas acima dos <math>250\text{ }^{\circ}\text{C}</math> levam a que o <i>hydrochar</i> apresente melhor qualidade energética.</li> </ul>

\*LHV – Lower Heating Value

Basso et al. (2015) utilizaram para o estudo deste processo um reator a funcionar em *Batch* com um volume de 50 mL. A temperatura máxima atingida foi de 300 °C e a pressão máxima de 140 bar. Por motivos de segurança a pressão de rutura é de 120 bar. Para a realização do processo foi utilizado como gás inerte o N<sub>2</sub>. O tempo necessário para atingir a temperatura encontra-se entre os 20 e os 25 minutos, sendo que depois demora entre 15 a 20 minutos para arrefecer até à temperatura ambiente.

As condições de funcionamento do reator para este estudo foram a temperatura de 180, 220 e 250 °C. A quantidade de composto introduzido foi de 3 g e a massa de água desionizada foi 30 g, com o objetivo de obter uma razão biomassa / água de aproximadamente 0,07.

O reator foi fechado hermeticamente e para retirar todo o ar existente no seu interior foi introduzido, como referido anteriormente, o gás inerte N<sub>2</sub> através de uma válvula existente, durante aproximadamente 5 minutos. Após este procedimento, foram fechadas as válvulas e todo o sistema foi aquecido.

Atingido o tempo requerido, o aquecimento foi desligado e o reator foi arrefecido com a ajuda de um disco de metal a uma temperatura de -24 °C até atingir a temperatura de 30 °C.



## 6 CONCLUSÃO

Na sociedade atual, a valorização de resíduos é cada vez mais importante, pois vivemos numa sociedade muito consumista, sendo necessário valorizar os resíduos gerados com o intuito de não se esgotarem os recursos para as gerações futuras. Neste sentido o PERSU 2020 apresenta uma proposta de plano estratégico para os resíduos urbanos dos 23 sistemas de gestão de RU do continente. Uma das metas definidas para estas empresas foi o desvio de ROB de aterro. Para cumprimento desta meta, a Suldouro criou uma CVO na qual se obtém dois produtos finais, um corretivo agrícola e o biogás, que é valorizado energeticamente por combustão numa unidade de cogeração em que é produzida eletricidade injetada na rede. Com o intuito de melhorar este corretivo agrícola, foram propostos pela Suldouro três objetivos principais sobre os quais se focou este estudo, e que permitiram extrair diversas conclusões.

Quanto à determinação da concentração de cobre e zinco no composto final, metais esses que apresentavam uma maior concentração, foi feito um estudo para identificar qual a fonte de contaminação destes metais. Depois de vários estudos, conclui-se que deveria existir um maior controlo do resíduo logo no início do processo, pois existem muitos inertes presentes na suspensão que sai dos *pulpers*. Devido à agitação que ocorre nos *pulpers*, estes inertes vão criar um maior atrito e por conseguinte um maior desgaste do material tanto dos *pulpers* como de todos os acessórios, tais como válvulas e bombas. Para eliminar estes inertes seria necessário fazer uma separação mais eficiente de materiais como vidro, têxteis, plásticos, baterias/pilhas, metais, entre outros, o que poderia ser conseguido através da introdução de um crivo de malha mais apertada, com o consequente aumento da fração de rejeitados e perda de matéria orgânica biodegradável nessa fração.

Um outro aspeto constatado foi que após as intervenções de manutenção aos *pulpers* a suspensão estava mais contaminada do que nas outras alturas, o que se deve ao fato de todos os bocados de solda aplicados e do próprio material do *pulper* ficarem dentro do equipamento sem que ocorra uma limpeza prévia com água limpa antes da introdução de mais resíduos nos *pulpers*. Como tal, seria necessário proceder a uma limpeza com água da rede pública antes de se iniciar um novo carregamento do *pulper*.

A razão C/N foi outro parâmetro estudado no composto tendo-se observado valores muito elevados desta razão, o que não é adequado para o bom desenvolvimento dos microrganismos. Para melhorar este aspeto é necessário introduzir resíduos mais ricos em azoto no início do processo, obtendo-se um composto no final com um valor agrícola e comercial melhor.

Com o estudo do teste do auto-aquecimento verificou-se que o lote 122 (tempo de compostagem de 5 meses e 9 dias) já se encontrava estabilizado e que o lote 126 (tempo de compostagem de 3 meses e 18 dias) classificado como composto maturado e classe IV, de acordo com a classe de estabilidade, ainda não. Contudo, o tempo de compostagem é muito superior aos 3 meses necessários para que ocorra a estabilização e maturação da pilha, sendo necessário tomar medidas tanto a nível da qualidade do resíduo usado como da matéria-prima, como ainda do tamanho e revolvimento das pilhas. Quanto ao lote 124 (tempo de compostagem de 4 meses e 27 dias), este reagiu de forma estável no teste realizado, não sendo este resultado concordante com o que verdadeiramente se observou na pilha de compostagem. Isto pode ocorrer devido a limitações do teste. No caso de populações microbianas muito fracas, falta de humidade da pilha, pilhas que estejam deterioradas pelo calor, ou pilhas muito compactas, o processo de compostagem fica comprometido. Neste caso considera-se o fato de a pilha se encontrar muito compacta, estaria a dificultar o arejamento de forma homogénea.

Como complemento ao trabalho desenvolvido foi realizada uma pesquisa no sentido de identificar técnicas recentes para valorização de resíduos orgânicos, alternativas à compostagem. Identificou-se como muito promissor o processo de carbonização hidrotérmica (HTC), que transforma matéria orgânica húmida num produto sólido com características de combustível e de corretivo de solos, apresenta baixos custos operacionais e não provoca problemas de odores, tal como acontece com a compostagem.

Como sugestão para um trabalho futuro seria interessante aplicar este processo diretamente à lama que sai dos digestores, reduzindo os custos operacionais do processo de compostagem.

## **7 BIBLIOGRAFIA**

Basso, D., Ragazzi, M., Rada, E. C., & Fiori, L., 2013. Innovative opportunities for the exploitation of the residues of the MSW treatment plants, 6<sup>th</sup> International Conference on Energy and Environment, CIEM

Basso, D., Weiss-Hortala, E., Patuzzi, F., Castello, D., Baratieri, M., & Fiori, L., 2015. Hydrothermal carbonization of off-specification compost: a byproduct of the organic municipal solid waste treatment. *Bioresource Technology*, 182, pp 217–224.

Cabeza, I. O., López, R., Ruiz-Montoya, M., & Díaz, M. J., 2013. Maximising municipal solid waste-legume trimming residue mixture degradation in composting by control parameters optimization. *Journal of Environmental Management*, 128, pp.266–273

Caetano, N. 2014, *Processos Biológicos de Tratamento de Resíduos Sólidos, Apontamentos da unidade curricular Tratamento de Resíduos Sólidos e Remediação/Descontaminação de Solos (TRSDS)*. Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP)

Cesaro, A., Belgiorno, V. & Guida, M., 2015. Compost from organic solid waste: Quality assessment and European regulations for its sustainable use. *Resources, Conservation and Recycling*, 94, pp.72–79.

Compostagem. Disponível em:

<http://image.slidesharecdn.com/compostingprocessandorganicfertilizersproduction-130328024610-phpapp01/95/composting-process-and-organic-fertilizers-production-3-638.jpg?cb=1364439328>. Consultado em: 19 de julho de 2015

Decreto-Lei n.o 73/2011, de 17 de Junho de 2011, relativo ao regime geral de gestão de resíduos. Disponível em:

[http://www.apambiente.pt/\\_zdata/Politicar/Residuos/DL\\_73\\_2011\\_DQR.pdf](http://www.apambiente.pt/_zdata/Politicar/Residuos/DL_73_2011_DQR.pdf)

DGAE, 2008. Proposta de diploma sobre Especificações técnicas sobre Qualidade e Utilização do Composto, Direcção Geral das Actividades Económicas, Lisboa. pp 5

EN 13650, 2001. CEN/TC 223 – Soil improvers and growing media; Extraction of aqua regia soluble elements

Epstein, E., 2011. *Industrial composting: environmental engineering and facilities management*. CRC Press, Taylor and Francis Group, LLC. USA. pp.318.

Hannequart, J., Saintmard, C. & Radermaker, F., 2005. *Gestão dos resíduos domésticos biodegradáveis*. ACR+. pp.12.

Liu, Z., & Balasubramanian, R., 2012. Hydrothermal Carbonization of Waste Biomass for Energy Generation. The 7<sup>th</sup> International Conference on Waste Management and Technology. Procedia Environmental Sciences, 16, pp 159–166.

Morais, M.C.F. (2003) Evolução da estabilidade e da maturação durante o armazenamento de produtos obtidos a partir da compostagem da fracção orgânica de resíduos sólidos urbanos. Relatório de trabalho de fim de curso em Engenharia Agro-Industrial, ISA, Lisboa. pp.77

Pace, M.G., Miller, B.E. & Farrell-poe, K.L., 1995. The Composting Process. All Archived Publications. Paper 48. pp.1–3.

PERSU 2020 - Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos, 2014. pp.23 – 28. Disponível em: [http://apambiente.pt/\\_zdata/DESTAQUES/2014/RelatorioPropostaPERSU2020\\_Fev14\\_v2.pdf](http://apambiente.pt/_zdata/DESTAQUES/2014/RelatorioPropostaPERSU2020_Fev14_v2.pdf)

Rice, E.W., Baird, R.B., Eaton, A.D., Clesceri, L.S. & editors, 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22<sup>nd</sup> Edition

RSU. Disponível em: [http://www.infopedia.pt/\\$residuos-solidos-urbanos-\(rsu\)](http://www.infopedia.pt/$residuos-solidos-urbanos-(rsu)). Consultado em: 14 de junho de 2015.

Suldouro. Disponível em: <http://www.suldouro.pt>. Consultado em: 22 de fevereiro de 2015.

Tchobanoglous, G. & Kreith, F., 2002. Handbook of solid waste management. Second Edition. McGraw-Hill Handbooks. USA. pp.423-436

Temperatura e pH. Disponível em: [http://compostagem.no.sapo.pt/Compostagem\\_1\\_ficheiros/image006.jpg](http://compostagem.no.sapo.pt/Compostagem_1_ficheiros/image006.jpg). Consultado em: 31 de agosto de 2015

The composting process, 1996. British Columbia, Ministry of Agriculture and Food (382), pp.1–6.

Wallström, M. (Environment Commissioner), 2000. Success stories on composting and separate collection Directorate-General for the Environment. European Commission, Luxembourg. pp 9 - 11

## ANEXOS

### A. Planeamento do Trabalho

Com o intuito de cumprir os objetivos propostos foi elaborado um planeamento com os dias em que se pretendia realizar a recolha das amostras na empresa, planeamento esse apresentado na Tabela A.1.

Tabela A.1 – Plano de recolha de amostras na Suldouro

Data Recolha	Tipos de Amostra							
	Composto	Entrada Pulpers	Saída Pulpers	Refugos Pulpers	Entrada Digestores	Saída Digestores	Água PW0	Estilha
28/10/2014	■							
18/11/2014	■							
13/02/2015			■				■	
06/03/2015					■	■		
12/03/2015	■							■
17/03/2015		■						
18/03/2015					■	■		■
26/03/2015					■	■		
30/03/2015			■					
31/03/2015			■					
01/04/2015			■					
02/04/2015			■	■			■	
12/05/2015	■		■		■	■		■
13/05/2015	■							
15/06/2015			■					
18/06/2015			■					
22/06/2015			■					
25/06/2015			■					
26/06/2015	■							

Na tabela A.2 encontra-se o planeamento referente aos dias em que foram realizadas análises em laboratórios para a determinação dos parâmetros que se pretendia estudar.

**Tabela A.2 - Realização das análises em laboratório para o estudo dos parâmetros a estudar**

Data Análise	Preparação amostras				Tipo de Análise	
	Secagem	Trituração	Lixiviação	Digestão	Metais	Razão C/N
28/10/2014	█					
18/11/2014	█					
19/11/2014		█				
12/02/2015				█		
19/02/2015					█	
09/03/2015	█			█		
10/03/2015					█	
12/03/2015	█					
13/03/2015		█				
16/03/2015				█		
18/03/2015	█		█	█		
19/03/2015		█		█		
20/03/2015					█	
27/03/2015	█			█	█	
07/04/2015	█					
08/04/2015				█		
09/04/2015				█		
10/04/2015					█	
14/05/2015	█			█		
15/05/2015	█					
18/05/2015		█				
19/05/2015				█		
20/05/2015				█		
21/05/2015				█		
22/05/2015				█		
25/05/2015				█		
26/05/2015				█		
27/05/2015				█		█
28/05/2015				█		█
29/05/2015				█		█
01/06/2015					█	
02/06/2015					█	
03/06/2015						█
29/06/2015				█		
30/06/2015				█		
01/07/2015				█		
02/07/2015	█					
05/07/2015				█		
06/07/2015				█		
07/07/2015				█		
08/07/2015	█					
09/07/2015	█	█				
10/07/2015					█	

Outra análise efetuada foi o teste de auto-aquecimento efetuado em vasos de *Dewar* apresentado na Tabela A.3.

**Tabela A.3 - Início do teste de auto-aquecimento nos vasos de *Dewar***

Data Recolha	Lotes		
	122	124	126
05/03/2015			
25/03/2015			
18/05/2015			
17/06/2015			

## B. Teste efetuado no micro-ondas

Na Tabela B.1 estão apresentados os resultados obtidos para a concentração de metal numa amostra usando o HNO<sub>3</sub> e o HCl em diferentes quantidades, com o intuito de descobrir qual o ácido mais eficaz a digerir o tipo de amostras estudadas.

**Tabela B.1 – Resultados obtidos para a concentração de metal numa amostra usando HNO<sub>3</sub> e HCl na presença ou na ausência de H<sub>2</sub>O**

Ensaio	HNO <sub>3</sub> (mL)	HCL (mL)	H <sub>2</sub> O (mL)	Massa seca (g)	Massa seca (kg)	Absorvância	Concentração (mg/L)	Concentração (mg/kg)
1	8	0	0	0,279	0,000279	0,09019	0,686	245,7
2	2	6	0	0,2574	0,0002574	0,07959	0,604	234,6
3	7	0	1	0,2656	0,0002656	0,07388	0,560	210,8
4	2	6	0,5	0,2583	0,0002583	0,08072	0,613	237,1

## C. Condições de funcionamento do micro-ondas

As condições usadas para o funcionamento do micro-ondas, para 2 vasos, utilizado na digestão das amostras encontram-se na Tabela C.1.

**Tabela C.1 - Condições de funcionamento do micro-ondas para 2 vasos**

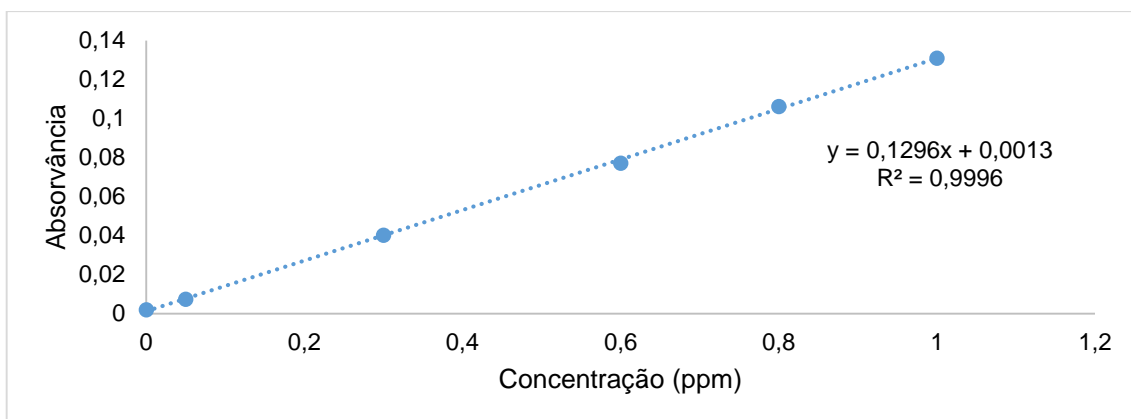
Etapa	Potência Máxima (W)	Energia (%)	Tempo (min)	Pressão (psig)	Temperatura (°C)	Tempo Espera (min)
1	300	40	05:00	0100	50	06:00
2	300	50	05:00	0150	90	10:00
3	300	60	05:00	0200	130	10:00
4	300	70	05:00	0200	170	15:00

## D. Curvas de Calibração

Neste anexo encontram-se as curvas de calibração efetuadas para a determinação da concentração de metais (Cu e Zn) nas amostras analisadas.

### ✓ Curva de Calibração para o metal Cu

Na Figura D.1 está apresentada a relação entre a absorvância e a concentração de Cu, esta curva de calibração é usada para determinar baixas concentrações de Cu.



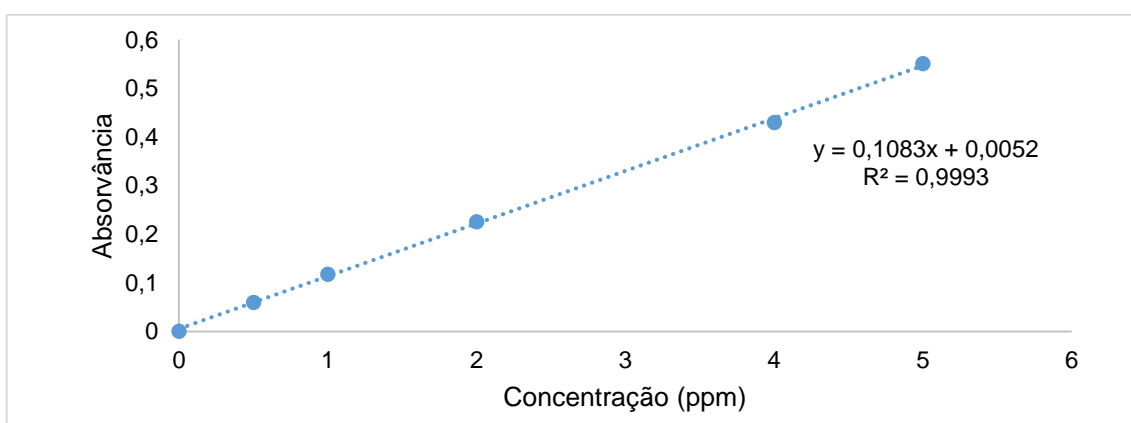
**Figura D.1** - Curva de calibração para baixas concentrações de Cu

A Tabela D.1 apresenta a equação da reta e o respectivo coeficiente de correlação e ainda o limite de detecção e quantificação obtidos através do desvio padrão do sinal ( $S_{x0}$ ).

**Tabela D.1** – Equação da reta e respectivo coeficiente de correlação, limite de detecção e limite de quantificação da curva

<b>Equação Reta</b>	$y=0,1296x+0,0013$
<b><math>r^2</math></b>	0,9996
<b><math>S_{x0}</math> (mg/L)</b>	0,009988
<b>LD (mg/L)</b>	0,02997
<b>LQ (mg/L)</b>	0,09989

A curva de calibração para concentrações de cobre elevadas encontra-se na Figura D.2 e na Tabela D.2 está apresentada a equação da reta, o coeficiente de correlação e o limite de detecção e quantificação calculados a partir do desvio padrão do sinal.



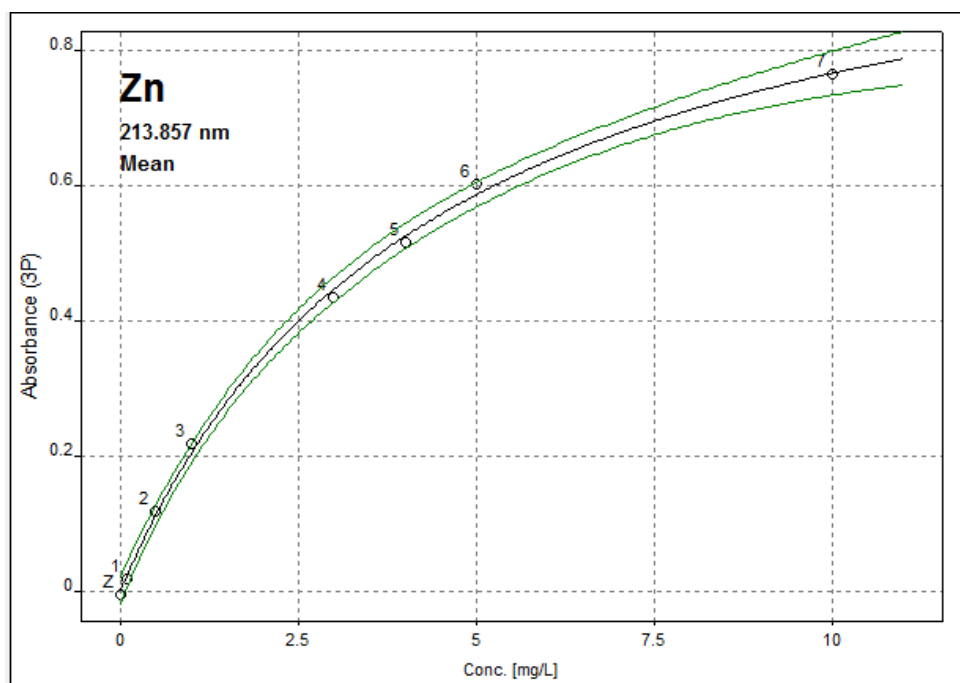
**Figura D.2** - Curva de Calibração para concentrações de Cu elevadas

**Tabela D.2** - Equação da reta e respectivo coeficiente de correlação, limite de detecção e limite de quantificação da curva

<b>Equação Reta</b>	$y=0,1083x+0,0052$
$r^2$	0,9993
<b>S<sub>x0</sub> (mg/L)</b>	0,057523
<b>LD (mg/L)</b>	0,172569
<b>LQ (mg/L)</b>	0,57523

✓ **Curva de Calibração para o metal Zn**

A curva de calibração da Figura D.3 permite relacionar a absorvância com a concentração do metal zinco. O ajuste feito pelo aparelho é um ajuste não linear, a Tabela D.3 apresenta a equação da curva, o respectivo coeficiente de correlação e o limite de detecção e quantificação.



**Figura D.3** - Curva de Calibração para concentrações de Zn

**Tabela D.3** - Equação da curva e respectivo coeficiente de correlação, limite de detecção e limite de quantificação da curva

<b>Equação Reta</b>	$y=(0,0009282+0,2496077x)/(1+0,2259982x)$
$r^2$	0,9976
<b>S<sub>x0</sub> (mg/L)</b>	0,1396197
<b>LD (mg/L)</b>	0,4188591
<b>LQ (mg/L)</b>	1,396197

## E. Resultados Obtidos

Neste anexo estão apresentados todos os valores obtidos para as diferentes fases do processo analisadas em relação à concentração dos metais Cu e Zn. Todos os valores de concentração estão apresentados para as amostras secas.

### ✓ Determinação da concentração de Cobre:

#### ○ *Pulpers*

Tabela E.1 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas nos *pulpers* no dia 26/02/2015

Classe amostra	Recolha	Massa Húmida (g)	Massa Seca (g)	Massa Seca (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração Média (mg/kg)
<b><i>Pulper 1</i></b>	<b>1<sup>a</sup></b>	<b>1,0542</b>	<b>0,1265</b>	<b>0,0001</b>	<b>0,0200</b>	<b>0,1442</b>	<b>114,02</b>	<b>259,09</b>
		1,0841	0,0976	0,0001	0,0524	0,3943	404,16	
		1,0560	0,1901	0,0002	0,0213	0,1549	81,48	
		1,0718	0,1608	0,0002	0,0237	0,1730	107,60	
		1,0943	0,1313	0,0001	0,0233	0,1698	129,27	
	<b>2<sup>a</sup></b>	1,1330	0,1020	0,0001	0,0297	0,2191	214,84	172,06
		1,1125	0,2003	0,0002	0,0259	0,1903	95,05	
		1,0042	0,1506	0,0002	0,0231	0,1681	111,57	
		1,0545	0,1265	0,0001	0,0349	0,2597	205,23	
	<b>3<sup>a</sup></b>	1,2316	0,1108	0,0001	0,0570	0,4295	387,46	296,34
		1,5164	0,2730	0,0003	0,0500	0,3757	137,64	
		1,0162	0,1524	0,0002	0,0436	0,3262	214,00	

**Tabela E.1** - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas nos *pulpers* no dia 26/02/2015 (Cont.)

Classe amostra	Recolha	Massa Húmida (g)	Massa Seca (g)	Massa Seca (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração Média (mg/kg)		
<b>Pulper 2</b>	<b>1<sup>a</sup></b>	<b>1,4450</b>	<b>0,1734</b>	<b>0,0002</b>	<b>0,0333</b>	<b>0,2472</b>	<b>142,57</b>	<b>152,28</b>		
		1,1628	0,1047	0,0001	0,0233	0,1695	161,99			
		1,6451	0,2961	0,0003	0,0153	0,1079	36,45			
		1,1554	0,1733	0,0002	0,0118	0,0810*	46,75			
	<b>2<sup>a</sup></b>	1,0372	0,1245	0,0001	0,0128	0,0889*	71,43	<b>80,63</b>		
		1,0301	0,0927	0,0001	0,0121	0,0833*	89,83			
		1,1066	0,1992	0,0002	0,0151	0,1070	53,73			
		1,0739	0,1611	0,0002	0,0143	0,1005	62,42			
		1,1319	0,1358	0,0001	0,0356	0,2648	194,94		<b>58,07</b>	
		<b>3<sup>a</sup></b>	1,3166	0,1185	0,0001	0,0409	0,3053			257,67
			1,1763	0,2117	0,0002	0,0332	0,2463			116,32
				1,0209	0,1531	0,0002	0,0322			0,2387

\*Encontram-se entre o limite de deteção e quantificação, estão numa zona semi-quantitativa.

**Tabela E.2** - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas nos *pulpers* no dia 18/03/2015

Classe amostra	Massa amostra húmida (g)	Massa amostra seca (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração média (mg/kg)
<b>Entrada Pulper</b>	5 mL	5,0	0,0050	0,0059	<0,03	<0,03	<b>&lt;0,03</b>
	5 mL	5,0	0,0050	0,0066	<0,03	<0,03	
	5 mL	5,0	0,0050	0,0076	<0,03	<0,03	
	5 mL	5,0	0,0050	0,0068	<0,03	<0,03	
<b>Saída Pulper 1</b>	1,4475	0,1737	0,0002	0,0199	0,1436	82,67	<b>153,69</b>
	1,0800	0,1296	0,0001	0,0158	0,1115	86,03	
	1,0031	0,1204	0,0001	0,0563	0,4242	352,43	
	1,5661	0,1879	0,0002	0,0241	0,1759	93,61	

**Tabela E.3** - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas nos *pulpers* no dia 30/03/2015

Classe amostra	Massa amostra húmida (g)	Massa amostra seca (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração média (mg/kg)
<b>Saída Pulper 1</b>	2,8776	0,1727	0,0002	0,0157	0,1114	32,27	41,20
	2,5156	0,1509	0,0002	0,0154	0,1086	35,99	
	2,4760	0,1486	0,0001	0,0164	0,1167	39,29	
	2,5701	0,1542	0,0002	0,0242	0,1765	57,24	
<b>Saída Pulper 2</b>	2,1633	0,1082	0,0001	0,0359	0,2667	123,27	131,49
	2,1035	0,1052	0,0001	0,0300	0,2211	105,09	
	2,4420	0,1221	0,0001	0,0439	0,3286	134,57	
	2,6861	0,1343	0,0001	0,0581	0,4379	163,02	

**Tabela E.4** - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas nos *pulpers* no dia 31/03/2015

Classe amostra	Massa amostra húmida (g)	Massa amostra seca (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração média (mg/kg)
<b>Saída Pulper 1</b>	2,2260	0,0890	0,0001	0,0231	0,1683	94,50	118,84
	2,4586	0,0983	0,0001	0,0215	0,1555	79,05	
	2,2043	0,0882	0,0001	0,0277	0,2040	115,69	
	2,7043	0,1082	0,0001	0,0467	0,3500	161,78	
<b>Saída Pulper 2</b>	2,2091	0,2430	0,0002	0,0328	0,2430	50,00	60,18
	2,0567	0,2262	0,0002	0,0322	0,2380	52,61	
	2,2450	0,2470	0,0002	0,0346	0,2569	52,01	
	2,6795	0,2947	0,0003	0,0671	0,5077	86,13	

**Tabela E.5 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas nos *pulpers* e refugos no dia 1/04/2015**

<b>Classe amostra</b>	<b>Massa amostra húmida (g)</b>	<b>Massa amostra seca (g)</b>	<b>Massa amostra (kg)</b>	<b>Absorvância média</b>	<b>Concentração (ppm)</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>	<b>Concentração média (mg/kg)</b>
<b>Saída Pulper 1</b>	2,7271	0,1364	0,0001	0,0155	0,1098	40,26	46,24
	2,7021	0,1351	0,0001	0,0177	0,1262	46,69	
	2,7088	0,1354	0,0001	0,0174	0,1241	45,80	
	2,2918	0,1146	0,0001	0,0168	0,1196	52,19	
<b>Pesados</b>	5 mL	5,0	0,0050	0,0058	0,0346	3,46*	3,46
	5 mL	5,0	0,0050	0,0059	0,0352	3,52*	
	5 mL	5,0	0,0050	0,0061	0,0373	3,73*	
	5 mL	5,0	0,0050	0,0054	0,0313	3,13*	
<b>Leves</b>	5 mL	5,0	0,0050	0,0022	0,0072	<0,03	<0,03
	5 mL	5,0	0,0050	0,0026	0,0102	<0,03	
	5 mL	5,0	0,0050	0,0021	0,0063	<0,03	
	5 mL	5,0	0,0050	0,0025	0,0089	<0,03	

\*Encontram-se entre o limite de deteção e quantificação, estão numa zona semi-quantitativa.

**Tabela E.6 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas nos *pulpers* e água do PW0 no dia 2/04/2015**

<b>Classe amostra</b>	<b>Massa amostra húmida (g)</b>	<b>Massa amostra seca (g)</b>	<b>Massa amostra (kg)</b>	<b>Absorvância média</b>	<b>Concentração (ppm)</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>	<b>Concentração média (mg/kg)</b>
<b>Saída Pulper 1</b>	2,3837	0,2145	0,0002	0,0677	0,5123	119,41	116,31
	2,7696	0,2493	0,0002	0,0703	0,5324	106,80	
	2,4699	0,2223	0,0002	0,0712	0,5394	121,32	
	2,9419	0,2648	0,0003	0,0821	0,6234	117,72	
<b>Água PW0</b>	5 mL	5,0	0,0050	0,0045	0,0245	<0,03	<0,03
	5 mL	5,0	0,0050	0,0047	0,0258	<0,03	
	5 mL	5,0	0,0050	0,0044	0,0236	<0,03	
	5 mL	5,0	0,0050	0,0053	0,0309	<0,03	
<b>Areia Fundo PW0</b>	0,6151	0,3445	0,0003	0,0787	0,5974	867,13	579,77
	0,5462	0,3059	0,0003	0,0341	0,2533	414,09	
	0,6203	0,3474	0,0003	0,0468	0,3507	504,79	
	0,8496	0,4758	0,0005	0,0670	0,5073	533,08	

Tabela E.7 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas nos *pulpers* no dia 20/05/2015

Recolha	Classe amostra	Massa amostra húmida (g)	Massa amostra seca (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração média (mg/kg)
1º Recolha	Saída Pulper 2	1,2061	0,0603	0,0001	0,1672	1,4955	1239,93	1113,46
		0,9730	0,0487	0,0000	0,1170	1,0324	1061,06	
		0,8911	0,0446	0,0000	0,1077	0,9460	1061,59	
		0,8908	0,0445	0,0000	0,1105	0,9721	1091,28	
2º Recolha	Saída Pulper 2	1,1430	0,0686	0,0001	0,0478	0,3934	286,85	332,12
		0,8715	0,0523	0,0001	0,0400	0,3210	306,90	
		0,8854	0,0531	0,0001	0,0434	0,3524	331,63	
		0,8168	0,0490	0,0000	0,0480	0,3951	403,10	
2º Recolha	Saída Pulper 2 (+ 5 m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O)	0,8975	0,0449	0,0000	0,0328	0,2548	283,85	251,00
		1,0282	0,0514	0,0001	0,0340	0,2661	258,81	
		1,1213	0,0561	0,0001	0,0391	0,3132	279,32	
		0,8182	0,0409	0,0000	0,0242	0,1758	214,87	
3º Recolha	Saída Pulper 1	1,1495	0,0575	0,0001	0,0665	0,5663	492,65	619,86
		0,8001	0,0400	0,0000	0,0545	0,4549	568,60	
		0,9093	0,0455	0,0000	0,0986	0,8627	948,75	
		1,2592	0,0630	0,0001	0,0692	0,5911	469,45	

**Tabela E.8 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas nos *pulpers* no dia 15/06/2015**

Recolha	Classe amostra	Massa amostra húmida (g)	Massa amostra seca (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração média (mg/kg)
1º Recolha	Saída <i>Pulper 1</i>	1,6886	0,1351	0,0001	0,0621	0,5251	194,36	218,07
		1,0125	0,0810	0,0001	0,0386	0,3088	190,60	
		0,6798	0,0544	0,0001	0,0342	0,2681	246,53	
		0,7749	0,0620	0,0001	0,0375	0,2985	240,78	
2º Recolha	Saída <i>Pulper 1</i>	1,5306	0,0918	0,0001	0,0521	0,4331	235,83	288,72
		0,4912	0,0295	0,0000	0,0245	0,1779	301,87	
		0,7933	0,0476	0,0000	0,0299	0,2283	239,87	
		0,7503	0,0450	0,0000	0,0420	0,3397	377,30	
3º Recolha	Saída <i>Pulper 1</i>	1,0405	0,0416	0,0000	0,0477	0,3922	471,22	340,53
		0,6819	0,0273	0,0000	0,0230	0,1645	301,63	
		1,1038	0,0442	0,0000	0,0388	0,3098	350,82	
		1,0925	0,0437	0,0000	0,0401	0,3226	369,13	
4º Recolha	Saída <i>Pulper 1</i>	1,0964	0,0987	0,0001	0,0394	0,3153	159,78	105,97
		0,8037	0,0723	0,0001	0,0157	0,0971	67,15	
		0,9355	0,0842	0,0001	0,0215	0,1504	89,33	
		1,2096	0,1089	0,0001	0,0306	0,2343	107,63	

**Tabela E.9** - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas nos *pulpers* no dia 18/06/2015

<b>Recolha</b>	<b>Classe amostra</b>	<b>Massa amostra húmida (g)</b>	<b>Massa amostra seca (g)</b>	<b>Massa amostra (kg)</b>	<b>Absorvância média</b>	<b>Concentração (ppm)</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>	<b>Concentração média (mg/kg)</b>
<b>1º Recolha</b>	<b>Saída Pulper 2</b>	0,7390	0,0517	0,0001	0,0778	0,6704	647,94	851,62
		1,0883	0,0762	0,0001	0,1459	1,2989	852,50	
		1,1359	0,0795	0,0001	0,1600	1,4294	898,82	
		1,2551	0,0628	0,0001	0,1421	1,2642	1007,23	
<b>2º Recolha</b>	<b>Saída Pulper 2</b>	2,2081	0,1766	0,0002	0,1165	1,0274	290,81	349,18
		2,2958	0,1837	0,0002	0,1093	0,9615	261,75	
		0,6252	0,0500	0,0001	0,0654	0,5562	556,05	
		1,2041	0,0963	0,0001	0,0653	0,5550	288,10	

**Tabela E.10 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas nos *Pulpers* no dia 22/06/2015**

Recolha	Classe amostra	Massa amostra húmida (g)	Massa amostra seca (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração média (mg/kg)
1º Recolha	Saída <i>Pulper 1</i>	1,1689	0,1520	0,0002	0,0517	0,4297	141,40	142,12
		1,9831	0,2578	0,0003	0,0813	0,7023	136,21	
		1,9091	0,2482	0,0002	0,0802	0,6929	139,59	
		2,1669	0,2817	0,0003	0,0975	0,8524	151,29	
2º Recolha	Saída <i>Pulper 1</i>	1,2274	0,3069	0,0003	0,0429	0,3476	56,65	64,99
		2,9766	0,7442	0,0007	0,1583	1,4139	95,00	
		3,2069	0,8017	0,0008	0,1028	0,9012	56,20	
		2,3615	0,5904	0,0006	0,0718	0,6151	52,09	
1º Recolha	Saída <i>Pulper 2</i>	2,1500	0,2580	0,0003	0,1863	1,6719	324,02	327,86
		1,2627	0,1515	0,0002	0,1128	0,9939	327,97	
		0,8623	0,1035	0,0001	0,0747	0,6413	309,87	
		1,4048	0,1686	0,0002	0,1329	1,1787	349,60	
2º Recolha	Saída <i>Pulper 2</i>	1,2293	0,0861	0,0001	0,0357	0,2818	163,75	157,52
		1,7973	0,1258	0,0001	0,0437	0,3554	141,24	
		0,7555	0,0529	0,0001	0,0280	0,2104	198,95	
		1,7589	0,1231	0,0001	0,0388	0,3106	126,14	
3º Recolha	Saída <i>Pulper 2</i>	1,3697	0,1096	0,0001	0,0249	0,1823	83,17	90,02
		0,5668	0,0453	0,0000	0,0154	0,0938	103,45	
		1,1641	0,0931	0,0001	0,0230	0,1639	88,00	
		1,2737	0,1019	0,0001	0,0241	0,1741	85,45	
4º Recolha	Saída <i>Pulper 2</i>	1,4188	0,1277	0,0001	0,0436	0,3546	138,84	122,13
		1,3604	0,1224	0,0001	0,0379	0,3022	123,42	
		1,9380	0,1744	0,0002	0,0459	0,3756	107,68	
		2,0001	0,1800	0,0002	0,0514	0,4270	118,59	

Tabela E.11 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas nos *Pulper*s no dia 25/06/2015

Recolha	Classe amostra	Massa amostra húmida (g)	Massa amostra seca (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração média (mg/kg)
1º Recolha	Saída <i>Pulper 2</i>	1,3116	0,1180	0,0001	0,0800	0,6905	292,47	296,98
		2,3472	0,2112	0,0002	0,1509	1,3452	318,38	
		2,5178	0,2266	0,0002	0,1475	1,3141	289,96	
		0,8396	0,0756	0,0001	0,0522	0,4339	287,10	
2º Recolha	Saída <i>Pulper 2</i>	1,5777	0,0947	0,0001	0,0960	0,8382	442,75	381,79
		1,5291	0,0917	0,0001	0,0820	0,7088	386,27	
		2,1241	0,1274	0,0001	0,1085	0,9539	374,25	
		1,6988	0,1019	0,0001	0,0767	0,6603	323,90	
3º Recolha	Saída <i>Pulper 2</i>	1,2019	0,0721	0,0001	0,0627	0,5312	368,31	381,91
		1,1896	0,0714	0,0001	0,0585	0,4917	344,44	
		1,4499	0,0870	0,0001	0,0606	0,5114	293,90	
		0,9590	0,0575	0,0001	0,0701	0,5995	520,98	
4º Recolha	Saída <i>Pulper 2</i>	1,4087	0,1127	0,0001	0,0716	0,6134	272,14	321,62
		1,5754	0,1260	0,0001	0,1063	0,9333	370,28	
		1,3087	0,1047	0,0001	0,0795	0,6859	327,55	
		0,9461	0,0757	0,0001	0,0571	0,4791	316,52	
1º Recolha	Saída <i>Pulper 1</i>	1,0739	0,0644	0,0001	0,0760	0,6539	507,44	515,48
		1,7383	0,1043	0,0001	0,1221	1,0794	517,46	
		1,2087	0,0725	0,0001	0,0858	0,7438	512,79	
		1,1301	0,0678	0,0001	0,0822	0,7109	524,21	
2º Recolha	Saída <i>Pulper 1</i>	1,5631	0,1094	0,0001	0,0812	0,7020	320,81	339,94
		1,8713	0,1310	0,0001	0,1029	0,9017	344,17	
		2,0288	0,1420	0,0001	0,0902	0,7852	276,46	
		1,6572	0,1160	0,0001	0,1103	0,9705	418,32	

○ Digestores

**Tabela E.12** - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas à entrada e à saída dos digestores no dia 26/02/2015

		Massa amostra húmida (g)	Massa amostra seca (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração Média (mg/kg)
<b>Digestor 1</b>	<b>Entrada</b>	1,46090	0,07305	0,00007	0,01343	0,0936*	128,13	122,44
		1,43790	0,07190	0,00007	0,01010	0,0679*	94,45	
		1,21750	0,06088	0,00006	0,01272	0,0881*	144,75	
	<b>Saída</b>	1,50900	0,06036	0,00006	0,00834	0,0543*	90,00	133,16
		1,13990	0,04560	0,00005	0,01004	0,0674*	147,90	
		1,12220	0,04489	0,00004	0,01070	0,0725*	161,58	
<b>Digestor 2</b>	<b>Entrada</b>	1,46090	0,07305	0,00007	0,01343	0,0936*	128,13	122,44
		1,43790	0,07190	0,00007	0,01010	0,0679*	94,45	
		1,21750	0,06088	0,00006	0,01272	0,0881*	144,75	
	<b>Saída</b>	1,02850	0,04114	0,00004	0,00906	0,0599	145,54	133,03
		1,87670	0,07507	0,00008	0,01237	0,0854	113,79	
		1,14180	0,04567	0,00005	0,00948	0,0631	138,20	
		1,13520	0,04541	0,00005	0,00922	0,0611	134,58	

\*Encontram-se entre o limite de deteção e quantificação, estão numa zona semi-quantitativa.

**Tabela E.13** - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas à entrada e à saída dos digestores no dia 18/03/2015

<b>Classe amostra</b>	<b>Massa amostra húmida (g)</b>	<b>Massa amostra seca (g)</b>	<b>Massa amostra (kg)</b>	<b>Absorvância média</b>	<b>Concentração (ppm)</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>	<b>Concentração média (mg/kg)</b>
<b>Entrada Digestores</b>	1,8269	0,0731	0,0001	0,0125	0,0861	117,84	158,63
	1,7563	0,0703	0,0001	0,0229	0,1667	237,24	
	1,7706	0,0708	0,0001	0,0124	0,0856	120,82	
<b>Saída Digestor 1</b>	1,6625	0,0333	0,0000	0,0131	0,0907	272,67	280,52
	1,8252	0,0365	0,0000	0,0144	0,1007	275,84	
	1,2639	0,0253	0,0000	0,0100	0,0671	265,57	
	1,2401	0,0248	0,0000	0,0112	0,0764	307,99	
<b>Saída Digestor 2</b>	1,1229	0,0449	0,0000	0,0095	0,0636	141,55	150,11
	1,0360	0,0414	0,0000	0,0123	0,0849	204,82	
	1,4790	0,0592	0,0001	0,0110	0,0752	127,04	
	1,5198	0,0608	0,0001	0,0113	0,0772	127,05	

**Tabela E.14** - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras recolhidas à entrada e à saída dos digestores no dia 20/05/2015

<b>Classe amostra</b>	<b>Massa amostra húmida (g)</b>	<b>Massa amostra seca (g)</b>	<b>Massa amostra (kg)</b>	<b>Absorvância média</b>	<b>Concentração (ppm)</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>	<b>Concentração média (mg/kg)</b>
<b>Entrada Digestor</b>	1,1382	0,1024	0,0001	0,0273	0,2043	99,74	115,98
	0,8920	0,0803	0,0001	0,0298	0,2271	141,47	
	1,1621	0,1046	0,0001	0,0338	0,2638	126,11	
	0,9160	0,0824	0,0001	0,0225	0,1593	96,60	
<b>Saída Digestor 1</b>	5 mL	5,0	0,0050	0,0442	0,3602	3,60	3,27
	5 mL	5,0	0,0050	0,0530	0,4411	4,41	
	5 mL	5,0	0,0050	0,0331	0,2580	2,58	
	5 mL	5,0	0,0050	0,0320	0,2471	2,47	
<b>Saída Digestor 2</b>	1,0319	0,0722	0,0001	0,0526	0,4375	302,83	228,10
	1,0919	0,0764	0,0001	0,0352	0,2769	181,15	
	0,9522	0,0667	0,0001	0,0386	0,3084	231,35	
	1,7060	0,1194	0,0001	0,0562	0,4707	197,09	

- Composto

**Tabela E.15 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras de composto em fase de estabilização recolhidas no dia 28/10/2014**

<b>Lote</b>	<b>Classe amostra</b>	<b>Massa amostra (g)</b>	<b>Massa amostra (kg)</b>	<b>Absorvância média</b>	<b>Concentração (ppm)</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>	<b>Concentração média (mg/kg)</b>
<b>108</b>	<b>Composto com estilha</b>	0,2590	0,0003	0,07716	0,5705	220,29	219,07
		0,2765	0,0003	0,08139	0,6024	217,85	
	<b>Estilha Recirculada</b>	0,2581	0,0003	0,02893	0,2078	80,51	76,33
		0,2500	0,0003	0,02528	0,1804	72,14	
<b>109</b>	<b>Composto com estilha</b>	0,2934	0,0003	0,04534	0,3312	112,89	119,26
		0,2545	0,0003	0,04381	0,3197	125,63	
	<b>Estilha Fresca</b>	0,2537	0,0003	0,0193	0,1354	53,36	44,58
		0,2553	0,0003	0,01345	0,0914	35,79	
<b>110</b>	<b>Composto com estilha</b>	0,2914	0,0003	0,06304	0,4644	159,35	152,39
		0,2604	0,0003	0,05165	0,3787	145,42	
	<b>Estilha Fresca</b>	0,2537	0,0003	0,01417	0,0968	38,15	41,08
		0,2681	0,0003	0,01699	0,1180	44,02	

**Tabela E.16 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras de composto em fase de estabilização recolhidas no dia 18/11/2014**

Lote	Classe amostra	Massa amostra (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração média (mg/kg)
108	Composto com estilha	0,2754	0,0003	0,09524	0,7065	256,55	255,94
		0,2567	0,0003	0,08845	0,6555	255,34	
	Estilha Recirculada	0,2601	0,0003	0,05483	0,4026	154,79	154,74
		0,2747	0,0003	0,0578	0,4249	154,69	
109	Composto com estilha	0,2756	0,0003	0,0789	0,5836	211,77	214,18
		0,2827	0,0003	0,08271	0,6123	216,59	
	Estilha Fresca	0,2609	0,0003	0,03158	0,2277	87,29	82,81
		0,2511	0,0003	0,02745	0,1967	78,33	
110	Composto com estilha	0,2709	0,0003	0,0616	0,4535	167,41	168,97
		0,2750	0,0003	0,06365	0,4689	170,52	
	Estilha Fresca	0,2653	0,0003	0,02958	0,2127	80,17	71,23
		0,2525	0,0003	0,02221	0,1573	62,28	

**Tabela E.17 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras de composto em fase de estabilização recolhidas no dia 16/03/2015**

Lote	Classe amostra	Massa amostra (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração média (mg/kg)
Box 4	Composto com estilha	0,2709	0,0003	0,0591	0,4350	160,58	141,90
		0,2815	0,0003	0,0474	0,3469	123,22	
	Estilha	0,2586	0,0003	0,0155	0,1069	41,33	33,28
		0,2737	0,0003	0,0105	0,0690	25,23	
122	Composto com estilha	0,2865	0,0003	0,0751	0,5554	193,84	190,24
		0,2745	0,0003	0,0694	0,5123	186,64	
	Estilha	0,2563	0,0003	0,0542	0,3977	155,18	154,39
		0,2509	0,0003	0,0525	0,3854	153,60	

**Tabela E.18 - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras de composto em fase de estabilização recolhidas no dia 20/05/2015**

Lote	Classe amostra	Massa amostra (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração média (mg/kg)
122	Composto com estilha	0,6395	0,0006	0,4050	3,1150	243,55	274,68
		0,4199	0,0004	0,3063	2,3530	280,19	
		0,4804	0,0005	0,3780	2,9066	302,52	
		0,4686	0,0005	0,3323	2,5537	272,48	
	Estilha	0,5651	0,0006	0,1412	1,2555	111,09	125,90
		0,4635	0,0005	0,1079	0,9478	102,25	
		0,4735	0,0005	0,1637	1,4636	154,55	
		0,6365	0,0006	0,1923	1,7279	135,73	
124	Composto com estilha	0,4204	0,0004	0,3127	2,4028	285,77	278,81
		0,4901	0,0005	0,3458	2,6581	271,18	
		0,4336	0,0004	0,3228	2,4809	286,08	
		0,5273	0,0005	0,3734	2,8709	272,23	
	Estilha	0,5483	0,0005	0,1851	1,6607	151,44	142,12
		0,5202	0,0005	0,1978	1,7783	170,92	
		0,5128	0,0005	0,1427	1,2693	123,77	
		0,4598	0,0005	0,1271	1,1251	122,35	
126	Composto com estilha	0,5177	0,0005	0,2497	1,9166	185,11	178,83
		0,4867	0,0005	0,2379	1,8254	187,53	
		0,4422	0,0004	0,1997	1,5306	173,07	
		0,6041	0,0006	0,2669	2,0495	169,63	
	Estilha	0,4503	0,0005	0,0766	0,6596	73,24	80,27
		0,4483	0,0004	0,0786	0,6773	75,54	
		0,5861	0,0006	0,1075	0,9445	80,58	
		0,5738	0,0006	0,1192	1,0525	91,72	

- Composto Maturado

**Tabela E.19** - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras de composto maturado recolhidas no dia 20/05/2015

Lote	Massa amostra húmida (g)	Massa amostra seca (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração média (mg/kg)
112	0,6555	0,4589	0,0005	0,3876	2,9806	324,79	354,17
	0,4374	0,3062	0,0003	0,3076	2,3634	385,95	
	0,4973	0,3481	0,0003	0,3303	2,5382	364,57	
	0,5840	0,4088	0,0004	0,3630	2,7910	341,36	
117	0,5830	0,2973	0,0003	0,2440	1,8724	314,87	327,18
	0,4656	0,2375	0,0002	0,2239	1,7175	361,65	
	0,4918	0,2508	0,0003	0,1935	1,4829	295,62	
	0,4544	0,2317	0,0002	0,2035	1,5601	336,60	

- Estilha

**Tabela E.20** - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras de estilha recolhidas no dia 18/03/2015

Classe amostra	Massa amostra húmida (g)	Massa amostra seca (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração média (mg/kg)
Estilha Aterro	0,5137	0,4058	0,0004	0,0125	0,0861	21,22	19,84
	0,5133	0,4055	0,0004	0,0124	0,0858	21,16	
	0,5691	0,4496	0,0004	0,0125	0,0863	19,20	
	0,5758	0,4549	0,0005	0,0118	0,0808	17,76	
Estilha Fora	0,5021	0,3464	0,0003	0,0074	0,0467	13,47	11,29
	0,5104	0,3522	0,0004	0,0070	0,0443	12,58	
	0,5554	0,3832	0,0004	0,0054	0,0317	8,28	
	0,5224	0,3605	0,0004	0,0064	0,0390	10,83	

**Tabela E.21** - Concentração média do metal Cu obtida para cada uma das amostras de estilha recolhidas no dia 20/05/2015

Classe amostra	Massa amostra húmida (g)	Massa amostra seca (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração média (mg/kg)
<b>Estilha Aterro (Valetas e não Valetas)</b>	0,5249	0,3569	0,0004	0,0929	0,8096	113,41	
	0,4689	0,3189	0,0003	0,0678	0,5777	90,58	94,88
	0,4890	0,3325	0,0003	0,0633	0,5363	80,64	
<b>Estilha Valetas</b>	0,4536	0,3175	0,0003	0,0109	0,0529	<0,03	
	0,5024	0,3517	0,0004	0,0197	0,1334	<0,03	<0,03
	0,4357	0,3050	0,0003	0,0134	0,0760	<0,03	
	0,5050	0,3535	0,0004	0,0111	0,0546	<0,03	

✓ **Determinação da concentração de Zinco:**

- *Pulpers*

**Tabela E.22** - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas nos *Pulpers* no dia 18/03/2015

Classe amostra	Massa amostra húmida (g)	Massa amostra seca (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração média (mg/kg)
<b>Entrada Pulper</b>	5 mL	5,0	0,005	0,1736	0,2717	5,43	
	5 mL	5,0	0,005	0,1963	0,3446	6,89	7,95
	5 mL	5,0	0,005	0,2250	0,4401	8,80	
	5 mL	5,0	0,005	0,2519	0,5337	10,67	
<b>Saída Pulper 1</b>	1,4475	0,1737	0,0001	0,1508	0,2008	115,59	
	1,0800	0,1296	0,0001	0,1373	0,1598	123,28	167,14
	1,0031	0,1204	0,0001	0,1895	0,3225	267,96	
	1,5661	0,1879	0,0002	0,1837	0,3039	161,73	

**Tabela E.23 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas nos *Pulpers* no dia 30/03/2015**

<b>Classe amostra</b>	<b>Massa amostra húmida (g)</b>	<b>Massa amostra seca (g)</b>	<b>Massa amostra (kg)</b>	<b>Absorvância média</b>	<b>Concentração (ppm)</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>	<b>Concentração média (mg/kg)</b>
<b>Saída <i>Pulper 1</i></b>	2,8776	0,1727	0,0002	0,1441	0,1804	52,23	68,81
	2,5156	0,1509	0,0002	0,1587	0,2251	74,56	
	2,4760	0,1486	0,0001	0,1581	0,2231	75,10	
	2,5701	0,1542	0,0002	0,1591	0,2262	73,35	
<b>Saída <i>Pulper 2</i></b>	2,1633	0,1082	0,0001	0,2848	0,6531	301,88	228,57
	2,1035	0,1052	0,0001	0,2090	0,3863	183,64	
	2,4420	0,1221	0,0001	0,2418	0,4981	203,98	
	2,6861	0,1343	0,0001	0,2715	0,6038	224,78	

**Tabela E.24 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas nos *Pulpers* no dia 31/03/2015**

<b>Classe amostra</b>	<b>Massa amostra húmida (g)</b>	<b>Massa amostra seca (g)</b>	<b>Massa amostra (kg)</b>	<b>Absorvância média</b>	<b>Concentração (ppm)</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>	<b>Concentração média (mg/kg)</b>
<b>Saída <i>Pulper 1</i></b>	2,2260	0,0890	0,0001	0,1913	0,3283	184,38	184,26
	2,4586	0,0983	0,0001	0,1837	0,3038	154,43	
	2,2043	0,0882	0,0001	0,1888	0,3203	181,66	
	2,7043	0,1082	0,0001	0,2333	0,4686	216,58	
<b>Saída <i>Pulper 2</i></b>	2,2091	0,2430	0,0002	0,2317	0,4631	95,29	111,42
	2,0567	0,2262	0,0002	0,2602	0,5631	124,46	
	2,2450	0,2470	0,0002	0,2531	0,5378	108,88	
	2,6795	0,2947	0,0003	0,2947	0,6901	117,07	

**Tabela E.25** - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas nos *Pulpers* e refugos no dia 1/04/2015

<b>Classe amostra</b>	<b>Massa amostra húmida (g)</b>	<b>Massa amostra seca (g)</b>	<b>Massa amostra (kg)</b>	<b>Absorvância média</b>	<b>Concentração (ppm)</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>	<b>Concentração média (mg/kg)</b>
<b>Saída Pulper 1</b>	2,7271	0,1364	0,0001	0,1313	0,1420	52,07	55,90
	2,7021	0,1351	0,0001	0,1357	0,1550	57,37	
	2,7088	0,1354	0,0001	0,1305	0,1396	51,53	
	2,2918	0,1146	0,0001	0,1318	0,1435	62,60	
<b>Pesados</b>	5 mL	5,0	0,0050	0,1040	0,0621	<0,10	<0,10
	5 mL	5,0	0,0050	0,1013	0,0543	<0,10	
	5 mL	5,0	0,0050	0,1044	0,0632	<0,10	
	5 mL	5,0	0,0050	0,0711	0,0000	<0,10	
<b>Leves</b>	5 mL	5,0	0,0050	0,0777	0,0000	<0,10	<0,10
	5 mL	5,0	0,0050	0,0941	0,0338	<0,10	
	5 mL	5,0	0,0050	0,1064	0,0691	<0,10	
	5 mL	5,0	0,0050	0,1072	0,0713	<0,10	

**Tabela E.26** - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas nos *Pulpers* e água do PW0 no dia 2/04/2015

<b>Classe amostra</b>	<b>Massa amostra húmida (g)</b>	<b>Massa amostra seca (g)</b>	<b>Massa amostra (kg)</b>	<b>Absorvância média</b>	<b>Concentração (ppm)</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>	<b>Concentração média (mg/kg)</b>
<b>Saída Pulper 1</b>	2,3837	0,2145	0,0002	0,30430	0,7266	169,34	215,87
	2,7696	0,2493	0,0002	0,51790	1,7090	342,81	
	2,4699	0,2223	0,0002	0,31787	0,7792	175,26	
	2,9419	0,2648	0,0003	0,35579	0,9323	176,06	
<b>Água PW0</b>	5,00	5,00	0,0050	0,06271	0,0000	<0,10	<0,10
	5,00	5,00	0,0050	0,04810	0,0000	<0,10	
	5,00	5,00	0,0050	0,05079	0,0000	<0,10	
	5,00	5,00	0,0050	0,06709	0,0000	<0,10	
<b>Areia Fundo PW0</b>	0,6151	0,3445	0,0003	0,84514	4,3081	625,35	490,23
	0,5462	0,3059	0,0003	0,58982	2,1343	348,89	
	0,6203	0,3474	0,0003	0,73855	3,2419	466,64	
	0,8496	0,4758	0,0005	0,89723	4,9486	520,06	

**Tabela E.27 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas nos *Pulpers* no dia 20/05/2015**

Recolha	Classe amostra	Massa amostra húmida (g)	Massa amostra seca (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração média (mg/kg)
1º Recolha	Saída <i>Pulper 2</i>	1,2061	0,0603	0,0001	0,5782	2,0615	1709,27	1520,87
		0,9730	0,0487	0,0000	0,4769	1,4909	1532,29	
		0,8911	0,0446	0,0000	0,4481	1,3474	1512,04	
		0,8908	0,0445	0,0000	0,4136	1,1847	1329,88	
2º Recolha	Saída <i>Pulper 2</i>	1,1430	0,0686	0,0001	0,3943	1,0979	800,45	695,15
		0,8715	0,0523	0,0001	0,2710	0,6021	575,69	
		0,8854	0,0531	0,0001	0,3307	0,8301	781,27	
		0,8168	0,0490	0,0000	0,2734	0,6108	623,18	
2º Recolha	Saída <i>Pulper 2</i> (+ 5 m³ H <sub>2</sub> O)	0,8975	0,0449	0,0000	0,2253	0,4413	491,71	554,10
		1,0282	0,0514	0,0001	0,2800	0,6350	617,62	
		1,1213	0,0561	0,0001	0,3464	0,8933	796,67	
		0,8182	0,0409	0,0000	0,1680	0,2540	310,39	
3º Recolha	Saída <i>Pulper 1</i>	1,1495	0,0575	0,0001	0,3410	0,8716	758,24	972,89
		0,8001	0,0400	0,0000	0,2793	0,6325	790,47	
		0,9093	0,0455	0,0000	0,4735	1,4738	1620,84	
		1,2592	0,0630	0,0001	0,3502	0,9092	722,03	

**Tabela E.28** - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas nos *Pulper*s no dia 15/06/2015

Recolha	Classe amostra	Massa amostra húmida (g)	Massa amostra seca (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração média (mg/kg)
1º Recolha	Saída <i>Pulper 1</i>	1,6886	0,1351	0,0001	0,3622	0,9591	354,98	385,38
		1,0125	0,0810	0,0001	0,2724	0,6073	374,88	
		0,6798	0,0544	0,0001	0,1784	0,2868	263,65	
		0,7749	0,0620	0,0001	0,2919	0,6794	548,00	
2º Recolha	Saída <i>Pulper 1</i>	1,5306	0,0918	0,0001	0,3458	0,8908	485,02	721,62
		0,4912	0,0295	0,0000	0,2796	0,6335	1074,72	
		0,7933	0,0476	0,0000	0,2084	0,3844	403,83	
		0,7503	0,0450	0,0000	0,3310	0,8310	922,92	
3º Recolha	Saída <i>Pulper 1</i>	1,0405	0,0416	0,0000	0,2375	0,4830	580,29	632,52
		0,6819	0,0273	0,0000	0,1809	0,2949	540,63	
		1,1038	0,0442	0,0000	0,2600	0,5623	636,83	
		1,0925	0,0437	0,0000	0,2784	0,6294	720,08	
4º Recolha	Saída <i>Pulper 1</i>	1,0964	0,0987	0,0001	0,2460	0,5127	259,79	202,36
		0,8037	0,0723	0,0001	0,1405	0,1696	117,20	
		0,9355	0,0842	0,0001	0,2053	0,3740	222,10	
		1,2096	0,1089	0,0001	0,2302	0,4580	210,34	

**Tabela E.29** - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas nos *Pulpers* no dia 18/06/2015

Recolha	Classe amostra	Massa amostra húmida (g)	Massa amostra seca (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração média (mg/kg)
1º Recolha	Saída <i>Pulper 2</i>	0,7390	0,0517	0,0001	0,3971	1,1101	1072,95	1351,97
		1,0883	0,0762	0,0001	0,5298	1,7751	1165,06	
		1,1359	0,0795	0,0001	0,5838	2,0963	1318,21	
		1,2551	0,0628	0,0001	0,6189	2,3240	1851,66	
2º Recolha	Saída <i>Pulper 2</i>	2,2081	0,1766	0,0002	0,6695	2,6832	759,48	779,86
		2,2958	0,1837	0,0002	0,6467	2,5166	685,11	
		0,6252	0,0500	0,0001	0,3357	0,8499	849,63	
		1,2041	0,0963	0,0001	0,4959	1,5898	825,22	

**Tabela E.30 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas nos *Pulper*s no dia 22/06/2015**

<b>Recolha</b>	<b>Classe amostra</b>	<b>Massa amostra húmida (g)</b>	<b>Massa amostra seca (g)</b>	<b>Massa amostra (kg)</b>	<b>Absorvância média</b>	<b>Concentração (ppm)</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>	<b>Concentração média (mg/kg)</b>
<b>1º Recolha</b>	<b>Saída Pulper 1</b>	1,1689	0,1520	0,0002	0,3344	0,8449	278,00	325,77
		1,9831	0,2578	0,0003	0,4435	1,3252	257,02	
		1,9091	0,2482	0,0002	0,4239	1,2322	248,24	
		2,1669	0,2817	0,0003	0,7012	2,9286	519,82	
<b>2º Recolha</b>	<b>Saída Pulper 1</b>	1,2274	0,3069	0,0003	0,4029	1,1361	185,12	175,01
		2,9766	0,7442	0,0007	0,6998	2,9176	196,03	
		3,2069	0,8017	0,0008	0,7068	2,9742	185,49	
		2,3615	0,5904	0,0006	0,4931	1,5750	133,39	
<b>1º Recolha</b>	<b>Saída Pulper 2</b>	2,1500	0,2580	0,0003	0,7451	3,2998	639,50	648,06
		1,2627	0,1515	0,0002	0,6204	2,3341	770,19	
		0,8623	0,1035	0,0001	0,4203	1,2153	587,26	
		1,4048	0,1686	0,0002	0,5693	2,0070	595,27	
<b>2º Recolha</b>	<b>Saída Pulper 2</b>	1,2293	0,0861	0,0001	0,2888	0,6680	388,13	269,91
		1,7973	0,1258	0,0001	0,2757	0,6194	246,17	
		0,7555	0,0529	0,0001	0,1519	0,2042	193,11	
		1,7589	0,1231	0,0001	0,2762	0,6212	252,25	
<b>3º Recolha</b>	<b>Saída Pulper 2</b>	1,3697	0,1096	0,0001	0,2588	0,5582	254,71	191,43
		0,5668	0,0453	0,0000	0,1301	0,1382	152,39	
		1,1641	0,0931	0,0001	0,1567	0,2189	117,53	
		1,2737	0,1019	0,0001	0,2399	0,4913	241,09	
<b>4º Recolha</b>	<b>Saída Pulper 2</b>	1,4188	0,1277	0,0001	0,3175	0,7779	304,60	325,99
		1,3604	0,1224	0,0001	0,4049	1,1451	467,61	
		1,9380	0,1744	0,0002	0,3919	1,0869	311,58	
		2,0001	0,1800	0,0002	0,3213	0,7927	220,18	

Tabela E.31 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas nos *Pulpers* no dia 25/06/2015

Recolha	Classe amostra	Massa amostra húmida (g)	Massa amostra seca (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração média (mg/kg)
1º Recolha	Saída <i>Pulper 2</i>	1,3116	0,1180	0,0001	0,3297	0,8260	349,89	364,49
		2,3472	0,2112	0,0002	0,5399	1,8329	433,82	
		2,5178	0,2266	0,0002	0,5803	2,0743	457,69	
		0,8396	0,0756	0,0001	0,1910	0,3273	216,57	
2º Recolha	Saída <i>Pulper 2</i>	1,5777	0,0947	0,0001	0,3993	1,1201	591,64	559,16
		1,5291	0,0917	0,0001	0,3884	1,0715	583,96	
		2,1241	0,1274	0,0001	0,4430	1,3230	519,04	
		1,6988	0,1019	0,0001	0,3959	1,1049	542,01	
3º Recolha	Saída <i>Pulper 2</i>	1,2019	0,0721	0,0001	0,3428	0,8786	609,20	550,42
		1,1896	0,0714	0,0001	0,3394	0,8650	605,96	
		1,4499	0,0870	0,0001	0,3498	0,9076	521,63	
		0,9590	0,0575	0,0001	0,2523	0,5350	464,91	
4º Recolha	Saída <i>Pulper 2</i>	1,4087	0,1127	0,0001	0,4065	1,1525	511,34	445,04
		1,5754	0,1260	0,0001	0,3708	0,9954	394,90	
		1,3087	0,1047	0,0001	0,3581	0,9418	449,76	
		0,9461	0,0757	0,0001	0,2819	0,6421	424,18	
1º Recolha	Saída <i>Pulper 1</i>	1,0739	0,0644	0,0001	0,3266	0,8137	631,42	622,90
		1,7383	0,1043	0,0001	0,4148	1,1902	570,56	
		1,2087	0,0725	0,0001	0,3761	1,0182	702,01	
		1,1301	0,0678	0,0001	0,3224	0,7969	587,62	
2º Recolha	Saída <i>Pulper 1</i>	1,5631	0,1094	0,0001	0,4176	1,2033	549,86	485,04
		1,8713	0,1310	0,0001	0,4272	1,2479	476,32	
		2,0288	0,1420	0,0001	0,4257	1,2408	436,87	
		1,6572	0,1160	0,0001	0,3964	1,1070	477,12	

- Digestores

**Tabela E.32** - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas à entrada e à saída dos digestores no dia 18/03/2015

Classe amostra	Massa amostra húmida (g)	Massa amostra seca (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração média (mg/kg)
<b>Entrada Digestores</b>	1,7017	0,0681	0,0001	0,0888	<0,1	<0,1	95,99
	1,8269	0,0731	0,0001	0,1100	0,0794	108,71	
	1,7563	0,0703	0,0001	0,1151	0,0943	134,20	
	1,7706	0,0708	0,0001	0,0934	0,0319	45,06	
<b>Saída Digestor 1</b>	1,6625	0,0333	0,0000	0,1103	<0,1	<0,1	365,32
	1,8252	0,0365	0,0000	0,1284	0,1334	365,32	
	1,2639	0,0253	0,0000	0,0817	<0,1	<0,1	
	1,2401	0,0248	0,0000	0,0855	<0,1	<0,1	
<b>Saída Digestor 2</b>	1,1229	0,0449	0,0000	0,0788	<0,1	<0,1	216,58
	1,0360	0,0414	0,0000	0,0767	<0,1	<0,1	
	1,4790	0,0592	0,0001	0,1079	<0,1	<0,1	
	1,5198	0,0608	0,0001	0,1279	0,1317	216,58	

**Tabela E.33** - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras recolhidas à entrada e à saída dos digestores no dia 20/05/2015

<b>Classe Amostra</b>	<b>Massa amostra húmida (g)</b>	<b>Massa amostra seca (g)</b>	<b>Massa amostra (kg)</b>	<b>Absorvância média</b>	<b>Concentração (ppm)</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>	<b>Concentração média (mg/kg)</b>
<b>Entrada Digestor</b>	1,1382	0,1024	0,0001	0,1920	0,3305	161,31	182,49
	0,8920	0,0803	0,0001	0,1751	0,2765	172,24	
	1,1621	0,1046	0,0001	0,2362	0,4785	228,73	
	0,9160	0,0824	0,0001	0,1751	0,2765	167,69	
<b>Saída Digestor 1</b>	5 mL	5,0	0,0050	0,2423	0,4996	5,00	4,47
	5 mL	5,0	0,0050	0,2668	0,5869	5,87	
	5 mL	5,0	0,0050	0,2059	0,3761	3,76	
	5 mL	5,0	0,0050	0,1909	0,3271	3,27	
<b>Saída Digestor 2</b>	1,0319	0,0722	0,0001	0,3059	0,7327	507,18	335,17
	1,0919	0,0764	0,0001	0,1919	0,3304	216,12	
	0,9522	0,0667	0,0001	0,2300	0,4571	342,88	
	1,7060	0,1194	0,0001	0,2855	0,6556	274,49	

- Composto

**Tabela E.34 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras de composto em fase de estabilização recolhidas no dia 28/10/2014**

<b>Lote</b>	<b>Classe amostra</b>	<b>Massa amostra (g)</b>	<b>Massa amostra (kg)</b>	<b>Absorvância média</b>	<b>Concentração (ppm)</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>	<b>Concentração média (mg/kg)</b>
<b>108</b>	<b>Composto com estilha</b>	0,2590	0,0003	0,36272	2,1582	833,29	830,88
		0,2765	0,0003	0,37735	2,2907	828,46	
	<b>Estilha Recirculada</b>	0,2581	0,0003	0,13563	0,6152	238,36	205,65
		0,2500	0,0003	0,09916	0,4324	172,95	
<b>109</b>	<b>Composto com estilha</b>	0,2934	0,0003	0,26506	1,3923	474,55	486,59
		0,2545	0,0003	0,24688	1,2690	498,63	
	<b>Estilha Fresca</b>	0,2537	0,0003	0,10599	0,4656*	183,52	151,57
		0,2553	0,0003	0,07218	0,3054	119,63	
<b>110</b>	<b>Composto com estilha</b>	0,2914	0,0003	0,28444	1,5298	524,99	529,96
		0,2604	0,0003	0,26515	1,3930	534,93	
	<b>Estilha Fresca</b>	0,2537	0,0003	0,08281	0,3546*	139,78	148,67
		0,2681	0,0003	0,0971	0,4224	157,56	

\*Encontram-se entre o limite de deteção e quantificação, estão numa zona semi-quantitativa.

**Tabela E.35 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras de composto em fase de estabilização recolhidas no dia 18/11/2014**

Lote	Classe amostra	Massa amostra (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração média (mg/kg)
108	Composto com estilha	0,2754	0,0003	0,39434	2,4514	890,11	918,04
		0,2567	0,0003	0,39195	2,4283	945,96	
	Estilha Recirculada	0,2601	0,0003	0,18466	0,8839	339,81	350,99
		0,2747	0,0003	0,2035	0,9949	362,16	
109	Composto com estilha	0,2756	0,0003	0,34312	1,9888	721,61	772,02
		0,2827	0,0003	0,38105	2,3250	822,44	
	Estilha Fresca	0,2609	0,0003	0,11551	0,5127	196,50	197,08
		0,2511	0,0003	0,11223	0,4963	197,67	
110	Composto com estilha	0,2709	0,0003	0,29703	1,6227	598,99	558,23
		0,2750	0,0003	0,26947	1,4231	517,47	
	Estilha Fresca	0,2653	0,0003	0,09827	0,4281	161,35	169,29
		0,2525	0,0003	0,10228	0,4475	177,22	

**Tabela E.36 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras de composto em fase de estabilização recolhidas no dia 16/03/2015**

Lote	Classe amostra	Massa amostra (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração média (mg/kg)
Box 4	Composto com estilha	0,2709	0,0003	0,3459	0,8914	329,04	309,70
		0,2815	0,0003	0,3275	0,8174	290,36	
	Estilha	0,2586	0,0003	0,1018	<0,1	<0,1	<0,1
		0,2737	0,0003	0,0666	<0,1	<0,1	
122	Composto com estilha	0,2865	0,0003	0,3276	0,8174	285,31	282,55
		0,2745	0,0003	0,3150	0,7680	279,79	
	Estilha	0,2563	0,0003	0,1896	0,3227	125,90	127,51
		0,2509	0,0003	0,1900	0,3240	129,12	

**Tabela E.37 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras de composto em fase de estabilização recolhidas no dia 20/05/2015**

<b>Lote</b>	<b>Classe amostra</b>	<b>Massa amostra (g)</b>	<b>Massa amostra (kg)</b>	<b>Absorvância média</b>	<b>Concentração (ppm)</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>	<b>Concentração média (mg/kg)</b>
122	Composto com estilha	0,6395	0,0006	0,8625	4,5117	352,75	413,60
		0,4199	0,0004	0,7629	3,4610	412,13	
		0,4804	0,0005	0,8573	4,4496	463,11	
		0,4686	0,0005	0,8169	3,9964	426,42	
	Estilha	0,5651	0,0006	0,4707	1,4594	129,13	138,49
		0,4635	0,0005	0,3719	1,0002	107,89	
		0,4735	0,0005	0,5199	1,7201	181,64	
		0,6365	0,0006	0,5203	1,7224	135,31	
124	Composto com estilha	0,4204	0,0004	0,8683	4,5816	544,91	565,41
		0,4901	0,0005	0,9122	5,1506	525,47	
		0,4336	0,0004	0,8879	4,8274	556,66	
		0,5273	0,0005	1,0080	6,6923	634,59	
	Estilha	0,5483	0,0005	0,5477	1,8783	171,28	153,18
		0,5202	0,0005	0,5495	1,8884	181,51	
		0,5128	0,0005	0,4409	1,3125	127,97	
		0,4598	0,0005	0,4198	1,2133	131,94	
126	Composto com estilha	0,5177	0,0005	0,8689	4,5885	443,16	425,35
		0,4867	0,0005	0,8474	4,3339	445,23	
		0,4422	0,0004	0,7941	3,7618	425,35	
		0,6041	0,0006	0,8766	4,6839	387,67	
	Estilha	0,4503	0,0005	0,3053	0,7305	81,11	110,15
		0,4483	0,0004	0,3484	0,9018	100,58	
		0,5861	0,0006	0,4554	1,3831	117,99	
		0,5738	0,0006	0,5010	1,6170	140,90	

- Composto Maturado

**Tabela E.38 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras de composto maturado recolhidas no dia 20/05/2015**

Lote	Massa amostra húmida (g)	Massa amostra seca (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração média (mg/kg)
112	0,6555	0,4589	0,0005	0,8044	3,8660	421,27	456,25
	0,4374	0,3062	0,0003	0,6672	2,6660	435,36	
	0,4973	0,3481	0,0003	0,7655	3,4853	500,61	
	0,5840	0,4088	0,0004	0,8003	3,8244	467,75	
117	0,5830	0,2973	0,0003	0,7231	3,1093	522,87	527,86
	0,4656	0,2375	0,0002	0,6737	2,7148	571,64	
	0,4918	0,2508	0,0003	0,6430	2,4901	496,39	
	0,4544	0,2317	0,0002	0,6319	2,4126	520,54	

- Estilha

**Tabela E.39 - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras de estilha recolhidas no dia 18/03/2015**

Classe amostra	Massa amostra húmida (g)	Massa amostra seca (g)	Massa amostra (kg)	Absorvância média	Concentração (ppm)	Concentração (mg/kg)	Concentração média (mg/kg)
Estilha Aterro	0,5137	0,4058	0,0004	0,1388	0,1643	40,50	33,37
	0,5133	0,4055	0,0004	0,1135	<0,10	<0,10	
	0,5691	0,4496	0,0004	0,1360	0,1560	34,69	
	0,5758	0,4549	0,0005	0,1216	0,1133	24,91	
Estilha Fora	0,5021	0,3464	0,0003	0,1015	<0,10	<0,10	<0,10
	0,5104	0,3522	0,0004	0,1159	<0,10	<0,10	
	0,5554	0,3832	0,0004	0,1054	<0,10	<0,10	
	0,5224	0,3605	0,0004	0,0647	<0,10	<0,10	

**Tabela E.40** - Concentração média do metal Zn obtida para cada uma das amostras de estilha recolhidas no dia 20/05/2015

<b>Classe amostra</b>	<b>Massa amostra húmida (g)</b>	<b>Massa amostra seca (g)</b>	<b>Massa amostra (kg)</b>	<b>Absorvância média</b>	<b>Concentração (ppm)</b>	<b>Concentração (mg/kg)</b>	<b>Concentração média (mg/kg)</b>
<b>Estilha Aterro (Valetas e não Valetas)</b>	0,5249	0,3569	0,0004	0,4772	1,4929	209,13	190,33
	0,4689	0,3189	0,0003	0,4004	1,1247	176,36	
	0,4890	0,3325	0,0003	0,4242	1,2337	185,50	
<b>Estilha Valetas</b>	0,4536	0,3175	0,0003	0,0454	0,0000	<0,10	<0,10
	0,5024	0,3517	0,0004	0,0969	0,0418	<0,10	
	0,4357	0,3050	0,0003	0,0395	0,0000	<0,10	
	0,5050	0,3535	0,0004	0,0299	0,0000	<0,10	

✓ **Determinação da quantidade de Carbono Orgânico Total**

**Tabela E.41** - Percentagem de carbono total e de carbono inorgânico para diferentes amostras

<b>Tipo Amostra</b>	<b>Massa (mg)</b>	<b>% CT</b>	<b>Massa (mg)</b>	<b>% CI</b>
Lote 112	52,8	15,00%	53,8	0%
Lote 112'	44,9	15,24%	59,8	0%
	<b>média</b>	<b>15,12%</b>	<b>média</b>	<b>0,00%</b>
Lote 117	60,8	16,22%	67,2	0%
Lote 117'	61,4	15,24%	72,3	0%
	<b>média</b>	<b>15,73%</b>	<b>média</b>	<b>0,00%</b>
Entrada Digestor	52,7	29,03%	50,5	0%
Entrada Digestor'	47,8	29,17%	54,5	0%
	<b>média</b>	<b>29,10%</b>	<b>média</b>	<b>0,00%</b>
Saída Digestor 1	61,8	14,70%	58,4	0,589%
Saída Digestor 1'	39,8	14,34%	61,4	0,853%
	<b>média</b>	<b>14,52%</b>	<b>média</b>	<b>0,72%</b>
Saída Digestor 2	49,6	18,64%	47,9	0%
Saída Digestor 2'	40,7	18,58%	87,9	0%
	<b>média</b>	<b>18,61%</b>	<b>média</b>	<b>0,00%</b>

✓ **Determinação da quantidade de Azoto Total**

**Tabela E.42** - Volume de titulante gasto para diferentes amostras e o branco, para determinar o teor de azoto total

<b>Tipo Amostra</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>V<sub>gasto</sub> (mL)</b>
Branco	0	0,05
Lote 112	1,0314	0,40
Lote 117	1,1207	0,50
Entrada Digestor	0,5311	0,80
Saída Digestor 1	0,1272	0,50
Saída Digestor 2	0,5275	1,00

✓ **Teste de Auto-Aquecimento**

O teste de auto-aquecimento foi realizado em vasos de *Dewar*. Os lotes em que foi estudado o comportamento da temperatura ao longo de 10 dias foi o lote 122, 124 e 126.

**Tabela E.43** - Temperatura observada ao longo de 10 dias em vasos de Dewar para os lotes 122, 124 e 126

Data	Hora	Lote			
		Lote122	Lote 124	Lote 126	
		T <sub>A</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>3</sub> (°C)	T <sub>4</sub> (°C)
17/06/2015	11:08	23,1	23,0	23,3	23,4
17/06/2015	16:20	23,5	23,6	23,7	25,8
18/06/2015	11:56	23,9	23,2	23,6	31,3
18/06/2015	15:30	24,9	23,1	23,6	32,0
19/06/2015	10:31	25,2	23,2	23,8	34,8
19/06/2015	15:44	25,4	23,3	23,9	35,1
22/06/2015	10:30	26,3	25,4	26,0	33,7
22/06/2015	16:02	25,7	25,0	25,9	33,2
23/06/2015	11:44	24,5	24,3	25,3	31,3
23/06/2015	16:12	24,6	24,1	25,1	31,0
25/06/2015	10:54	23,5	22,9	23,7	27,7
25/06/2015	15:56	24,4	22,8	23,6	27,6
26/06/2015	11:25	23,5	22,7	23,5	26,7
26/06/2015	15:16	23,9	22,6	23,4	26,7

## F. Exemplos de Cálculo

### ✓ Determinação do teor de metais

O exemplo dado vai ser em relação ao metal Cu para a primeira amostra recolhida da saída do *pulper* 1 do dia 15/06/2015.

Dados:

m seca - 0,1351 g

V<sub>balão</sub> – 50,00 mL

Absorvância média – 0,06207

Equação da Reta – Absorvância = 0,1083 × concentração + 0,0052

Com o auxílio da reta obtida através da curva de calibração efetuada foi determinada a concentração em ppm do metal na amostra. O cálculo foi efetuado da seguinte forma:

$$0,06207 = 0,1083 \times \text{concentração} + 0,0052$$

$$\text{Concentração} = 0,5251 \text{ ppm}$$

Para se poder comparar com os valores máximos admissíveis para os teores "totais" de metais pesados presentes no anexo I é necessário passar a concentração para mg por kg de matéria seca, sendo assim efetua-se o seguinte cálculo:

$$C \text{ (mg/kg m. s)} = \frac{C \text{ (ppm)} \times V_{\text{bal\~{a}o}} \text{ (L)}}{m \text{ (kg)}}$$

$$C \text{ (mg/kg m. s)} = \frac{0,5251 \times 0,05}{0,0001351}$$

$$C \text{ (mg/kg m. s)} = 194,36$$

Para saber qual era a percentagem de metal no composto foi necessario utilizar as seguintes expressoes e conhecer os seguintes dados:

Dados:

Fraao de composto – 0,615

Fraao de estilha – 0,405

Para o calculo da concentraao de metal a expressao usada foi a que se segue

$$C_{\text{composto}} \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) = \frac{C_{\text{composto+estilha}} \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) - C_{\text{estilha}} \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) \times \text{Fraao estilha}}{\text{Fraao composto}}$$

De seguida estao apresentadas as equaoes que permitiram calcular a percentagem de composto e de estilha no lote estudado.

$$\% \text{ Composto} = \frac{\text{Fraao composto} \times C_{\text{composto}} \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right)}{C_{\text{composto+estilha}} \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right)} \times 100$$

$$\% \text{ Estilha} = 100 - \% \text{ Composto}$$

Por exemplo, para a concentraao de composto do metal cobre o calculo do lote 108 do dia 28/10/2014 foi efetuado da seguinte forma:

$C_{\text{composto+estilha}} - 219,07 \text{ mg/kg m.s}$

$C_{\text{estilha}} - 76,33 \text{ mg/kg m.s}$

$$C_{\text{composto}} \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) = \frac{219,07 - 76,33 \times 0,405}{0,615}$$

$$C_{\text{composto}} \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) = 305,95$$

As percentagens obtidas para este exemplo utilizando as equações acima estão apresentadas a seguir.

$$\% \text{ Composto} = \frac{0,615 \times 305,95}{219,07} \times 100$$

$$\% \text{ Composto} = 85,89 \%$$

$$\% \text{ Estilha} = 100 - 85,89$$

$$\% \text{ Estilha} = 14,11$$

✓ **Determinação da percentagem de carbono orgânico total (%COT)**

Para determinar a percentagem de carbono orgânico total foi usada a seguinte equação:

$$\% \text{COT} = \% \text{CT} - \% \text{CI}$$

Por exemplo, para o lote 112 a %COT foi calculada da seguinte forma:

$$\% \text{COT} = 15\% - 0\%$$

$$\% \text{COT} = 15\%$$

✓ **Padronização do H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>**

Dados:

V<sub>balão</sub> – 1000 mL

Densidade (d) – 1,84 g/mL

Massa Molar (MM) – 98 g/mol

Para calcular a concentração do H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> puro foi utilizada a seguinte equação:

$$C_{\text{H}_2\text{SO}_4\text{puro}} = d \times \frac{1}{\text{MM}} \times 1000 \times 0,98$$

Substituindo pelos valores fornecidos a concentração foi a seguinte:

$$C_{\text{H}_2\text{SO}_4\text{puro}} = 1,84 \times \frac{1}{98} \times 1000 \times 0,98$$

$$C_{\text{H}_2\text{SO}_4\text{puro}} = 18 \text{ mol/L}$$

Depois de conhecida a concentração do ácido foi calculado o volume de ácido necessário para obter uma concentração final de 0,025 mol/L. A fórmula utilizada foi a seguinte:

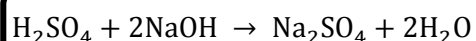
$$C_{\text{H}_2\text{SO}_4\text{puro}} \times V_{\text{H}_2\text{SO}_4\text{puro}} = C_{\text{H}_2\text{SO}_4\text{diluído}} \times V_{\text{balão}}$$

Substituindo pelos dados conhecidos o volume necessário foi de:

$$18 \times V_{\text{H}_2\text{SO}_4\text{puro}} = 0,025 \times 1000$$

$$V_{\text{H}_2\text{SO}_4\text{puro}} = 1,4 \text{ mL}$$

A padronização do  $\text{H}_2\text{SO}_4$  foi feita com  $\text{NaOH}$ . A reação entre este ácido e esta base é a seguinte:



Dados:

$$C_{\text{NaOH}} = 0,1548 \text{ mol/L}$$

$$V_{\text{pipetado}} = 10,00 \text{ mL}$$

Com a realização da titulação obteve-se o seguinte volume de  $\text{NaOH}$  gasto:

**Tabela F.1** - Volume de  $\text{NaOH}$  gasto na titulação do  $\text{H}_2\text{SO}_4$

Ensaio	$V_{\text{gasto}} \text{ (mL)}$
1	3,90
2	3,10
3	3,10
4	3,10

Ou seja, o volume gasto de  $\text{NaOH}$  foi de 3,10 mL.

Conhecido o volume gasto de  $\text{NaOH}$  foi determinada a concentração rigorosa da solução utilizando a seguinte expressão:

$$2 \times C_{\text{solução}} \times V_{\text{pipetado}} = C_{\text{NaOH}} \times V_{\text{gasto}}$$

Substituindo a equação pelos valores calculados obteve o seguinte valor de concentração:

$$2 \times C_{\text{solução}} \times 10,00 = 0,1548 \times 3,10$$

$$C_{\text{solução}} = 0,02399 \text{ mol/L}$$

#### ✓ **Determinação da percentagem de azoto total**

Para determinar a percentagem de azoto total foi efetuada uma titulação com a solução padronizada. A seguir encontra-se a expressão usada para determinar a percentagem de azoto total:

$$\%N = \frac{(V_{\text{gasto amostra}} - V_{\text{gasto branco}}) \times 2 \times 14 \times C_{\text{solução}}}{m_{\text{amostra}}} \times 100$$

Como por exemplo, para o lote 112 foi pesada uma massa de 1,0314 g e gasto um volume de 0,40 mL, obtendo-se a seguinte %N:

$$\%N = \frac{(0,40 - 0,05) \times 2 \times 14 \times 0,02399}{1,0314} \times 100$$

$$\%N = 0,023 \%$$

✓ **Determinação da razão C/N**

Para determinar a razão C/N foi usada a seguinte expressão:

$$\text{Razão } \frac{C}{N} = \frac{\%COT}{\%N}$$

Como por exemplo, a razão C/N do lote 112 foi calculado da seguinte forma:

$$\text{Razão } \frac{C}{N} = \frac{15,12}{0,023}$$

$$\text{Razão } \frac{C}{N} = 663,2$$

✓ **Determinação da temperatura no teste de auto-aquecimento**

Para descobrir a temperatura máxima obtida pelo composto do lote 126 foi feito um ajuste polinomial de terceira ordem, que se apresenta de seguida.

$$T (^{\circ}\text{C}) = 0,1051 \times t (\text{dias})^3 - 2,0351 \times t (\text{dias})^2 + 10,647 \times t (\text{dias}) + 19,311$$

Como o ponto máximo de temperatura se encontrava entre o terceiro e o quarto dia foi feita uma substituição de valores para descobrir o ponto máximo que se encontra apresentado na Tabela F.2.

**Tabela F.2** - Valores de temperatura obtidos para os valores compreendidos entre o terceiro e o quarto dia, tendo-se assinalado a temperatura máxima atingida

t (dias)	T (°C)
3	35,8
3,1	35,9
3,2	36,0
3,3	36,1
3,4	36,1
3,5	36,2
3,6	36,2
3,7	36,2
3,8	36,1
3,9	36,1
4	36,1

### G. Composição química do Fe430b

A Tabela G.1 apresenta a composição química de um dos componentes existentes no material que constitui os *pulpers*.

**Tabela G.1** - Composição química do Fe430b

% C	% Mn	% P	% S	% N	% Cu
0,24	1,60	0,045	0,045	0,014	0,45

### H. Valores Máximos Admissíveis

Na Tabela H.1 estão fixados os valores máximos admissíveis dos teores "totais" de metais pesados, materiais inertes antropogénicos, pedras de granulometria superior a 5 mm no composto e valores máximos admissíveis relativos à concentração de microrganismos patogénicos para cada uma das classes estabelecidas nas especificações técnicas.

**Tabela H.1** - Valores máximos admissíveis para os teores "totais" de metais pesados, materiais inertes antropogénicos, pedras de granulometria superior a 5 mm no composto e concentração em microrganismos patogénicos, para as diferentes classes (DGAE, 2008)

	Classe I	Classe II	Classe IIa	Classe III
<b>Cádmio (mg/kg)</b>	0,7	1,5	3	5,0
<b>Chumbo (mg/kg)</b>	100	150	300	500
<b>Cobre (mg/kg)</b>	100	200	400	600
<b>Crómio (mg/kg)</b>	100	150	300	600

<b> Mercúrio (mg/kg)</b>	0,7	1,5	3	5,0
<b> Níquel (mg/kg)</b>	50	100	200	200
<b> Zinco (mg/kg)</b>	200	500	1000	1500
<b> Materiais Inertes Antropogénicos (%)</b>	0,5	1,0	2,0	3,0
<b> Pedras &gt; 5 mm (%)</b>	5,0	5,0	5	-
<b> <i>Salmonella spp.</i></b>	Ausente em 25g	Ausente em 25g	Ausente em 25g	Ausente em 25g

---