



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE PAISAGEM, AMBIENTE E ORDENAMENTO

**Análise da qualidade do composto produzido na unidade de
Tratamento Mecânico e Biológico da GESAMB**

Helena Isabel Rodrigues Barradas

Orientação: Professora Doutora Maria Elmina Gouveia Barreira
Lopes

Mestrado em Qualidade e Gestão do Ambiente

Área de Especialização: *Ecologia e Gestão Ambiental*

Dissertação

Évora, 2015



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE PAISAGEM, AMBIENTE E ORDENAMENTO

**Análise da qualidade do composto produzido na unidade de
Tratamento Mecânico e Biológico da GESAMB**

Helena Isabel Rodrigues Barradas

Orientação: Professora Doutora Maria Elmina Gouveia Barreira
Lopes

Mestrado em Qualidade e Gestão do Ambiente

Área de Especialização: *Ecologia e Gestão Ambiental*

Dissertação

Évora, 2015

“Se você tem metas para um ano, plante arroz. Se você tem metas para 10 anos, plante uma árvore. Se você tem metas para 100 anos, então eduque uma criança. Mas se você tem metas para 1000 anos, então preserve o meio Ambiente.”

Confúcio

“Quando a última árvore cair, derrubada; quando o último rio for envenenado; quando o último peixe for pescado, só então nos daremos conta de que dinheiro é coisa que não se come.”

Índios da Amazônia

Agradecimentos

À professora Elmina Lopes, a minha orientadora de dissertação, por todo o seu apoio, orientação e disponibilidade, sem si seria impossível.

À professora Ana Paula Pinto, por todo o apoio que prestou na realização de contactos e pela disponibilidade.

À GESAMB, em nome da possibilidade que me deu de aceder ao material de estudo, e em particular, um muito obrigado à Eng.^a Ana Silva (da GESAMB) e à Eng.^a Isabel Fernandes (da METROCOMPOST), pois foram incansáveis em todo o processo, recebendo-me sempre de braços abertos e com toda a disponibilidade para o que fosse necessário. Um obrigado ainda à D. Emília Ferreira pela visita guiada às instalações da empresa.

À D. Maria José do Laboratório de Ecologia Aquática, da Universidade de Évora, pela sua disponibilidade e apoio.

À D. Aida do Laboratório de Química, da Universidade de Évora, pelo apoio dado. A todo o pessoal responsável pelo Laboratório de Biogeoquímica Ambiental do Colégio Pedro da Fonseca, da Universidade de Évora, em particular à Prof^a Rita Fonseca.

Ao Laboratório Hércules, da Universidade de Évora, em particular ao Pedro e à Anne-France.

Ao Departamento de Geociências da Universidade de Évora pelo empréstimo de material indispensável à realização deste estudo.

Ao meu coordenador de mestrado, o professor Pedro Anastácio pelo apoio dado para levar este tema avante, tal como ao secretariado do DPAO.

Aos meus pais, sem vocês nada disto era possível, são o meu maior apoio, Obrigado!

À minha família, que sei que sempre esteve lá atrás dos bastidores a torcer por mim.

Ao meu namorado, que naqueles momentos de desespero e de cansaço sempre teve uma palavra de incentivo e de carinho, isto é mais um projecto a que me dediquei por nós dois e pelo nosso futuro.

Aos meus amigos do coração, que sei que sempre acreditaram em mim, em especial à minha estrelinha, sei que também tiveste mão nisto, mesmo não estando presente.

Por último, obrigado Luna, pelo carinho e também pela atenção exigida naqueles momentos que não eram propícios a tal, mas que ajudavam a dar um novo alento.

Resumo

O objectivo deste trabalho consiste na análise preliminar da qualidade do composto produzido na fase de testes da unidade de TMB da GESAMB.

Efectuaram-se recolhas ao composto já maturado (a matéria orgânica foi degradada) e realizaram-se análises laboratoriais às propriedades físico-químicas.

Os resultados obtidos revelam que a compostagem ainda não é totalmente eficiente, pois o composto ainda não se encontra estabilizado (a matéria orgânica ainda é susceptível à degradação) apesar de maturado.

Contudo apresenta boa porosidade e um pH que permite um bom crescimento das plantas embora apresente elevada concentração de materiais inertes antropogénicos e de pedras.

A concentração de minerais demonstra que o mesmo está apto para o desenvolvimento das plantas.

Todos os metais analisados apresentam valores de concentração que podem ser enquadrados nas classes estabelecidas.

O composto é classificado na classe III, só podendo ser usado em culturas agrícolas que não sejam destinadas a consumo humano ou animal.

Analysis of the quality of the compost produced in the mechanical treatment unit and the Biological of GESAMB

Abstract

The objective of this work is the preliminary analysis of the quality of the compost produced in the testing phase TMB unit of GESAMB.

Compound collections were made already matured (organic matter was degraded) and they were carried out laboratory tests to physicochemical properties

The results show that the compost is still not completely efficient since the compound is not yet stabilized (the organic matter is still susceptible to degradation) despite matured.

However exhibits good porosity and a pH which allows good growth of plants although it presents a high concentration of foreign materials and stones.

The mineral concentration shows that it is suitable for the growth of plants.

All analyzed metals have concentration values that can be framed in the established classes.

Like this, the compound can be rated in class III, it can only be used in crops which are not intended for human or animal consumption

Abreviaturas e Simbologia Utilizadas

AE – Amostra de ensaio

AMARSUL - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos S.A da Margem Sul do Tejo

ANR – Autoridade Nacional de Resíduos

APA – Agência Portuguesa de Ambiente

C – Concentração da diluição original

C_a – Concentração da amostra seca

CAE – Composto afinado e estabilizado

CAI – Composto produzido a partir de resíduos agro-industriais

CE – Comissão Europeia

CEE – Comunidade Económica Europeia

CDR – Combustível derivado de resíduos

CL – Composto produzido a partir de lamas

cm³ – Centímetro cúbico

C/N – Razão Carbono/Azoto

CRO – Composto produzido a partir de uma fracção orgânica de resíduos sólidos urbanos

CRS – Composto produzido a partir de resíduos sólidos urbanos da AMARSUL S.A.

CRV1/CRV2 – Composto produzido a partir de resíduos verdes de parques e jardins

C₂₀ – Diluição 20x da solução original

C₆₀ – Diluição 60x da solução original

DP – Desvio padrão

dS.m⁻¹ – Decisiemens por metro

ENRRUBDA – Estratégia Nacional para o desvio de Resíduos Urbanos Biodegradáveis em Aterro

ETAR – Estação de tratamento de águas residuais

FCQAO - Federal Compost Quality Assurance Organization

F_s – Teor de materiais inertes antropogénicos

g - gramas

g/cm³ – Grama por centímetro cúbico

GEE – Gases de efeito de estufa

GESAMB - Gestão Ambiental e de Resíduos

HACCP – Hazard analysis and critical control point

ICP-AES (*Induced coupled plasma atomic spectroscopy*) – Espectroscopia atômica de plasma induzido

ICP-MS (*Inductively coupled plasma mass spectrometry*) - Espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente

I (corr) – Contagens de ICP, corrigido para zero

kg - Kilograma

kg/dm³ – Quilograma por decímetro cúbico

kg/m³ – Quilograma por metro cúbico

LER – Lista Europeia de Resíduos

LQARS – Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva

mm - milímetros

mf – Massa fresca

M_{FS} - Pedras

mg - Miligramas

mg/kg – Miligramas por quilograma

mg/l – Miligramas por litro

ml - mililitro

MO – Matéria orgânica

m_s – Massa seca

M_{ST} – Materiais inertes antropogénicos

m:V – Massa: Volume

NMP/g – Número mais provável de microorganismos por grama

PERSU – Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos

P_{Tot} – Massa total

RARU – Relatório Anual de Resíduos Urbanos

RBA – Resíduos biodegradáveis em aterro

RU – Resíduos urbanos

RUB – Resíduos urbanos biodegradáveis

SGRU – Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos

S_t – Teor de pedras

TMB- Tratamento mecânico e biológico

TMECC – Test method for the examination of composting and compost

UNE-EN – Una Norma Española: European standard

USCC – United States Composting Council

% m/m – Percentagem massa em relação a massa

Índice Geral

Capítulo1 – Introdução	19
Capítulo 2 – Enquadramento teórico	23
2.1 Compostagem	23
2.2 Utilização do composto na agricultura	25
2.3 Características do composto	26
2.4 Atribuição do rótulo ecológico	32
2.4.1 Informações que deve conter o rótulo ecológico	33
2.5 Enquadramento legal dos resíduos em Portugal	34
2.5.1 Caracterização física e classificação dos resíduos urbanos	34
2.5.2 Sistemas de Gestão e infraestruturas	34
2.5.2.1 Plano estratégico para os resíduos sólidos e urbanos: PERSU 2020	35
2.5.3 Relatório anual de resíduos urbanos: RARU 2013	36
2.5.4 Caracterização física dos resíduos urbanos	37
2.5.5 Produção de composto a partir de resíduos de materiais recicláveis resultantes do tratamento de resíduos urbanos	38
2.6 Unidade de TMB da GESAMB	38
2.6.1 Processo de compostagem	39
2.7 Enquadramento do trabalho	40
Capítulo 3 - Técnicas e métodos	45
3.1 Recolha da amostra	45
3.2 Parâmetros físico-químicos	47
3.2.1 Granulometria da amostra húmida	47
3.2.2 Preparação da amostra húmida para determinação da massa volúmica aparente	47
3.3 Determinação do valor de pH e de condutividade eléctrica	47
3.3.1 Preparação da solução aquosa de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	48
3.3.2 Preparação da amostra para determinação do valor de pH e de condutividade eléctrica	48
3.4 Determinação do conteúdo de matéria seca e do conteúdo de humidade	49

3.5 Granulometria da amostra seca: materiais inertes antropogénicos e pedras	49
3.6 Preparação da amostra de ensaio	49
3.6.1 Preparação das amostras de ensaio para análises posteriores.....	50
3.7 Razão Carbono/Azoto	51
3.8 Análise de elementos minerais	52
3.9 Análise de metais pesados	52
Capítulo 4 - Apresentação e discussão dos resultados	55
4.1 Massa volúmica aparente	55
4.2 Granulometria: amostra húmida	56
4.3 Condutividade eléctrica e pH	58
4.4 Determinação do conteúdo de matéria seca e do conteúdo de humidade	59
4.5 Granulometria da amostra seca: materiais inertes antropogénicos e pedras	61
4.6 Razão C/N	64
4.7 Análise de elementos minerais	66
4.8 Análise de metais pesados: Metais pesados obrigatórios no quadro de controlo de qualidade	67
4.8.1 Metais pesados obrigatórios no quadro do controlo de qualidade	67
4.8.2 Determinação do Arsénio e do Manganês	69
4.9 Comparação entre o composto estudado e outros parâmetros publicados	70
Capítulo 5 - Conclusão e Sugestões	75
Referências Bibliográficas	79
Anexos	87
A I – Esquema da unidade de TMB da GESAMB	88
A II – Listagem dos resíduos que podem ser utilizados para a produção de composto	89
A III – Granulometria da amostra húmida	92
A IV – Determinação do conteúdo de matéria seca e do conteúdo de humidade	93

A V – Granulometria da amostra seca: materiais inertes antropogénicos e pedras	94
A VI – Elementos minerais	96
A VII – Metais pesados	99

Índice de Figuras

Figura 2.1 - Elementos químicos e sua importância para o solo e plantas	26
Figura 2.2 – Quantidade de RU produzidos em Portugal entre 2011-2013	36
Figura 2.3 - Distribuição relativa dos destinos (directos) dos RU entre 2010 e 2013 em Portugal Continental	37
Figura 2.4 – Caracterização Física dos RU produzidos em Portugal em 2013	37
Figura 2.5 – Produção de Composto a partir de Recolha de RUB entre 2010 e 2013	38
Figura 3.1 – Esquema de um corte numa pilha de composto, com os respectivos pontos de amostragem, em três profundidades diferentes	46
Figura 4.1 – Granulometria da amostra húmida: fracções retidas nos crivos (gramas)	56
Figura 4.2 – Granulometria da amostra húmida em % (m/m)	57
Figura 4.3 - Teor de humidade (%) das sub-amostras CAE 001-1 e CAE 002-1 após 120h de secagem	60
Figura 4.4 – Massa total das fracções retidas nos crivos da amostra CAE 001-1 (gramas)	61
Figura 4.5 – Massa total das fracções retidas nos crivos da amostra CAE 001-2 (gramas)	61
Figura 4.6 – Massa total das fracções retidas nos crivos da amostra CAE 002-1 (gramas)	62
Figura 4.7 - Massa total das fracções retidas nos crivos da amostra CAE 002-2 (gramas)	62
Figura 4.8 – Materiais inertes antropogénicos (MFs > 2 mm e), pedras (MSt > 5 mm) e restante composto (RC) em % (m/m) presente nas sub-amostras.....	64

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 – Concentração de minerais típica para o crescimento das plantas ...	29
Tabela 2.2 - Valores máximos admissíveis para os teores “totais” de materiais inertes antropogénicos, pedras de granulometria superior a 5 mm no Composto (valores reportados à matéria seca) e valores máximos admissíveis relativos à concentração em microrganismos patogénicos (valores reportados à matéria fresca)	30
Tabela 2.3 - Valores máximos permitidos para o teor de metais pesados (fracção solúvel em água régia) num composto	31
Tabela 2.4 - Teor total máximo de metais pesados regulamentado (mg Kg^{-1} de matéria seca)	33
Tabela 2.5 – Parâmetros que devem ser analisados de acordo com o manual de HACCP da GESAMB	41
Tabela 2.6 - Métodos utilizados para a análise laboratorial do composto	42
Tabela 4.1 – Massa volúmica aparente de cada sub-amostra e massa volúmica média	55
Tabela 4.2 – Valores da condutividade eléctrica e de pH	58
Tabela 4.3 - Materiais inertes antropogénicos (MFs > 2 mm e), pedras (MSt > 5 mm) e restante composto (RC) em % (m/m) presente nas sub-amostras.....	63
Tabela 4.4 – Concentração em percentagem de Carbono e de Azoto determinada nas amostras do composto	65
Tabela 4.5 – Concentração de Cálcio, Cádmiu, Magnésio, Sódio e Potássio determinada no composto	66
Tabela 4.6 – Concentração de metais pesados no composto determinada por ICP-AES	68
Tabela 4.7 – Concentração de Arsénio e de Manganês no composto determinada por ICP-AES	69
Tabela 4.8 – Parâmetros publicados para diversos tipos de composto	72
Tabela 4.9 – Comparação entre o estudo realizado por Gonçalves e Santos (2003) e este estudo	74

Capítulo 1 – Introdução

No panorama actual, a produção de resíduos é uma consequência de várias actividades, sejam elas industriais ou domésticas, praticadas pela nossa sociedade, sendo um resíduo definido como “*qualquer substância ou objecto de que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou a obrigação de se desfazer*” (Decreto-lei nº 73/2011) ou ainda, no caso dos resíduos urbanos (vulgo domésticos), “*resíduo proveniente de habitações, bem como outro resíduo que, pela sua natureza ou composição, seja semelhante ao resíduo proveniente de habitações*” (Decreto-Lei n.º 73/2011).

A produção de resíduos começa logo no momento em que os recursos são extraídos da natureza e prossegue até à fase em que os produtos e materiais que foram gerados desses recursos deixam de ter utilidade. O problema daqui resultante não se centra apenas na produção de resíduos, embora o seu volume possa e deva ser reduzido, centra-se sim, no destino que é dado aos resíduos, o que presentemente, ainda não é realizado de forma eficiente, pois a grande maioria dos resíduos produzidos são devolvidos aos ecossistemas, sem terem sido tratados, isto é, no seu estado bruto, causando impactos ambientais deveras graves.

Dentro do grande volume de resíduos produzidos, os resíduos urbanos são os que têm suscitado mais atenção por parte das entidades competentes, dado o enorme volume produzido, cerca de 4,8 milhões de toneladas, só em 2012, isto é, aproximadamente 34% do volume total de resíduos produzidos (PERSU, 2020).

A questão que mais preocupa em relação à gestão de resíduos urbanos é a sua deposição em aterro, devido ao enorme impacto ambiental que gera. Estima-se que no ano de 2012 em Portugal tenham sido produzidos 14,3 milhões de toneladas de resíduos, o que corresponde a cerca de 1,35 toneladas/habitante/ano. Destes, apenas 69% foram encaminhados para operações de valorização. Ainda em 2012, no nosso país, a deposição em aterro gerou emissões de gases de efeito de estufa (GEE) de cerca de 2,6 milhões de Toneladas de CO₂ equivalentes, isto é, 3,8% das emissões totais de GEE estimadas para esse ano a nível nacional (PERSU, 2020).

Uma das principais metas ambientais a atingir é diminuir estas deposições em aterro através de métodos de valorização dos resíduos urbanos, algo amplamente definido por normas europeias e nacionais, dado que grande parte dos mesmos é valorizável, como por exemplo, os resíduos verdes, o vidro, a madeira, o cartão, o plástico e o metal.

Dentro da valorização dos RU, a valorização orgânica (de resíduos biodegradáveis) tem particular importância, dado que diminui em muito o volume de resíduos depositados em aterro. Assim, têm vindo a ser implementados em todo o território nacional, unidades de tratamento mecânico e biológico (TMB), que têm como principal objectivo a separação dos resíduos biodegradáveis presentes nos resíduos urbanos indiferenciados, com vista à sua valorização. Os principais destinos destes resíduos separados pela TMB é a produção de composto e de combustíveis derivados de resíduos urbanos (CDR). Estes últimos são uma fonte de energia limpa e produzida a partir do aproveitamento de recursos endógenos de forma sustentável.

O composto tem como fim a posterior comercialização e utilização como correctivo orgânico de solos, promovendo assim um aumento da produtividade dos solos nacionais. De facto, um dos problemas dos nossos solos é o facto de os mesmos serem pobres em matéria orgânica (MO), perdida ao longo de vários anos, em parte devido à fertilização intensiva e extensiva dos solos com fertilizantes químicos.

Todos os resíduos domésticos que contenham uma fracção orgânica podem ser utilizados para produzir composto, tais como, cascas de frutos e restos de vegetais, relva e aparas resultantes da poda de árvores e arbustos (Anónimo, 2008).

No documento, *“Especificações Técnicas sobre Qualidade e Utilizações do Composto”* (Anónimo, 2008) é referenciado de forma detalhada a listagem dos resíduos que podem ser utilizados para produzir composto, este documento encontra-se no anexo II deste trabalho.

A unidade de tratamento mecânico e biológico (TMB) é um processo modular e flexível. O TMB permite várias opções, de acordo com o que se pretende complementar o sistema ou com as necessidades da gestão. Permite processar resíduos indiferenciados e refugos ou rejeitados de outros processos de tratamento

(PERSU II, 2007), tendo-se tornado a forma de tratamento que parece ser a que melhor se adequa aos objectivos de redução da deposição em aterro.

O sistema TMB permite ainda recuperar materiais para reciclagem (metais, papel e plástico). Pode também proceder a estabilização de resíduos fermentáveis, pelo processo de digestão anaeróbia ou compostagem, através da sua degradação prévia e pela redução de gases de efeito de estufa e suas respectivas emissões, no caso de necessidade da sua deposição em aterro, sendo antes sempre colocada primeiro a hipótese da sua valorização como correctivo de matéria orgânica de solos agrícolas. Permite ainda a produção de combustível derivado de resíduos (PERSU II, 2007).

Todo este processo vem reforçar os objectivos do desvio de aterro, em paralelo com a reciclagem (PERSU II, 2007).

Por tudo o que foi referido anteriormente é de todo pertinente o trabalho que foi desenvolvido e de seguida descrito a esta unidade da GESAMB, dado que a mesma foi implementada e entrou em funcionamento à relativamente pouco tempo (2013). Mais ainda, sobre a primeira produção de composto ainda não tinham sido realizadas qualquer tipo de análises à qualidade, algo obrigatório e previsto legalmente.

Assim sendo, este trabalho vai incidir essencialmente na análise à qualidade do primeiro composto produzido na unidade de tratamento mecânico e biológico da GESAMB.

Capítulo 2 – Enquadramento teórico

2.1 Compostagem

O processo de compostagem, ou processos semelhantes, tem origem com as primeiras práticas agrícolas realizadas pelo homem, desde que este iniciou a prática da exploração dos solos para produção de alimentos. Na época do Império Romano, na Europa, o composto de resíduos orgânicos era utilizado para melhorar a fertilidade dos solos, tendo-se tornado muito utilizado na Idade média pelos agricultores (Parr & Hornick, (1992) como citado em Silva, Chitolina, Grossi, Gomes & Lupinacci, 2007). A sua utilização sofreu um retrocesso durante a revolução industrial no século XVII (Silva et al., 2007)

Foi no século XX, que o agrónomo inglês sir Albert Howard mostrou o tipo de compostagem que tinha aprendido quando trabalhou na Índia, nos anos 20 e 30, através de vários trabalhos, entre eles, “The Waste Products of Agriculture” em 1931 e “An Agricultural Testament” de 1939. A partir deste momento, a compostagem foi difundida por todo o ocidente (Inácio, 2009), com excepção de uma nova quebra na sua utilização após a 2ª Guerra Mundial, devido ao enorme crescimento e difusão da produção de fertilizantes químicos (Silva et al., 2007).

A compostagem é baseada nos conhecimentos adquiridos do estudo da evolução dos processos de decomposição ou humificação da matéria orgânica, de modo a criar condições na massa de resíduos, que possam permitir o desenvolvimento adequado dos microorganismos que levam a cabo a decomposição aeróbia, controlando factores nutricionais e ambientais, de modo a conseguir uma optimização das condições de vida desses microorganismos durante todo o processo (Gonçalves, 2005).

O processo de compostagem, ou de digestão anaeróbia seguida de compostagem, elaborado com resíduos adequados e em condições controladas, é determinante para a valorização de resíduos orgânicos biodegradáveis, num composto agrícola e ambiental de excelência (Inácio, 2009), podendo afirmar-se que é praticamente indispensável para o desenvolvimento sustentável, pois representa a reciclagem dos nutrientes que nos alimentam, da matéria orgânica que promove a vida nos solos e por consequência a sua capacidade de produção.

É enorme a diversidade, a quantidade, a qualidade e a complexidade dos substratos que são potenciais para o processo de compostagem, embora a grande maioria sejam resíduos orgânicos e biodegradáveis de origem agro-pecuária, agro-industrial e urbana. Os resíduos, que podem ser utilizados na produção de composto, podem ser analisados em pormenor no anexo II deste trabalho.

A compostagem em grande escala consiste essencialmente no empilhamento dos resíduos orgânicos de modo a permitir a conservação do calor no interior da massa dos resíduos, com o objectivo de promover a actividade dos microorganismos mesófilos e dos termófilos, pois são os mais eficientes na decomposição da matéria orgânica, desenvolvendo-se maioritariamente a temperaturas na faixa dos 15°C aos 45°C e dos 45°C e os 60°C, respectivamente. Tem ainda como objectivo, promover as condições necessárias à inactivação dos microorganismos patogénicos e parasitas, dado que estes são altamente sensíveis a temperaturas elevadas (GESAMB, 2013).

O processo detalhado de compostagem realizado na GESAMB pode ser consultado no ponto 2.6.1 deste capítulo.

Assim, e por tudo isto, a compostagem é também uma questão de eficiência ecológica, pois reciclar os resíduos orgânicos pelo processo de compostagem, para além dos benefícios em termos agrícolas, também se podem observar benefícios ambientais, nomeadamente no decréscimo de deposição em aterro, da sua eventual consequência no efeito de estufa e nos efluentes, que uma vez contaminados, são potenciais vectores de doenças (Inácio, 2009).

Recentemente um estudo realizado no âmbito de uma dissertação de mestrado da Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, vem reforçar o papel da compostagem em termos ambientais e ecológicos. Segundo esta investigação, é possível ajudar a travar a expansão de plantas invasoras, nomeadamente a *Acacia longifolia* e a *Acacia melanoxylon* após a ocorrência de incêndios (altura em que as mesmas se tendem a expandir) através da sua utilização na produção de composto. Para além disso, o composto pode servir de correctivo orgânico do solo, por todas as suas características e porque após serem atingidas temperaturas elevadas, na ordem dos 65°C, as sementes das acácias em questão perdem a sua viabilidade (Mendes J., 2011).

2.2 Utilização do composto na agricultura

A matéria orgânica (MO) é um componente essencial do solo, pois tem um papel fundamental na manutenção das suas funções, isto é, na estrutura e estabilidade, na retenção de água, na biodiversidade e ainda como fonte de nutrientes para as plantas (Jones *et al.*, 2012).

O principal constituinte da MO é o carbono e resulta de resíduos de plantas e animais transformados por micróbios e decompostos sob a influência da temperatura e humidade (Jones *et al.*, 2012).

Aproximadamente 45% dos solos europeus, têm um teor baixo ou muito baixo de MO, ou seja entre 0 e 2% de carbono e outros 45% possuem um teor médio de cerca de 2-6%. No sul da Europa, 74% da terra tem solos com menos de 2% de teor de MO na sua camada limite (0-30 cm de profundidade). Em Portugal, 70% dos solos têm um teor de MO abaixo de 1%, o que não consegue garantir a natural actividade biológica do solo (Jones *et al.*, 2012).

O baixo teor de matéria orgânica é resultado de vários factores, mas quase todos eles estão relacionados com acções antropogénicas, sendo um dos principais, o uso excessivo de fertilizantes, que aumentam o teor de azoto nos solos e que por sua vez, causa a mineralização do carbono orgânico e leva também à perda de carbono.

Uma forma de resolver este problema, é regenerar a fertilidade dos solos, aumentando o teor de matéria orgânica no solo, através de correctivos orgânicos, como o composto, derivado do processo de compostagem. Estes compostos podem ser utilizados na agricultura de forma segura e eficiente, desde que se encontrem estabilizados, isto é, quando a matéria orgânica original, foi totalmente convertida numa forma mais resistente à degradação, e ainda, quando apresentem quantidades mínimas de toxicidade e de contaminantes (Luciana Barreira, Arlindo Júnior, Mário Rodrigues, 2006).

Estes compostos reforçam o solo com diversos nutrientes, entre eles, o azoto, que pode por vezes encontrar-se totalmente sob a sua forma orgânica, de acordo com o grau de decomposição ou mineralização que o composto sofreu (Dias, 2004).

Por ser um produto com elevado valor energético e rico em nutrientes, é constituído por uma diversificada população microbiana, o que ajuda à melhoria das

características físico-químicas do solo e ainda à melhor absorção dos nutrientes por parte das plantas, ou até mesmo a protege-las de doenças provocadas por microorganismos patogénicos e parasitas, que se desenvolvem no solo (Gonçalves, 2005). Podemos verificar a importância de alguns elementos químicos importantes para o solo e para as plantas e que se encontram presentes no composto na figura seguinte (figura 2.1).

Elemento	Símbolo	Função
Nitrogénio	N	Formação de proteínas e crescimento da planta.
Fósforo	P	Pouco consumido pelas plantas; se fixa facilmente no solo, precisando de meio ácido para reagir. Estimula o crescimento de raízes, sementes e frutos.
Potássio	K	Regula a entrada e a saída de água na planta e ajuda na absorção de outros nutrientes.
Cálcio	Ca	Atua na formação das células; está presente em grande quantidade na parede celular das células vegetais; participa dos processos regulatórios da planta.
Magnésio	Mg	Atua na fotossíntese; ajuda no transporte de fósforo e outros elementos.
Enxofre	S	Faz parte das proteínas; melhora a absorção dos nutrientes nas raízes.
Molibdénio	Mo	Estimula o desenvolvimento das raízes.
Zinco	Zn	Formação de brotos, produção de hormónios.
Ferro	Fe	Formação da clorofila.
Manganés	Mn	Ativador da formação de vitaminas na planta; aumenta a resistência às pragas e doenças; ativa o aroma e sabor; ajuda no transporte de nutrientes; aumenta a resistência da planta à variação climática.
Cobre	Cu	Aumenta a resistência à seca; juntamente com o Ferro e o Magnésio ajuda na formação da clorofila.
Boro	B	Formação do pólen; participa na resistência física das plantas, deixa as folhas e ramos mais rígidos.

Figura 2.1 - Elementos químicos e sua importância para o solo e plantas. Fonte: Sartori, Ribeiro, Pauletti, Pausera, Rupp, Venturin (2012).

Pode-se ainda acrescentar que ao se utilizar composto em vez de adubos químicos se pode minimizar a poluição de efluentes, que eram contaminados directa e indirectamente pelo uso dos mesmos (Inácio, 2009).

2.3 Características do composto

Um composto pode ser classificado como maturado ou estabilizado, contudo, são classificações distintas. Ambas as classificações estão relacionadas com a actividade de microorganismos na presença ou ausência de fitotoxicidade, embora não indiquem a quantidade de matéria orgânica que foi decomposta, são apenas indicadores da qualidade de um composto (Adani (2000, como citado em Santos, J., 2007)). Assim, um composto maturado é um composto que resulta de um processo de compostagem em que toda a sua fracção orgânica se encontra

higienizada e em que a fase de humidificação já se encontra adiantada, sendo então a sua potencialidade de decomposição reduzida (Gonçalves e Batista (2001, como citado em Santos, J., 2007)). Já um composto estabilizado é um composto em que a oxidação dos seus materiais orgânicos está menos susceptível à degradação, e como tal mais estável, embora ainda possa ocorrer alguma degradação, esta será sempre muito inferior à que ocorre no início do processo (Haug (1980 como citado em Santos, J., 2007)). Apesar desta distinção, os conceitos, maturado e estabilizado, convergem para o mesmo. Assim pode-se afirmar que um composto não está maturado ou estabilizado quando não se encontra afinado.

Um composto para ser utilizado em agricultura, deve possuir um teor de humidade entre 35-40%, pois abaixo deste valor pode ou não encontrar-se totalmente estabilizado, devido ao seu valor de humidade ser reduzido. No início do processo, o teor de humidade do substrato deve variar entre 50-55%, não devendo atingir valores abaixo de 40%, dado que isso pode afectar a actividade dos microorganismos, acabando mesmo por cessar essa actividade quando se atingem valores de humidade inferiores a 12%. (Diaz et al., (1993 como citado em Gonçalves, M.S., 2005)).

Além disso, 99% do material que o compõe deve passar num crivo granulométrico, de malha quadrada, de 25 mm, deixando uma margem de apenas 1% para materiais inertes e antropogénicos.

Um parâmetro extremamente importante é a relação Carbono/Azoto (C/N). Esta relação é amplamente utilizada para uma melhor compreensão da evolução dos materiais envolvidos no processo de compostagem. O carbono e o azoto são os elementos mais importantes para que os microorganismos possam decompor a matéria orgânica. Deste modo, a razão C/N é a referência para o grau de maturação de um composto (Epstein, 1997), dado que derivado à contínua reciclagem do azoto e do consumo de carbono, esta razão vai diminuindo com o decorrer do processo, conforme as características dos resíduos (Gonçalves e Santos (2003, como citado em Gonçalves, Manuel S. 2005)). Assim, de acordo com alguns autores, a relação C/N no final do processo deve ser da ordem de 20-40 (Abad et al. (1993 como citado em Cunha-Queda, 2007)). No caso de a relação

C/N ser inferior a 20, o carbono é totalmente utilizado sem que ocorra a completa utilização do azoto, e por consequência, acaba por ser perdido na forma de amoníaco, por lixiviação ou volatilização. Ao invés, se a razão C/N for superior a 40, o crescimento dos microorganismos é retardado por falta de azoto, levando a uma degradação do carbono (Coelho, 2007). Contudo, outros estudos apontam outros valores em relação à razão C/N, nomeadamente o estudo efectuado pelo Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva (LQARS) a compostos produzidos em várias estações de compostagem em Portugal. Este estudo revela que a razão C/N em compostos produzidos a partir de RSU encontra-se entre 11-23,2 (Gonçalves e Santos (2003, como citado em Gonçalves, Manuel S. 2005)).

O pH do composto deve encontrar-se entre 5,5 e 8,5 (Anónimo, 2008), isto é, não deve ser nem muito ácido nem muito alcalino, de modo a que não impeça o crescimento das plantas. Pode também ser tido como um indicador de maturação do composto, pois no início do processo de compostagem, o pH é ligeiramente ácido, devido à libertação de ácidos orgânicos, e no decorrer do processo sobe até se tornar alcalino, por libertação do amoníaco produzido pela decomposição de proteínas (Coelho, 2007). Contudo, nos processos de compostagem não é um parâmetro considerado crítico, pelo facto de as populações microbiológicas envolvidas conseguirem existir numa gama alargada de pH e porque este é auto regulado nos processos de compostagem (Pereira Neto (1987 como citado em Fernandes, 1999, p.41).

A condutividade eléctrica apesar de não revelar informação sobre as classes de sais presentes no composto revela a presença dos mesmos no composto e isso depende também da natureza da matéria-prima e ainda da lixiviação que ocorre durante o processo (Reis (1997 como citado em Coelho, L.. 2007)). A informação da presença de sais tem importância pelo facto de alguns aniões ou catiões, serem paralelamente nutrientes, nomeadamente o Ca^{2+} (Cálcio), Mg^{2+} (Magnésio), SO_4^{2-} (Sulfato) ou o NO_3^- (Nitrato). Já o Cl^- (Cloro) e o B^- (Boro) podem ser tóxicos para as plantas, quando se encontram em concentrações elevadas. A condutividade eléctrica diminui ao longo do processo de compostagem, podendo esse facto ser utilizado como referência para o grau de maturação do composto. Os valores, para

uma condutividade eléctrica apropriada à germinação das sementes e crescimento das plântulas deve estar compreendidos entre 0,75 e 1,99 dS.m⁻¹ (no extracto de saturação do substrato) (Pereira Neto (1987 como citado em Fernandes, 1999, p.41). (Abad *et al.* (2004) como citado em Coelho, 2007, p.9).

Em relação aos elementos minerais, há que ter em conta que apesar dos mesmos serem importantes para um desenvolvimento saudável das plantas, existem limites mínimos para a sua concentração. Assim sendo, a concentração dos elementos essenciais nas plantas pode exceder a concentração crítica, ou seja, a concentração mínima necessária para o seu crescimento, embora possa haver variação de uma espécie para outra.

A tabela 2.1 fornece alguma informação acerca das necessidades gerais das plantas em termos de macro e micronutrientes.

Tabela 2.1 - Concentrações típicas para o crescimento das plantas.

Fonte: Epstein, E., 1965.

Elemento	Símbolo	mg/kg	Percentagem
Nitrogénio	N	15.000	1,5
Potássio	K	10.000	1,0
Cálcio	Ca	5.000	0,5
Magnésio	Mg	2.000	0,2
Fósforo	P	2.000	0,2
Enxofre	S	1.000	0,1
Cloro	Cl	100	--
Ferro	Fe	100	--
Boro	B	20	--
Manganês	Mn	50	--
Zinco	Zn	20	--
Cobre	Cu	6	--
Molibdénio	Mo	0.1	--

Nota: As concentrações referidas, em mg/kg e em percentagem são baseadas no peso de matéria seca.

Importante também e a ter em conta é a questão dos materiais inertes antropogénicos e das pedras.

São também referidas as bactérias *Salmonella spp* e da *Escherichia coli*.

Existem valores máximos admissíveis para estes parâmetros, e consoante estes valores, o composto é classificado em classes, que vão da classe I à classe III.

Na tabela 2.2 são apresentados os valores máximos admissíveis para os parâmetros referidos anteriormente.

Tabela 2.2 - Valores máximos admissíveis para os teores “totais” de materiais inertes antropogénicos*, pedras de granulometria superior a 5 mm no Composto (valores reportados à matéria seca) e valores máximos admissíveis relativos à concentração em microrganismos patogénicos (valores reportados à matéria fresca).

Fonte: Anónimo, 2008.

Parâmetro	Composto			
	Classe I	Classe II	Classe II A	Classe III
Materiais inertes antropogénicos (%m/m)*	0,5	1,0	2,0	3,0
Pedras > 5 mm (%m/m)	5,0	5,0	5	-
<i>Salmonella spp.</i>	Ausente em 25 g	Ausente em 25 g	Ausente em 25 g	Ausente em 25 g
<i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	1000	1000	1000	1000

*Incluem vidro, metais e plásticos, com granulometria superior a 2 mm.

Notas: NMP é o número mais provável de microrganismos; Os teores totais correspondem à fracção solúvel em água-régia.

Um outro aspecto importante e crítico a ter em conta é a concentração de metais pesados. Esse aspecto é particularmente sensível quando o composto provém de resíduos sólidos urbanos, uma vez que é o que pode vir a ser mais difícil de afinar.

Um composto é classificado com base nas concentrações de metais pesados, em três classes de qualidade, podendo ser admitida uma quarta classe (classe IIA) (Anónimo, 2008).

A denominação de metal pesado, deriva do facto deste tipo de metal possuir uma densidade mais elevada em relação a outros elementos metálicos, isto é, são metais com densidades superiores a 5,0 g/cm³, entre eles encontram-se o Cádmiu (Cd), Cobalto (Co), Crómio (Cr), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Níquel (Ni), Chumbo

(Pb) e Zinco (Zn). Estes metais não são biodegradáveis e como tal, acumulam-se no meio ambiente e em quantidades que ultrapassam a capacidade de armazenamento e de efeito tampão do solo, contribuem para a deterioração ou mesmo para a perda de algumas das funções deste, levando por sua vez, à contaminação da cadeia alimentar.

O Arsénio (As) também foi analisado neste estudo, apesar de não ser um parâmetro obrigatório e não ser um metal pesado, mas sim um metalóide, é altamente tóxico e entra facilmente na cadeia alimentar, provocando danos (ou até mesmo morte) na saúde humana e animal quando consumido de forma continuada. A União Europeia aprovou normas muito restritas em relação à quantidade de metais pesados a que um composto orgânico deve obedecer, para uso em solos agrícolas.

Na tabela 2.3, estão compilados os limites para o conteúdo de metais pesados presentes em composto, devendo este ser sempre classificado na classe do seu metal pesado mais penalizante.

Tabela 2.3 - Valores máximos permitidos para o teor de metais pesados (fracção solúvel em água régia) num composto.

Working Document Biological Treatment of Biowaste (DG Env., 2001)				Especificações Técnicas sobre a Qualidade e Utilizações do Composto (Anónimo, 2008)				Proposta de Norma Técnica Sobre Qualidade e Utilizações do Composto (Gonçalves e Batista, 2005)		
Parâmetro (mg kg⁻¹ m.s.) *	Classe 1	Classe 2	RBE*	Classe I	Classe II	Classe IIA	Classe III	Classe I	Classe II	Classe III
Cd	0,7	1,5	5	0,7	1,5	3	5	0,7	1,5	5
Cr	100	150	600	100	150	300	400	100	150	600
Cu	100	150	600	100	200	400	600	100	200	600
Hg	0,5	1	5	0,7	1,5	3	5	-	-	-
Ni	50	75	150	50	100	200	200	100	100	200
Pb	100	150	500	100	150	300	500	100	150	200
Zn	200	400	1500	200	500	1000	1500	200	500	1500

(⁴) RBE – Resíduo biodegradável estabilizado; *m.s. – matéria seca, no caso do *Working Document Biological Treatment of Biowaste* (DG Env., 2001) os teores são normalizados a 30% de matéria orgânica e no caso da *Proposta de Norma Técnica Sobre Qualidade e Utilizações do Composto* (Gonçalves e Batista, 2005) a correcção do teor dos metais pesados é normalizada para 40% de matéria orgânica.

Assim, um composto de classe I e II pode ser utilizado na agricultura, enquanto o mesmo composto se for classificado como pertencente à classe II A, apenas pode ser aplicado em culturas agrícolas arbóreas e arbustivas, tais como, pomares, olivais, vinhas e em espécies silvícolas. Um composto de classe III tem a sua utilização restringida a solos onde não venha a ser implementada nenhuma cultura com destino alimentar, quer humano ou animal. Contudo, este composto de classe III pode ser utilizado por exemplo, para jardinagem, produção de flores, campos de futebol ou de golfe (Anónimo, 2008).

2.4 Atribuição do rótulo ecológico

De acordo com a Decisão da Comissão n.º 2006/799/CE de 24 de Novembro de 2006 os produtos para lhes serem atribuídos rótulos ecológicos devem conter as seguintes características:

- Se for proveniente de uma transformação e/ou reutilização de resíduos (de acordo com a Directiva 75/442/CEE do Conselho, de 15 de Julho de 1995, relativa aos resíduos) não devem conter lamas de depuração.
- O produto final (com granulometria superior a 2 mm) deve conter um teor de vidro, metal e plástico inferior a 0,5 %, em relação à matéria seca; a concentração de azoto inorgânico não deve exceder 20 % do N total (ou N orgânico => 80 %).

O teor máximo de metais pesados presentes num composto com rótulo ecológico e para produtos autorizados como fertilizantes e correctivos de solo, obtidos a partir da compostagem ou fermentação de resíduos domésticos (exclusivamente resíduos vegetais e animais) separados na origem e produzidos num sistema de recolha fechado e controlado, aceite pelo Estado-Membro, é especificado no Anexo II-A do Regulamento (CEE) N.º 2092/91 (modificado pelos Regulamento (CEE) N.º 2608/93, 2381/94, 1488/97, 1073/2000, 436/2001, 473/2002, 599/2003, 2277/2003,

1318/2005 e 592/2006) e pode ser consultado de uma forma resumida na tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Teor total máximo de metais pesados regulamentado (mg/kg^{-1} de matéria seca).

Regulamentação		Cu	Zn	Ni	Cr	Cd	Pb	Hg
CE Rótulo Ecológico	Regulamento (CE) nº 1980/2000	100	300	50	100	1	100	1

2.4.1 Informação que deve constar no rótulo para atribuição do rótulo ecológico

São várias as informações que um rótulo ecológico deve conter. Entre elas deve estar presente a dose de aplicação recomendada, que deve ir de encontro ao teor e à disponibilidade de nutrientes do correctivo de solos, para que não ocorram sobrecargas de nutrientes por metro quadrado, embora possa vir a ser mais elevada se a aplicação não for repetida todos os anos. Deve ter em conta a disponibilidade de N (Azoto), P_2O_5 (Pentóxido de fósforo) e K_2O (Óxido de potássio) durante a primeira época de utilização (Regulamento (CE) n.º 1980/2000).

Uma informação importante também a conter é a questão de contribuir para a redução da poluição dos solos e da água, de promover a utilização de resíduos orgânicos e ainda de contribuir para uma maior fertilidade dos solos (Regulamento (CE) n.º 1980/2000).

No caso do rótulo do composto em questão neste estudo, a empresa indica que o mesmo deve conter a seguinte informação:

- Denominação do produto
- Classe de qualidade e grau de maturação
- Utilização do produto
- Forma de comercialização
- Teores declarados dos parâmetros aplicáveis
- Matérias-primas cuja presença é superior a 10% em massa
- Peso líquido e volume
- Identificação (nome e endereço) da entidade responsável pela colocação no mercado

O rótulo deve ainda conter a informação de que os animais de criação não podem ter acesso ao solo no qual foram espalhados fertilizantes ou correctivos orgânicos do solo, antes de decorridos 21 dias após o último espalhamento (GESAMB, 2013).

2.5 Enquadramento legal dos Resíduos em Portugal

2.5.1 Caracterização física e classificação dos RU

A caracterização física dos RU é feita de acordo com a Portaria n.º 851/2009, de 7 de Agosto, que estabelece as especificações técnicas aplicáveis, a periodicidade de amostragens, e a forma de reportar essa informação à Autoridade Nacional de Resíduos (ANR).

Já a classificação desses resíduos é efectuada de acordo com a Lista Europeia de Resíduos (LER), publicada através da Portaria n.º 209/2004, de 3 de Março.

2.5.2 Sistemas de gestão e infraestruturas

“O Sistema de Gestão de Resíduos Urbanos (SGRU) é uma estrutura de meios humanos, logísticos, equipamentos e infraestruturas, estabelecida para levar a cabo as operações inerentes à gestão dos Resíduos Urbanos (RU)” (<http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=933&sub3ref=934>).

Assim, foram previstos dois tipos de entidades para a gestão dos RU: os municípios ou associações de municípios, onde a gestão do sistema pode ser concessionada a uma empresa, e as entidades multimunicipais, em que os sistemas são geridos por empresas concessionárias de capitais públicos (PERSU II, 2007).

Em 2012 existiam 23 SGRU, abrangendo a totalidade do território continental, em que, 12 eram Multimunicipais e 11 Intermunicipais. Todos estes sistemas possuem infraestruturas que asseguraram um destino final adequado para os RU (PERSU 2020, 2014).

2.5.2.1 Plano estratégico para os resíduos sólidos e urbanos: PERSU 2020

O Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos e Urbanos (PERSU 2020) aprovado em 17 de Setembro de 2014, pelo decreto-lei nº 187/2014, vem fazer uma revisão do PERSU II aprovado em 2006. Assim, define estratégias ao nível da gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) produzidos, com um enfoque no desvio dos resíduos biodegradáveis de aterro (RBA) para unidades de digestão anaeróbia, compostagem e de tratamento mecânico e biológico (TMB) (PERSU 2020, 2014).

A implementação do PERSU 2020, visa atingir níveis de reciclagem e de preparação para a reutilização de resíduos bastante elevados. Assim, enumeram-se em seguida algumas das metas a atingir em Portugal Continental, para 2020:

- Reduzir de 63 % para 35 % a deposição em aterro, dos resíduos urbanos biodegradáveis, relativamente ao ano de referência de 1995.
- Aumentar de 24 % para 50 % a taxa de preparação de resíduos para reutilização e reciclagem.
- Assegurar níveis de recolha selectiva de 47 kg/habitante/ano.

Pretende ainda atingir vários objectivos, tais como:

- Prevenção da produção e perigosidade dos RU.
- Aumento da preparação para reutilização, da reciclagem e da qualidade dos recicláveis.
- Redução da deposição de RU em aterro.
- Valorização económica e escoamento dos recicláveis e outros materiais provenientes do tratamento dos RU.
- Reforço dos instrumentos económico – financeiros.
- Incremento da eficácia e capacidade institucional e operacional do sector
- Reforço da investigação, do desenvolvimento tecnológico, da inovação e da internacionalização do sector.

- Aumento do contributo do sector para outras estratégias e planos nacionais.

2.5.3 Relatório anual de resíduos 2013 – RARU 2013

O Relatório Anual de Resíduos 2013 (RARU) apresenta a monitorização do PERSU II, sendo esta interpretada de acordo com os indicadores de 2007 (RARU, 2014).

Deste modo, segundo o RARU, em 2013 foram produzidos em Portugal, 4 607 mil toneladas de RU, uma diminuição significativa, na ordem dos 4% (175 mil toneladas) face a 2012, ano em que foram produzidas 4 782 mil toneladas de RU. Essa tendência de diminuição já havia sido verificada no ano anterior (RARU, 2014). Este facto pode ter como explicação a conjectura económica que o país tem vindo a atravessar nos últimos anos, pois tal reflecte-se numa diminuição do poder de compra da população, o que leva a uma diminuição do volume de resíduos produzidos pela mesma.

Região	2011	2012	2013
Portugal Continental	4.888	4.525	4.362
Região Autónoma da Madeira	124	114	106
Região Autónoma dos Açores	147	143	139
Total	5.159	4.782	4.607
Varição face ao ano anterior	↓6%	↓7%	↓4%

Figura 2.2 – Quantidade de RU produzidos em Portugal entre 2011-2013. Fonte: RARU 2013.

Em relação ao destino que é dado a estes resíduos, podemos verificar no gráfico da figura da página seguinte (figura 2.3) que a deposição em aterro ainda apresenta valores relativamente elevados, tendo sido o destino de cerca de 43% dos RU produzidos. Apesar de tudo, há um decréscimo da deposição em aterro na ordem dos 12% em relação a 2012, facto que pode ser justificado com a entrada em funcionamento de mais unidades de TMB, que por sua vez se traduz num aumento significativo para o TMB, na ordem dos 8-9% face a 2010. A incineração teve um ligeiro aumento. Em relação à valorização orgânica e ao tratamento mecânico os valores mantêm-se estagnados (RARU, 2014).

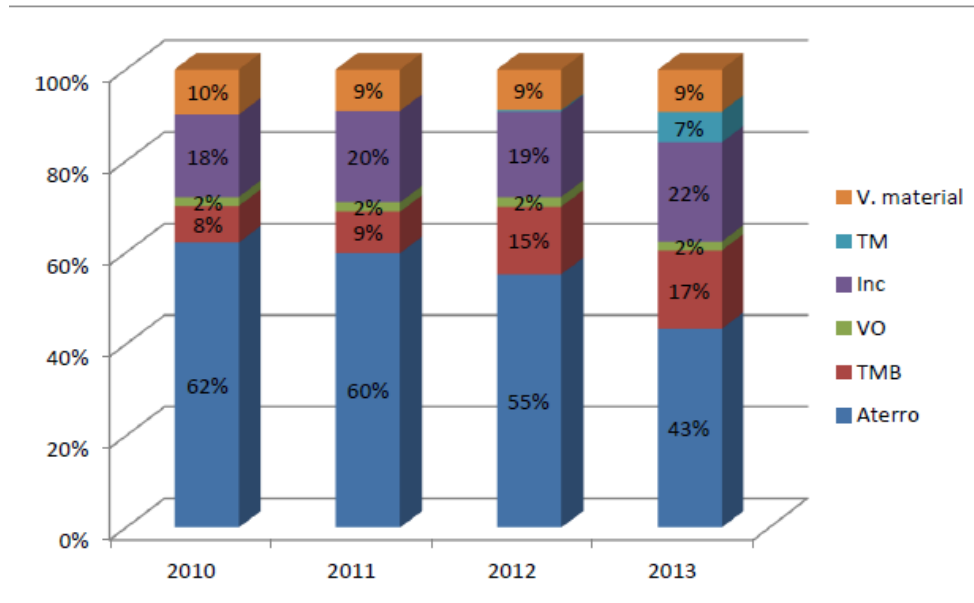


Figura 2.3 - Distribuição relativa dos destinos (directos) dos RU entre 2010 e 2013 em Portugal Continental.
Legenda: V. material – Valorização material; TM – Tratamento mecânico; Inc - Inceneração; VO – Valorização orgânica; TMB – Tratamento mecânico e biológico;
 Fonte: RARU, 2014.

2.5.4 Caracterização física dos resíduos urbanos

Os RU produzidos em Portugal estão caracterizados no RARU 2013, de acordo com as especificações técnicas da Portaria nº 851/2009 de 7 de Agosto (RARU, 2014).

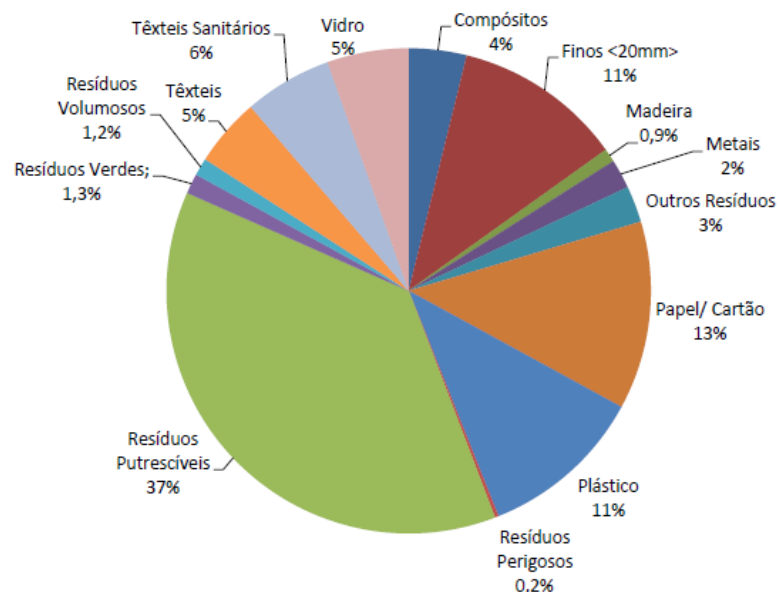


Figura 2.4 – Caracterização Física dos RU produzidos em Portugal em 2012. Fonte: RARU, 2014.

Do total dos RU produzidos, salienta-se o facto de mais de metade (52,6%) desses resíduos serem resíduos urbanos biodegradáveis (RUB), tais como, resíduos putrescíveis, papel ou cartão, madeira e resíduos verdes, ou seja, resíduos valorizáveis pela via orgânica, em unidades TMB (RARU, 2014).

2.5.5 Produção de composto a partir de materiais recicláveis resultantes do tratamento de RU

Contrariando a tendência ocorrida de 2011 para 2012, no ano de 2013 a produção de composto a partir de recolha de resíduos urbanos biodegradáveis (RUB) selectiva aumentou significativamente. Aumentou também a produção de composto a partir de recolha indiferenciada, contrariamente ao crescimento ocorrido entre 2011 e 2012, onde ocorreu um decréscimo, que pode ser justificado com o facto do sistema da RESINORTE ter efectuado uma requalificação do seu TM e também do sistema da VALNOR ter tido uma baixa recepção de resíduos para valorização orgânica (RARU, 2013) o que continua a ocorrer nesta última unidade e também na unidade da TratoLixo – Trajouce (RARU, 2014).

Há que salientar que a entrada em funcionamento no ano de 2013 de várias unidades de TMB a nível nacional terá contribuído para o crescimento muito significativo da quantidade de composto produzido (RARU, 2014).

Produção de composto a partir de...	2010	2011	2012	2013
RUB recolhido seletivamente	13.093	11.817	13.005	13.273
RU (recolha indiferenciada)	35.607	54.718	43.488	47.558
Total	48.701	66.535	56.493	60.831

Figura 2.5 – Produção de Composto a partir de Recolha de RUB entre 2010 e 2013. Fonte: RARU, 2014.

2.6 Unidade de TMB da GESAMB

A Unidade de TMB da GESAMB em Évora foi projectada para uma capacidade de cerca de 113 000 t/ano de RU recolhidos indiferenciadamente e resíduos verdes,

prevendo-se a maximização do aproveitamento da fracção reciclável e a separação da fracção orgânica para compostagem (<http://www.gesamb.pt/Sirsu/TMB>).

Actualmente esta unidade encontra-se ainda em fase experimental, não tendo o composto sido ainda comercializado. Como tal, estamos perante um composto que ainda não se encontra totalmente afinado e daí existir todo o interesse em estudar a sua composição, nomeadamente a nível toxicológico, dado ser um factor limitante para a sua posterior comercialização e utilização na agricultura.

2.6.1 Processo de compostagem

O processo inicia-se com a recepção e armazenamento dos resíduos (GESAMB, 2013).

De seguida os resíduos passam por um tratamento mecânico, com o objectivo de preparar o substrato a dirigir ao sistema de compostagem. Neste tratamento utiliza-se um *trommel* de 60 mm. As partículas que ficam retidas no *trommel* são reencaminhadas para reciclagem; seguidamente os resíduos são submetidos a uma separação magnética para remoção de metais (GESAMB, 2013).

Após esta fase, os resíduos já podem ser misturados com o material estruturante (resíduos verdes resultantes de poda) previamente triturado, numa fracção de 3:1 ou 2:1, consoante a disponibilidade do mesmo; a mistura é deslocada para a zona de compostagem termofílica, que ocorre em compostunéis (volume de 300 m³), onde permanece por um período de 10 dias. Durante a fase termofílica o material é regado com o lixiviado dos próprios resíduos e é higienizado (temperatura próxima dos 60°C), durante este processo é efectuado um controlo de odores e de emissões através de biofiltros de cascas de pinheiro; após a higienização, o composto é regado com água da rede pública. Durante toda esta fase o composto é monitorizado por sondas, quer a nível de temperatura (temperatura máxima de 70°C), quer de humidade e oxigénio (GESAMB, 2013).

Após esta etapa, o composto é revolvido, de modo a obter a maior aeração possível e transportado para a zona de maturação. Na zona de maturação, o composto é regado com água e sofre um arejamento por volteio, sempre

monitorizando a temperatura e a humidade, até obter a estabilização, ou seja, quando atinge a temperatura ambiente (25°C). Todo este processo decorre durante aproximadamente 10 semanas (GESAMB, 2013).

Após a estabilização, o composto é transferido para a zona de afinação; aqui, passa por um crivo de 25 mm e numa mesa densimétrica são rejeitados os materiais com excesso de granulometria e densidade (GESAMB, 2013).

Por fim, o composto é armazenado à temperatura ambiente e a descoberto, dado que a sua comercialização será realizada a granel (GESAMB, 2013).

No anexo I deste trabalho pode consultar-se um esquema com imagens e alguma descrição deste processo.

2.7 Enquadramento do trabalho

Tendo em conta o contexto deste trabalho, isto é, a avaliação da qualidade do composto produzido na unidade de TMB da GESAMB a partir de RSU e também o facto de que este mesmo composto se encontra ainda em fase de produção experimental, tornou-se evidente da minha parte e da parte da GESAMB a premente necessidade de se proceder à amostragem e à posterior análise do composto.

As análises ao composto são referidas no plano de HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point) da empresa em questão, a GESAMB, mais propriamente, de que devem ser realizadas amostragens com uma periodicidade entre duas a seis vezes por ano. Este manual refere ainda quais devem ser os parâmetros obrigatórios a ser analisados, tal como está discriminado na tabela 2.5 da página seguinte.

Análise da qualidade do composto produzido na unidade de Tratamento Mecânico e Biológico da GESAMB

Tabela 2.5 – Parâmetros que devem ser analisados de acordo com o manual de HACCP da GESAMB.

Fonte: Gesamb, 2014.

Parâmetros a Analisar	Unidades
Cádmio	mg.kg ⁻¹ m.s.
Chumbo	mg.kg ⁻¹ m.s.
Cobre	mg.kg ⁻¹ m.s.
Crómio	mg.kg ⁻¹ m.s.
Mercúrio	mg.kg ⁻¹ m.s.
Níquel	mg.kg ⁻¹ m.s.
Zinco	mg.kg ⁻¹ m.s.
Materiais inertes antropogénicos e pedras	% m.s.
<i>Salmonella spp.</i>	n/a*
<i>Escherichia coli</i>	NMP g ⁻¹ m.f.
Matéria orgânica	% m.s.
Razão C/N	n/a*
Azoto total (N)	mg/kg m.s.
Fósforo total (P₂O₅)	mg/kg m.s.
Potássio total (K₂O)	mg/kg m.s.
Cálcio (CaO)	mg/kg m.s.
Magnésio (MgO)	mg/kg m.s.
Boro total (B)	mg/kg m.s.
Teor de humidade	%
pH	Unidades de pH
Condutividade eléctrica	mS.cm ⁻¹ m.f.
Grau de maturação	(I a V)
Granulometria	n/a*
Massa volúmica aparente	kg.l ⁻¹ m.f.

Notas: *n/a - Não aplicável; NMP é o número mais provável de microorganismos em uma grama; m.f. refere-se à matéria fresca (antes da secagem).

Neste trabalho, foram analisados alguns destes parâmetros, mais concretamente, massa volúmica aparente, granulometria da amostra húmida e seca, determinação da condutividade eléctrica e do pH, determinação do conteúdo de matéria seca e do conteúdo de humidade, razão C/N, análise de elementos minerais e análise de metais pesados. Dentro dos elementos minerais, não foram analisados o fósforo nem o boro. No entanto, estendemos a análise ao sódio, o que permitiu avaliar a razão sódio/potássio.

Análise da qualidade do composto produzido na unidade de Tratamento Mecânico e Biológico da GESAMB

Dentro dos metais pesados, a análise do mercúrio ficou limitada a uma avaliação semi-qualitativa. Estendemos no entanto a análise ao arsénio e ao manganês.

Dada a dificuldade de acesso a algumas das normas referidas no documento “Especificações Técnicas sobre a Qualidade e Utilização do Composto” (Anónimo, 2008), documento esse de referência para a GESAMB, não foi possível seguir os métodos por ele indicados. Como tal, são apresentados na tabela 2.6, os métodos utilizados para a análise do composto neste trabalho.

Tabela 2.6 - Métodos utilizados para a análise laboratorial do composto.

Parâmetro	Unidades	Método de Referência	
Humidade	%	EN 13040	Mejoradores de suelo y substratos de cultivo; Preparación de la muestra para ensayos físicos y químicos; Determinación del contenido de matéria seca, del contenido de humedad y de la densidade aparente compactada en laboratorio
Massa volúmica aparente	kg/l (na matéria fresca)	EN 13040	Mejoradores de suelo y substratos de cultivo; Preparación de la muestra para ensayos físicos y químicos; Determinación del contenido de matéria seca, del contenido de humedad y de la densidade aparente compactada en laboratorio
pH	Unidades de pH (na matéria fresca)	Por electrometria num extracto aquoso da amostra (1:10 m:v)	“Methods book for the analysis of compost” (2002) Federal Compost Quality Assurance Organisation, pp. 29-30
Condutividade eléctrica	mS/cm (na matéria fresca)	Por electrometria num extracto aquoso da amostra (1:10 m:v)	“Methods book for the analysis of compost” (2002) Federal Compost Quality Assurance Organisation, pp. 31-34
Carbono total (C)	mg/kg (na matéria seca)	-	Digestão com mistura de ácidos em micro-ondas; Doseamento com

Análise da qualidade do composto produzido na unidade de Tratamento Mecânico e Biológico da GESAMB

			analisador elementar, com base no método de Pregl-Dumas
Azoto total (N)	mg/kg (na matéria seca)	-	Digestão com mistura de ácidos em micro-ondas; Doseamento com analisador elementar, com base no método de Pregl-Dumas
Potássio total (K)	mg/kg (na matéria seca)	-	Digestão com mistura de ácidos em micro-ondas; Doseamento por espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente com ablação laser
Cálcio (Ca) Magnésio (Mg) Sódio (Na)	mg/kg (na matéria seca)	-	Digestão com mistura de ácidos em micro-ondas; Doseamento por espectroscopia de plasma de acoplamento induzido com detector óptico e por espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente com ablação laser
Arsénio (Ar) Cádmio (Cd) Crómio (Cr) Cobre (Cu) Manganês (Mn) Níquel (Ni) Chumbo (Pb) Zinco (Zn)	mg/kg (na matéria seca)	-	Digestão com mistura de ácidos em micro-ondas; Doseamento por espectroscopia de plasma de acoplamento induzido com detector óptico e por espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente com ablação laser
Materiais inertes antropogénicos e pedras	% (na matéria seca)	Gravimetria	“Methods book for the analysis of compost” (2002) Federal Compost Quality Assurance Organisation, pp. 44-47

Capítulo 3 - Técnicas e métodos

Neste capítulo serão descritas todas as técnicas e métodos utilizados, tanto em trabalho de campo, como em trabalho de laboratório, para a posterior análise do composto.

3.1. Recolha da amostra

A amostragem foi realizada num composto que iniciou o seu processo em 24 de Fevereiro de 2014, ao dar entrada no compostúnel, onde permaneceu até 6 de Março de 2014. Após este período, foi transferido para a zona de maturação, onde se manteve até 6 de Junho. A amostragem realizou-se a 24 de Junho de 2014.

A recolha de amostras de composto foi realizada de acordo com as seguintes normas e protocolos de amostragem:

- Norma espanhola UNE-EN 12579:1999, que especifica como deve ser efectuada a amostragem dos correctivos de solos e suportes de cultura.
- Protocolo americano, “*Test Method for the Examination of Composting and Compost (TMECC)*” de 2001, recomendado pelo Conselho Americano de Compostagem (US Composting Council), que especifica como deve ser efectuada a amostragem de materiais derivados de compostagem.
- Método alemão, “*Methods Book for the Analysis of Compost*”, da Federal Compost Quality Assurance Organisation (FCQAO) de 2002.

Um dos principais requisitos a ter em conta na amostragem e que todas as normas e protocolos referem é que a amostra recolhida deve sempre representar a totalidade do material considerado. Como tal, foram tomadas todas as precauções, para assegurar que todos os equipamentos utilizados nas recolhas estavam limpos, secos e que não continham nenhum material que pudesse contaminar a amostra.

Assim, procedeu-se à recolha de amostras de Composto, hipoteticamente, afinado e estabilizado (CAE) em fase experimental, produzido por compostagem e derivado de resíduos urbanos biodegradáveis, na unidade de TMB da GESAMB.

A pilha foi dividida em cinco partes aproximadamente das mesmas dimensões e foram efectuados cinco cortes na mesma com o auxílio de uma pá. Foram recolhidas amostras nos cinco cortes e em três profundidades diferentes (figura

3.1); em cada uma das profundidades, recolheram-se amostras em cinco pontos distintos, de aproximadamente 0,5 litros, cada uma.

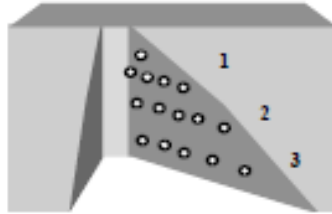


Figura 3.1 – Esquema de um corte numa pilha de composto, com os respectivos pontos de amostragem, em três profundidades diferentes. Fonte: Test methods for examination of composting and compost: Sample collection and laboratory preparation-field sampling of compost materials. The US Composting Council Research and Education Foundation & The United States Department of Agriculture (2001).

As quinze amostras elementares recolhidas (5 recolhas x 3 profundidades) foram colocadas num balde de plástico e homogeneizadas com o auxílio de uma vara de plástico, repetindo-se a homogeneização quatro vezes; selou-se o balde com plástico.

O processo foi repetido para os outros quatro cortes efectuados à pilha.

De seguida, as amostras elementares foram transferidas para uma tela plástica colocada no chão. As amostras foram cuidadosamente misturadas, dando origem a uma só amostra, a amostra composta.

A amostra composta foi quarteada; foi recolhido material de dois quartos opostos, que por sua vez foram misturados e novamente quarteados; o processo foi repetido até obter aproximadamente 3 litros de amostra.

Por fim, a amostra composta foi dividida em dois sacos de plástico herméticos e etiquetada com a identificação do material, data, local, fabricante e identificação do amostrador; os sacos herméticos foram acondicionados num recipiente térmico durante o seu transporte até ao laboratório, para posteriores análises.

3.2 Parâmetros físico-químicos

3.2.1 Granulometria da amostra húmida

Seguiram-se os critérios da norma UNE-EN 13040:2008, adaptados, consoante os nossos objectivos.

Para o ensaio, foram utilizados crivos IMPACT de 40 mm, 20 mm, 5 mm, 2 mm, 1 mm e 0,5 mm.

As amostras CAE 001 e CAE 002 passaram independentemente nos crivos e foram registadas as massas em gramas de cada uma das respectivas fracções, após a pesagem das mesmas.

3.2.2 Preparação da amostra húmida para determinação da massa volúmica aparente

Foram seguidos os critérios da norma UNE-EN 13040:2008 para a preparação da amostra.

Foi misturado o conteúdo dos dois sacos (aproximadamente 3 litros) que continham a amostra composta recolhida e seguidamente procedeu-se ao quarteio. No final obtivemos aproximadamente 2 litros.

Foi efectuado um segundo quarteio. As duas sub-amostras obtidas deste quarteio foram designadas de CAE 001 e CAE 002.

Posteriormente as sub-amostras foram misturadas homogeneamente e procedeu-se à sua pesagem numa balança Metter PM400. Para esse efeito utilizou-se um copo de plástico. No total foram pesadas seis fracções, cada uma com o volume de 200 ml.

3.3 Determinação do valor de pH e de condutividade eléctrica

Para este ensaio foi seguida a metodologia indicada no *“Methods book for analysis of compost”* FCQAO de 2002.

3.3.1 Preparação da solução aquosa de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Pesaram-se aproximadamente 1,47 gramas de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (Cloreto de cálcio dihidratado) do laboratório MERK com 147,02 g/mol, num copo de vidro. Adicionou-se uma pequena fracção de água Milli-Q e com o auxílio de uma vareta de vidro dissolveu-se. De seguida transferiu-se o conteúdo do copo de vidro para um balão volumétrico de 1000 ml e fez-se o volume com água Milli-Q. Por fim homogeneizou-se a solução.

3.3.2 Preparação da amostra para determinação do valor de pH e de condutividade eléctrica

Pesaram-se aproximadamente 180 gramas de amostra húmida de composto numa balança Metter PM 400.

A amostra foi crivada em crivos IMPACT de 10, 5 e 2 mm. A cada uma das fracções que ficaram retidas nos crivos foram retirados os materiais inertes e as pedras. A massa final retida na bandeja foi adicionada à fracção livre de materiais inertes, superior a 2 mm e procedeu-se à sua homogeneização.

Desta amostra homogeneizada, pesaram-se aproximadamente 20 gramas para um copo de vidro de 500 ml. Foram preparadas mais duas réplicas. Aos copos com as amostras adicionaram-se 200 ml da solução aquosa de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e um magneto em cada um dos mesmos.

Os copos foram colocados num agitador magnético VELP SCIENTIFICA durante duas horas.

Após as duas horas, os copos de vidro foram retirados dos agitadores magnéticos e colocados em repouso durante uma hora. Após o tempo de repouso decorrido, procedeu-se à leitura dos valores de pH com o auxílio de um potenciómetro CRISON micropH 2001, devidamente calibrado.

Para a condutividade eléctrica o procedimento foi igual ao anteriormente efectuado para a leitura de pH. Contudo, após a agitação, a suspensão foi filtrada e só então se efectuou a leitura dos valores da condutividade eléctrica. Para essa leitura utilizou-se um condutímetro CRISON microCM 2202, devidamente calibrado.

3.4 Determinação do conteúdo de matéria seca e do conteúdo de humidade

Seguindo as orientações da norma UNE-EN 13040: 2008, as sub-amostras CAE 001 e 002 foram colocadas em quatro tabuleiros de alumínio, cada um deles foi pesado numa balança Precisa 310-M. Foram designados de CAE 001-1, CAE 001-2, CAE 002-1 e CAE 002-2, de acordo com a sua proveniência em relação à sub-amostra.

Estes tabuleiros foram colocados numa estufa Memmert ventilada a 75°C, durante cerca de 4 dias, tendo sido efectuadas pesagens todos os dias, até obter um peso constante.

3.5 Granulometria da amostra seca: Materiais inertes antropogénicos e pedras

Foram seguidas as orientações da norma UNE-EN 13040: 2008.

Tomaram-se as amostras anteriormente secas na estufa (CAE-001-1, CAE 001-2, CAE 002-1 e CAE 002-2) e pesaram-se uma a uma, retirando o peso do tabuleiro, anteriormente pesado e fizeram-se passar cada uma delas, individualmente, pelos seguintes crivos IMPACT de malha quadrada de 40, 20, 10, 5, 2, 1 e 0,5 mm respectivamente. As fracções retidas em cada um dos crivos foram pesadas numa balança KERNABJ 320-4, dando especial atenção aos materiais inertes antropogénicos superiores a 2 mm e as pedras superiores a 5 mm.

3.6 Preparação das amostras de ensaio para análises posteriores

Foram seguidas as orientações da norma UNE-EN 13040: 2008.

Com as fracções finais (massa na bandeja) de todas as subamostras, efectuou-se uma mistura e trituraram-se, aproximadamente 5 gramas com o auxílio de um almofariz de ágata. Dividiram-se os 5 gramas, em 5 porções, de aproximadamente uma grama cada uma e colocaram-se em sacos herméticos devidamente identificados. As pesagens foram efectuadas com uma balança Metter PM 400.

Seguidamente retiraram-se de cada um dos cinco sacos duas amostras de ensaio, perfazendo um total de dez amostras, com aproximadamente 0,300 gramas, cada uma, pesadas numa balança KERNABJ 320-4.

3.6.1 Digestão das amostras de ensaio

Para determinar a concentração de elementos minerais e metais pesados por ICP é necessária a solubilização das amostras. Tal passa por uma digestão com mistura de ácidos. Procedeu-se à digestão com mistura de ácidos em micro-ondas de um lote de amostras/réplicas.

As dez amostras de ensaio foram preparadas por digestão de ácidos, HNO₃ (Ácido nítrico), HCl (Ácido clorídrico) e HF (Ácido fluorídrico) e adaptando um programa do digestor para lamas e solos.

Foram depois colocadas em copos de teflon no rotor MF 100-T8, do Microwave Reaction System – Multiwave PRO, a uma temperatura de 190°C e a uma potência de 950 W, durante uma hora.

Após o programa de digestão ter terminado, as amostras retiram-se do rotor e foram colocadas num suporte a arrefecer durante 5 minutos. De seguida, retiram-se as tampas de cada um dos copos de teflon, com o cuidado de deixar libertar todo o vapor antes de abrir por completo a tampa de cada um dos copos.

O conteúdo de cada um dos copos de teflon foi transferido quantitativamente para copos de vidro. Cada um dos copos de teflon foi lavado três vezes com água Milli-Q, sendo o conteúdo de cada lavagem também transferido para o copo de vidro correspondente.

No passo seguinte, filtrou-se o conteúdo de cada um dos copos de vidro, com o auxílio de um papel de filtro e de um funil para balões de vidro de 20 ml. O copo de vidro foi lavado com água Milli-Q, até não apresentar mais resíduos e o volume resultante destas lavagens transferido para o balão de vidro. Perfez-se o volume de 20 ml com água Milli-Q e homogeneizou-se a amostra.

Por fim transferiu-se o volume de cada um dos balões de vidro para copos de plástico não contaminados, hermeticamente fechados e devidamente identificados.

Um segundo lote de cinco amostras obtidas a partir dos 5 sacos anteriormente preparados foi sujeito a uma nova digestão para efeitos de aplicação no aparelho de ICP-MS, onde a existência de uma ponta de vidro inviabiliza a utilização de ácido fluorídrico na digestão das amostras. Para ultrapassar as dificuldades resultantes de uma mistura de ácidos menos eficaz, devido á ausência de ácido fluorídrico, usou-se ciclos sucessivos de secagem e suspensão em ácido nítrico, até à dissolução total, em vaso aberto. Este procedimento permitiu a dissolução completa das amostras mas inviabilizou a determinação de elementos voláteis como o Hg e o Cd.

3.7 Razão Carbono/Azoto

Para a determinação da quantidade de carbono e Azoto total, procedeu-se à análise de uma porção da amostra (algumas microgramas) de ensaio num analisador elementar da marca ELEMENTAR, modelo Vario Micro Cube.

A análise elementar é uma técnica para determinação quantitativa de carbono, hidrogénio e nitrogénio numa amostra. Baseia-se no método de Pregl-Dumas (http://ca.iq.usp.br/novo/paginas_view.php?idPagina=7), em que as amostras são sujeitas à combustão numa atmosfera de oxigénio puro, e os gases resultantes dessa combustão são quantificados num detector de condutividade térmica.

Foram retiradas tomas de cada um dos 5 sacos referidos na secção anterior e pesadas numa balança de precisão até à décima de miligrama.

A concentração de carbono e azoto foi determinada recorrendo a padrões previamente introduzidos no analisador.

Apara o cálculo da Razão C/N é usada a seguinte expressão (3.1):

(3.1)

$$RazãoC/N = \frac{\% C_{Total}}{\% N_{Total}}$$

Em que:

% C_{Total} – Percentagem de Carbono total presente na amostra.

% N_{Total} – Percentagem de Azoto total presente na amostra.

3.8 Análise de elementos minerais

Após a digestão da amostra, tal como foi descrito no ponto 3.6.1, a determinação dos elementos minerais presentes no composto, nomeadamente o Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg), foi efectuada por ICP-AES, no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental ou por ICP-MS, no Laboratório Hércules, ambos os laboratórios da Universidade de Évora.

A digestão inicial que se pretendia ser a preparação de amostra para os dois aparelhos revelou-se inoperante, tendo sido necessária uma digestão dedicada para o ICP-MS, devido à sua especificidade, tal como é descrita em 3.6.1.

Em ambos os aparelhos se preparou uma série de padrões que foram usados para a determinação pelo método da curva de calibração.

3.9 Análise de metais pesados

A análise de metais pesados, nomeadamente o Arsénio, Cádmio, Cobalto, Crómio, Cobre, Manganês, Níquel, Chumbo e Zinco, foi efectuada pelos mesmos métodos que a análise para os restantes elementos minerais e também nos mesmos laboratórios.

Foi feita uma tentativa de análise ao elemento mercúrio (Hg) recorrendo a um aparelho de espectroscopia de fluorescência de raios X portátil (Tracer III-SD XRF, da Brucker). Para essa análise foram realizadas pastilhas secas a partir do material das cinco sub-amostras anteriormente referidas, de acordo com as exigências da técnica utilizada. Desta tentativa não resultaram dados quantitativos em virtude de o limite de detecção da técnica se situar em 10 mg/kg.

Optámos ainda por analisar a concentração de Manganês (Mn) dada a sua importância vital para as plantas. Contudo, estes resultados não podem ser comparados com a legislação existente para metais pesados em composto, uma vez que não é um dos elementos controlados neste âmbito.

Foi analisada também a concentração de Arsênio (As), pois apesar de ser um metalóide e não um metal pesado, é particularmente tóxico, e ao estar presente num composto que tem como destino a sua aplicação na agricultura, facilmente entra na cadeia alimentar.

Capítulo 4 - Apresentação e discussão de resultados

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados das análises efectuadas laboratorialmente. Durante esta análise foi realizado, sempre que possível, o cálculo do valor médio e do desvio padrão dos resultados obtidos, relativos a cada parâmetro, através do *software Microsoft Excel 2010*.

4.1. Massa volúmica aparente

Na tabela 4.1 encontram-se os valores de massa das sub-amostras de composto com o volume de 200 cm³ e o valor da massa volúmica aparente calculada, bem como o valor médio e desvio padrão da mesma.

Tabela 4.1 – Massa volúmica aparente de cada sub-amostra (para um volume de 0,2 l) e valor médio da massa volúmica aparente.

Sub-amostra	Massa da amostra (kg)	Massa volúmica aparente (kg/dm³)
1	0,114	0,570
2	0,117	0,585
3	0,114	0,570
4	0,107	0,535
5	0,115	0,575
6	0,110	0,550
Valor médio ± desvio padrão		0,563 ± 0,014

O valor médio da massa volúmica aparente é de 0,563 ± 0,014 (kg/dm³).

A massa volúmica aparente do substrato influencia a porosidade e facilidade de compactação. Os valores deste parâmetro determinados em base húmida variam entre 500-900 kg/m³, valores superiores reduzem a porosidade do composto e valores inferiores indicam a possibilidade da existência de arejamento excessivo do substrato e, indirectamente, uma redução da disponibilidade da fracção água (Agnew e Leonard (2003^a como citado em Teixeira, 2009, p. 35).

Assim, o valor médio da massa volúmica aparente do composto em análise, 563 kg/m^3 ($0,563 \text{ kg/dm}^3$), encontra-se dentro dos limites.

4.2 Granulometria: amostra húmida

No gráfico da figura 4.1 encontram-se representados graficamente os valores correspondentes às fracções retidas, em gramas, durante o ensaio granulométrico efectuado às subamostras de composto em base húmida.

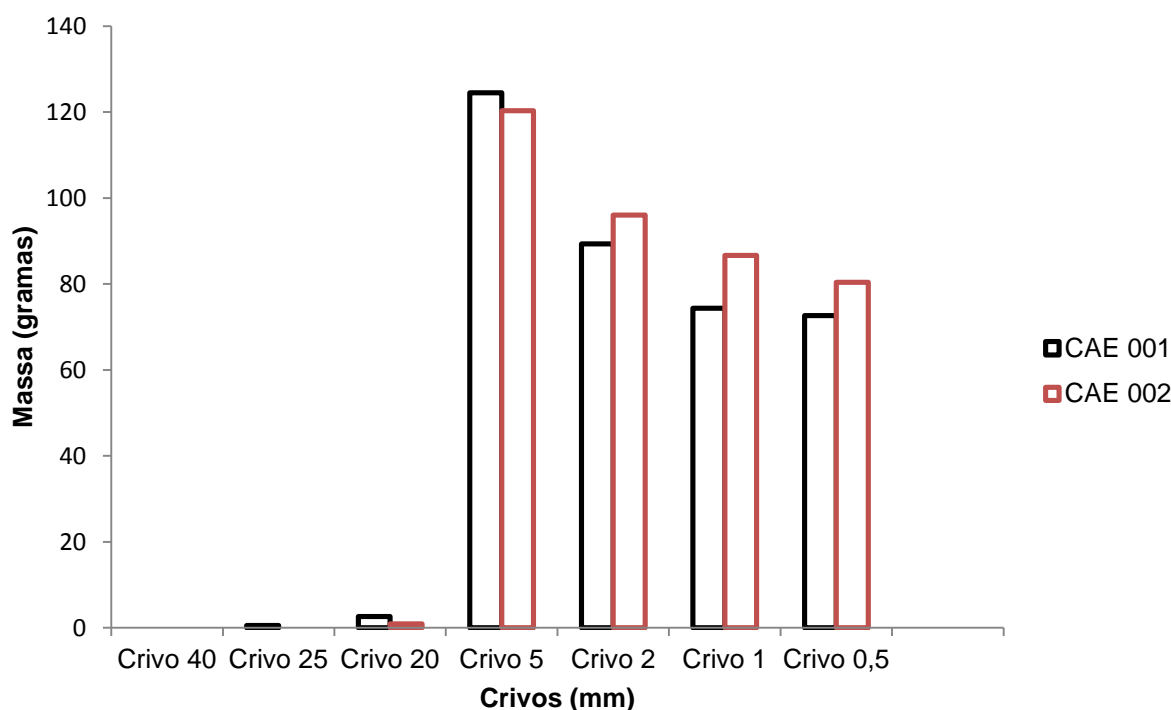


Figura 4.1 – Granulometria da amostra húmida: fracções retidas nos crivos (gramas).

Legenda: CAE – Composto afinado e estabilizado.

De acordo com a norma UNE-EN 13040:2008, para efeitos de preparação da amostra de composto para análise, deve ser efectuado um cálculo com base na expressão (4.1) para verificar se no crivo de 40 mm, ficou ou não retida uma fracção igual ou superior a 20% da amostra. Em caso positivo a todas essas partículas devem ser reduzidas por métodos físicos e voltar a ser crivadas no crivo de 40 mm:

(4.1)

$$C = \frac{m_b}{m_a}$$

Em que:

m_b – Massa em gramas do material retido na peneira de 40 mm

m_a – Massa em gramas da subamostra

C – Fração retirada da peneira de 40 mm;

Assim, após efectuados os cálculos, e tal como é facilmente perceptível na imagem anterior, a fracção é zero, tanto para a sub-amostra CAE 001, como para a sub-amostra CAE 002, logo não foi necessário proceder a uma redução das partículas fisicamente e nem a uma segunda crivagem.

Na figura 4.2 apresenta-se a distribuição em percentagem da massa do composto pelas diversas classes granulométricas.

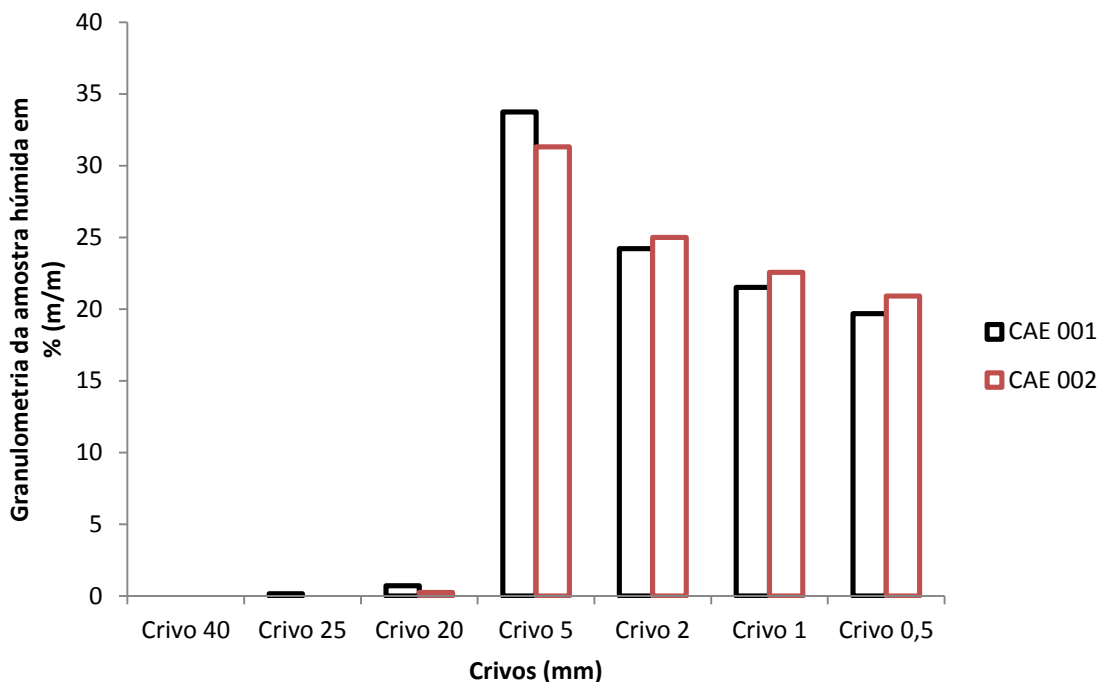


Figura 4.2 – Granulometria da amostra húmida em % (m/m).

Legenda: CAE - Composto afinado e estabilizado.

O composto estudado apresenta uma granulometria inferior a 25 mm em toda a sua massa, o que faz com que cumpra o requisito de qualidade deste parâmetro

para aplicação na agricultura, ou seja ter 99% da sua massa a passar por um crivo de malha quadrada de 25 mm (Anónimo, 2008). Apresenta ainda em média 67% em massa abaixo de 2 mm, o que pode ser considerado um valor baixo na perspectiva de um compromisso entre arejamento e retenção de água, tal como é discutido por L. Coelho (Coelho, L., 2007).

De facto, uma granulometria demasiado baixa pode comprometer a função de arejamento do solo quando é essa uma das funções do composto. Por outro lado, a baixa granulometria contribui mais eficazmente para a retenção de água, cumprindo assim outra das funções do composto, sendo que se deve encontrar um compromisso para maximizar estes dois efeitos.

4.3 Condutividade eléctrica e pH

Na tabela 4.2 encontram-se os valores da condutividade eléctrica e de pH do composto para soluções de 200 ml, bem como o seu valor médio e respectivo desvio padrão.

Tabela 4.2 – Valores da condutividade eléctrica e de pH do composto.

Solução	Condutividade eléctrica (mS.cm⁻¹)	pH
1	2,24	7,90
2	3,31	7,96
3	3,23	7,91
Valor médio ± desvio padrão	2,93 ± 0,42	7,92 ± 0,02

A condutividade eléctrica apresenta um valor médio de 2,93 mS.cm⁻¹. De acordo com outros estudos realizados em Portugal sobre composto produzido a partir de RSU, os valores para este parâmetro variam entre 0,30 e 13,57 mS.cm⁻¹ (Teixeira, 2009 e Santos, 2007). Já especialistas em compostagem a partir de RSU definem um intervalo entre 0,75 e 1,99 mS.cm⁻¹ para os valores de condutividade eléctrica como valor de referência (Abad *et al.* (1993 como citado em Cunha-Queda, 2007). Uma condutividade demasiado elevada, sendo indicativa da elevada presença de sais, é prejudicial ao crescimento das plântulas. Como tal, o composto apresenta

um valor ligeiramente acima do recomendado, embora se possa considerar um valor aceitável, tendo em conta os valores encontrados para outros compostos a partir de RSU. Uma condutividade baixa indica que estamos perante um bom grau de maturação, uma vez que a condutividade desce ao longo do processo.

Como tal, o composto apresenta valores acima da gama de valores de referência. Em relação ao pH a média do mesmo é de $7,92 \pm 0,02$ unidades, conferindo-lhe assim, um carácter básico. Encontrando-se assim, dentro dos limites estabelecidos, ou seja, entre 5,5 e 8,5 unidades de pH (Anónimo, 2008).

Tal como referido anteriormente, este parâmetro pode ser tomado como um indicador de maturação do composto, pois sobe até se tornar alcalino, por libertação de amoníaco produzido na decomposição de proteínas. Assim, o valor encontrado leva-nos a concluir que se deu uma boa maturação. Um composto com alcalinidade elevada, até pH=11 pode ser utilizado, no entanto deve ser evitado por conduzir à perda de azoto sob a forma de NH_3 e à produção de odores (Coelho, 2007).

4.4 Determinação do conteúdo de matéria seca e do conteúdo de humidade

No gráfico da figura 4.3 podemos observar a evolução da perda de massa de duas das sub-amostras (CAE 001-1 e CAE 002-1) durante o processo de secagem, que foi interrompido às 120 horas, dado que a diferença entre as últimas duas pesagens (96 e 120 horas) apresentava uma diferença menor que 0,1g (UNE-EN 13040:2000). Na figura 3.4 são ainda apresentados, o conteúdo em matéria seca, e o conteúdo de humidade, calculados de acordo com as seguintes expressões (4.2 e 4.3) (UNE-EN 13040:2000):

$$D_M = \left(\frac{m_D - m_T}{m_W - m_T} \right) \times 100 \qquad W_M = \left(\frac{m_W - m_D}{m_W - m_T} \right) \times 100$$

Em que:

D_M – Conteúdo de matéria seca, expresso em % mássica

W_m – Conteúdo de humidade, expresso em % mássica

M_D – Massa em gramas da amostra seca e da bandeja

M_T – Massa em gramas da bandeja
 M_W – Massa em gramas da amostra húmida e da bandeja

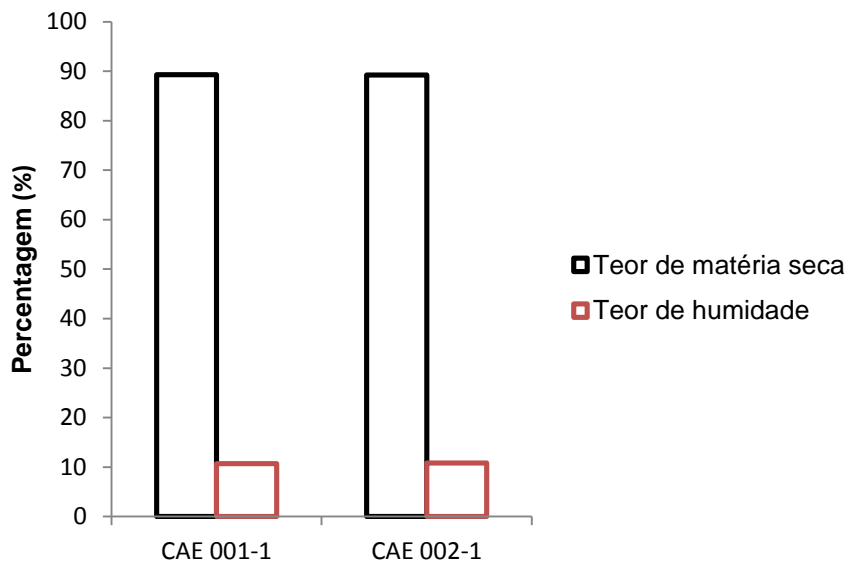


Figura 4.3 – Teor de matéria seca e de humidade (% m/m) das sub-amostras CAE 001-1 e CAE 002-1 após 120 horas de secagem.

Como podemos constatar a partir do gráfico da figura anterior (figura 4.3), tanto a sub-amostra CAE 001-1, como a sub-amostra CAE 002-1, apresentam teores de humidade a variar entre os 6 e os 11%. Trata-se de um valor médio de 8,5%, claramente abaixo do valor limite máximo de referência de 40%, referido na literatura (Anónimo, 2008). No entanto, o valor aconselhado é de cerca de 35% (Santos, 2007). De acordo com esta autora, um teor de humidade demasiado baixo pode indicar que o mesmo esteve armazenado demasiado tempo ou que, devido ao baixo teor de humidade, não tenha atingido a estabilização necessária. De facto, um teor de humidade demasiado baixo faz diminuir significativamente a actividade microbiana durante o processo de compostagem (Oliveira, 2010). Dado o nosso conhecimento deste composto, inclinamo-nos mais para a primeira hipótese, já que esteve algum tempo armazenado.

4.5 Granulometria da amostra seca: Materiais inertes antropogénicos e pedras

Nas figuras seguintes, da figura 4.4 à 4.7, encontram-se representados graficamente os valores correspondentes à distribuição granulométrica da amostra seca quanto à massa de materiais inertes antropogénicos e pedras, tal como de composto.

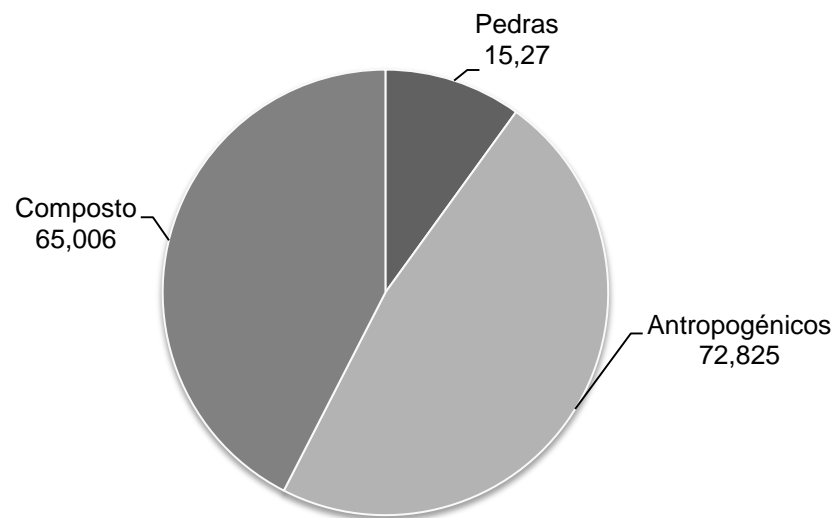


Figura 4.4 – Massa total das fracções retidas nos crivos da amostra CAE 001-1 (gramas).

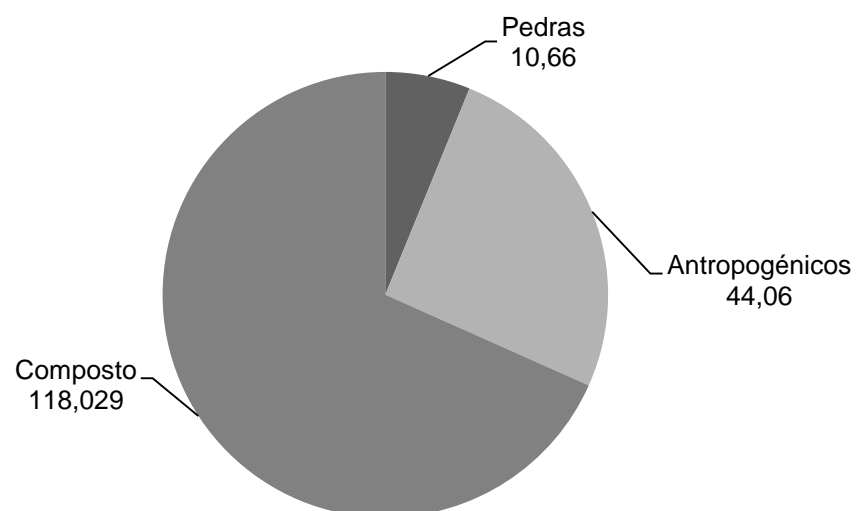


Figura 4.5 – Massa total das fracções retidas nos crivos da amostra CAE 001-2 (gramas).

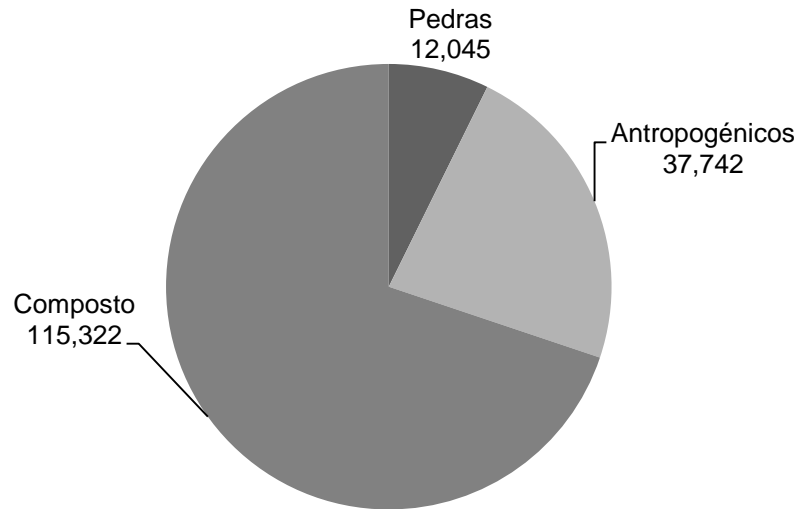


Figura 4.6 – Massa total das fracções retidas nos crivos da amostra CAE 002-1 (gramas).

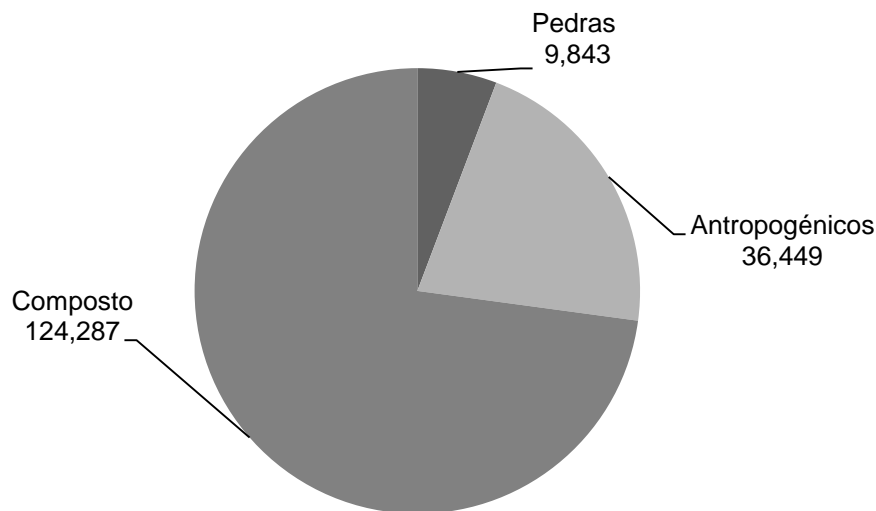


Figura 4.7 - Massa total das fracções retidas nos crivos da amostra CAE 002-2 (gramas).

De acordo com os critérios do “*Methods Book for the Analysis of Compost*”, da Federal Compost Quality Assurance Organisation, são contabilizadas as pedras que ficam retidas nos crivos superiores a 5 mm e são contabilizados os materiais inertes antropogénicos que fiquem retidos nos crivos superiores a 2 mm. O teor de pedras e de materiais inertes antropogénicos no composto deve ser calculado em relação à massa total da matéria seca de cada uma das sub-amostras de acordo com as seguintes expressões (4.4 e 4.5) (FCQAO, 2002):

(4.4 e 4.5)

$$F_s = \left(\frac{M_{Fs > 2 \text{ mm}}}{P_{tot}} \right) \times 100$$

$$S_t = \left(\frac{M_{St > 5 \text{ mm}}}{P_{tot}} \right) \times 100$$

Em que:

F_s – Teor de material inerte antropogénico (% mássica, arredondado a duas casas decimais)

$M_{Fs > 2 \text{ mm}}$ – Material inerte antropogénico > 2 mm (g)

S_t – Teor de Pedras (% mássica, arredondado a duas casas decimais)

$M_{St > 5 \text{ mm}}$ – Pedras > 5 mm in (g)

P_{tot} – Massa total de cada uma das sub-amostras antes da crivagem (g)

Na Tabela 4.3 são apresentados as concentrações em % em massa de pedras, materiais inertes antropogénicos e restante composto nas sub-amostras, o valor médio e o desvio padrão. O gráfico da figura 3.8 apresenta uma representação da composição média, em percentagem, para clareza.

Tabela 4.3 – Materiais inertes antropogénicos ($M_{Fs} > 2 \text{ mm}$ e), pedras ($M_{St} > 5 \text{ mm}$) e restante composto (RC) em % (m/m) presente nas sub-amostras.

Legenda: CAE – Composto afinado e estabilizado.

	CAE001-1	CAE001-2	CAE002-1	CAE002-2	Valor médio ± DP
Inertes antropogénicos (%m/m)	34,02	20,56	17,55	15,18	21,83 ± 6,51
Pedras (%m/m)	7,13	4,98	5,60	4,01	5,43 ± 1,01
Restante composto (%m/m)	58,85	74,46	76,85	80,81	72,74 ± 7,46

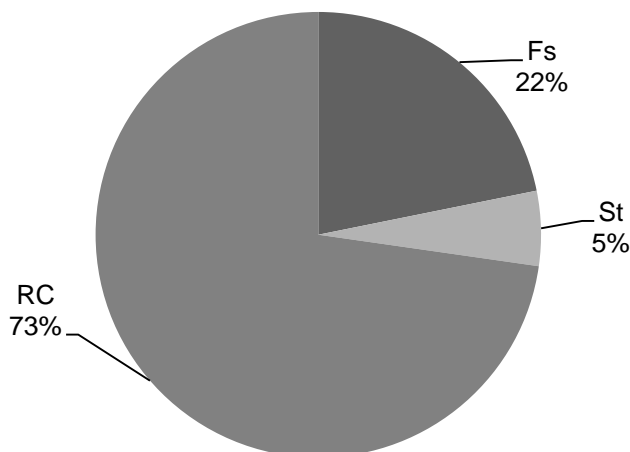


Figura 4.8 - Materiais inertes antropogênicos (Fs) ($M_{Fs} > 2 \text{ mm}$ e), pedras (St) ($M_{St} > 5 \text{ mm}$) e restante composto (RC) em % (m/m) presente nas sub-amostras.

O valor médio do teor em materiais inertes antropogênicos situa-se em 22%. Podemos afirmar que o composto em estudo apresenta um teor demasiado elevado deste tipo de materiais, dado que o limite máximo aceite é de 2 a 3%, dependendo se pertence à classe II ou III, respectivamente.

Já o valor médio do teor em pedras neste composto situa-se nos 5%, o que o coloca no valor máximo aceite para a classe III, sendo ainda uma concentração aceitável.

Tanto o valor do teor de materiais inertes antropogênicos, por se encontrar bastante acima do limite máximo admissível, como o valor do teor em pedras, que está no limiar do tecto máximo admissível, levam a desvantagens para o composto em estudo, pois desta forma limita em muito o tipo de utilização que lhe poderá vir a ser dada. Assim, este composto por estar limitado à classe mais elevada apenas poderá ser utilizado nos solos onde não se pretendam implantar culturas destinadas à alimentação humana e animal (Anónimo, 2008).

4.6 Razão C/N

A determinação do carbono total e do azoto total foi realizada num analisador elementar, realizando 5 réplicas, como descrito no capítulo 3.

Na Tabela 4.4 são apresentados os valores, em percentagem, do carbono e azoto total determinados para o composto, e é calculada a razão carbono/azoto.

Tabela 4.4. Concentração em percentagem de Carbono (C) e de Azoto (N) determinadas nas amostras do composto.

Legenda: AE – Amostra de ensaio; C – Carbono; N – Azoto.

Amostras	C (%)	N (%)
AE01	17,86	1,56
AE02	17,89	1,49
AE03	18,05	1,47
AE04	18,04	1,46
AE05	18,15	1,46
Valor médio ± Desvio padrão	18,00 ± 0,09	1,49 ± 0,03

Temos assim um valor de $18,00 \pm 0,09$ para o carbono total e $1,49 \pm 0,03$ para o azoto total. O valor do carbono total é da mesma ordem de grandeza dos encontrados na literatura para composto processado a partir de resíduos sólidos urbanos (Sequeira, 2013).

Após efectuados os cálculos de acordo com a expressão apresentada no ponto 2.7, a razão C/N do composto em estudo é de 12,1, ou seja, abaixo da gama de valores de referência, que considera que o valor se deve situar entre 20 e 40 (Abad et al. (1993 como citado em Cunha-Queda, 2007)). No entanto, mais uma vez se situa dentro dos valores encontrados para composto do mesmo tipo de proveniência (Sequeira, 2013). De facto, como se pode depois comprovar no ponto 3.9., os dados do composto preparado a partir de vários tipos de resíduos publicados recentemente apresentam valores da razão C/N entre 7 e 18. (Cunha-Queda, 2010; Tarrento, 2008; Coelho, 2007; Sequeira, 2013) ou ainda na faixa entre 11 e 23,2 para o estudo efectuado pelo LQARS, por Gonçalves e Santos em 2003. Uma forma deste valor poder vir a subir para valores mais próximos da faixa de valores ideal (20-40) seria acrescentar mais compostos linhocelulósicos, tal como por exemplo o papel e a madeira, que conferem um aumento á razão C/N (Gonçalves e Santos (2003 como citado em como citado em Gonçalves, M.S., 2005)).

4.7 Análise de elementos minerais

Na Tabela 4.5 é apresentada a concentração média de minerais, em mg/kg de matéria seca determinada para este composto, nomeadamente o Cálcio (Ca), o Magnésio (Mg), o Potássio (K) e o Sódio (Na). A determinação foi realizada através da média de cinco amostras preparadas de acordo com a descrição do capítulo 3. Os dados experimentais desta determinação encontram-se no Anexo VI.

Tabela 4.5. Concentrações de Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Sódio (Na) e Potássio (K) determinadas no composto.

	Ca (mg/kg m.s.)	Mg (mg/kg m.s.)	Na (mg/kg m.s.)	K (mg/kg m.s.)
Valor médio	51736	5098	11754	20598
Desvio padrão	2574	1301	161	323

A análise realizada à concentração de Cálcio (Ca) e de Magnésio (Mg) revela que o composto possui concentrações destes minerais acima dos valores considerados críticos para o desenvolvimento das plantas. Concretamente, o Cálcio tem um valor de 51736 ± 2574 mg/kg quando a sua concentração crítica é de 5000 mg/kg. Por sua vez, o Magnésio apresenta um valor de 5098 ± 1301 mg/kg, sendo o seu valor crítico de 2000 mg/kg (Epstein, E. 1965).

A análise à concentração de Potássio (K) presente no composto revela que o mesmo apresenta valores acima dos valores críticos para o desenvolvimento das plantas, ou seja, apresenta um valor de 20598 ± 323 mg/kg, enquanto o valor crítico é de 10000 mg/kg (Epstein, E. 1965).

Por sua vez o Sódio (Na) apresenta um valor de concentração de 11754 ± 161 mg/kg. Este valor deve ser avaliado à luz da razão Sódio/Potássio. Esta relação pode ser utilizada para avaliar o índice de toxicidade do sódio nas plantas, pois este inibe a actividade das enzimas que necessitam de potássio. Desta forma, uma razão Sódio/Potássio igual ou inferior a 0,6 é ideal para uma boa eficiência metabólica nas plantas (Greenway & Munns (1980 como citado em Neto & Tabosa, 2000).

A razão Sódio (Na) / Potássio (K) calculada através da seguinte expressão (4.6):

(4.6)

$$\text{Razão Na/K} = \frac{\% \text{ Na}}{\% \text{ K}}$$

A conversão de mg/kg para percentagem foi efectuada usando a expressão (4.7) e com base na tabela 2.1 do capítulo 2 deste trabalho (Epstein, E. 1965):

(4.7)

$$\% \text{ Na ou K} = \frac{\text{valor em mg/kg} \times 0,01 \text{ g}}{100}$$

Constatamos que o valor da razão Na/K calculado para este composto é de 0,55, ou seja, abaixo do valor limite máximo aceitável para uma boa eficiência metabólica nas plantas pelo que a concentração do sódio se encontra neste composto em níveis favoráveis à sua utilização para fins agrícolas.

4.8 Análise de metais pesados

4.8.1 Metais pesados obrigatórios no quadro do controlo de qualidade

Na Tabela 4.6 da página seguinte estão representados os valores para a concentração de metais pesados determinados para este composto, de acordo com o previsto na norma técnica de controlo da qualidade do composto, nomeadamente Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn. Dos metais pesados que deveriam ser quantificados ficou a faltar o Hg. A determinação foi realizada através da média de cinco amostras preparadas de acordo com a descrição do capítulo 3. Os dados experimentais desta determinação, nomeadamente as curvas de calibração do método analítico, encontram-se no Anexo VII.

Tabela 4.6. Concentração de metais pesados no composto, determinada por ICP-AES (valor médio \pm desvio padrão).

Metal pesado	C (mg/kg m.s.)
Cádmio (Cd)	3,27 \pm 0,10
Crómio (Cr)	70,64 \pm 6,90
Cobre (Cu)	229,22 \pm 7,36
Níquel (Ni)	22,48 \pm 3,28
Chumbo (Pb)	150,15 \pm 5,69
Zinco (Zn)	466,80 \pm 32,60

Como referido no capítulo 3, a análise do elemento mercúrio (Hg) foi alvo de uma tentativa por espectroscopia de fluorescência de raios X, recorrendo a um aparelho de fluorescência de raios X portátil. Esta técnica, tendo a versatilidade de ser portátil e de permitir uma elevada mobilidade, peca no entanto por ter um limite de detecção que se situa nos 10 mg/kg. Assim, desta tentativa não resultaram dados quantitativos, uma vez que não foi possível medir qualquer concentração de mercúrio. Esta tentativa dá-nos uma indicação do limite superior da concentração de Hg, ou seja, as amostras terão uma concentração de Hg de uma ordem de grandeza inferior às dezenas de miligramas por quilograma de amostra seca.

Perante estes resultados, o Crómio e o Níquel são classificados numa classe I, na classe II estão o Chumbo e o Zinco e na classe IIA (que tem como limite o valor de 400 mg/kg m.s.) o Cobre. Por fim o Cádmio está na classe III, embora apresente um valor ainda na ordem de grandeza do limite da classe IIA, embora por excesso. Assim, e de acordo com o legislado, o composto deve ser classificado na classe do seu metal pesado mais penalizante e, nesse sentido, a sua classe seria a III.

Em relação à possibilidade da atribuição de um rótulo ecológico, o composto apresenta valores de teor de metais que excedem o estabelecido legalmente para esta atribuição, à excepção do Níquel, que apresenta valores abaixo do

limite máximo estabelecido (Regulamento CEE nº 2092/91 modificado e Regulamento CE 1980/2000).

4.8.2. Determinação do As e do Mn

Na Tabela 4.7 estão representados os valores para as concentrações de Arsénio (As) e de Manganês (Mn) determinadas para este composto. A determinação foi realizada através da média de cinco amostras preparadas de acordo com a descrição do capítulo 3. Os dados experimentais desta determinação, nomeadamente as curvas de calibração do método analítico, encontram-se no Anexo VII.

Tabela 4.7. Concentrações de Arsénio (As) e Manganês (Mn) no composto, determinada por ICP-AES.

Elemento	C (mg /kg m.s.)
Arsénio (As)	28,41±2,10
Manganês (Mn)	844,5±41,6

O Arsénio é um metalóide cujo efeito cumulativo se torna prejudicial ao crescimento das plantas, ao mesmo tempo que o seu consumo continuado pelos humanos tem efeitos cumulativos no organismo, e a sua toxicidade provoca danos. Tem sido verificado em muitas situações que a concentração de arsénio máxima admissível para fins agrícolas é difícil de atingir. (Xinde e Ma, 2004).

Constata-se que a concentração do As no composto é de 28,41 ± 2,10 mg/Kg. Esta encontra-se dentro do limite máximo admissível para composto de categoria B, que é 75 mg/kg, embora acima do limite para composto de categoria A, que é de 13 mg/kg, segundo o Canadian Council of Ministers of Environment (Canadian Council of Ministers of Environment, 2005). Em Portugal este não é um parâmetro de controlado da qualidade do composto e por isso não há limites a observar no produto aqui estudado.

No composto estudado o Manganês (Mn) tem uma concentração de 844,5 ± 2,1 mg/kg no composto, ou seja, acima do valor máximo tolerado pelas plantas, que é de 500 mg/kg (Batista, M., 2005). Este facto não é negativo em si, dado que a

aplicação de um composto conduz necessariamente a uma diluição no solo onde é aplicado.

O Manganês, sendo um metal necessário ao metabolismo das plantas, pode tornar-se tóxico quando em excesso. A sua toxicidade manifesta-se principalmente em solos ácidos, onde o metal se encontra na forma Mn (II), mais solúvel e mais prontamente absorvida pelas plantas. Assim, por um lado o composto em estudo apresenta um pH básico (7,9) por outro, a disponibilidade do Manganês vai depender também do pH do solo e da sua constituição, pelo que seria necessário encontrar um índice oficial que permitisse avaliar o significado deste valor, já que em Portugal este parâmetro não se encontra entre os controlados para efeito da classificação do composto. No Canadá, por exemplo, este não é um parâmetro para o qual haja um índice a limitar a sua presença no composto. Assim, esta é uma das lacunas que poderia ser preenchida (Millareo, M. et al., 2010).

4.9. Comparação entre o composto estudado e outros com parâmetros publicados

Foram encontrados na literatura alguns parâmetros referentes a compostos de diversas origens que nos permitem fazer uma comparação com o composto aqui estudado.

Cunha-Queda (Cunha-Queda, 2010) apresenta um estudo de caracterização físico-química e biológica de produtos obtidos a partir de compostagem de diversos resíduos, onde se inclui fracção orgânica de resíduos sólidos urbanos (RSU) e lamas de estações de tratamentos de águas residuais (ETAR), composto esse que designaremos adiante por CRO e CL, respectivamente. Estudou ainda composto proveniente de resíduos verdes de parques e jardins (CRV1 e CRV2).

L. L. Sequeira (Sequeira, 2013) estudou composto preparado a partir de resíduos sólidos urbanos da empresa AMARSUL, S.A., adiante designado CRS, tendo avaliado também diversos parâmetros que vão ser comparados com os deste estudo.

L. Coelho (2007) apresenta um trabalho onde acompanha a maturação de composto preparado a partir de resíduos agro-industriais (laranja de refugo, bagaço de azeitona e aparas de relva), que designaremos adiante por CAI, tendo estudado

diversos parâmetros que nos permitem ter uma comparação com o composto por nós estudado.

G. E. Tarrento (Tarrento, 2008) estudou a eficiência de alguns produtos de compostagem produzidos por um período de 120 dias a partir de resíduos orgânicos de uma planta medicinal, lamas provenientes do tratamento de águas e lamas provenientes do tratamento de efluentes, tendo também apresentado alguns parâmetros comuns com este estudo. A amostra deste estudo será designada por CLT.

Na tabela 4.8 da página seguinte encontra-se um resumo dos parâmetros publicados para composto preparado a partir de RSU e de outras origens, por comparação com os deste estudo. Os parâmetros escolhidos dos trabalhos publicados são os que são comparáveis aos do presente trabalho.

Pode verificar-se que o presente estudo é mais extenso nalguns parâmetros, nomeadamente pedras e antropogénicos e metais pesados.

A massa volúmica pode ser comparada com algumas das amostras estudadas e encontra-se em valores da mesma ordem de grandeza.

Pode verificar-se relativamente ao pH que há grande diversidade de valores nas amostras de composto seleccionadas, devido à variedade de origens da matéria prima. No entanto, no que se refere a composto processado a partir de resíduos sólidos urbanos (amostras CRS e CRO), o pH do composto do nosso estudo apresenta um valor de pH ligeiramente inferior.

A condutividade eléctrica, por sua vez apresenta também um valor mais baixo do que o apresentado pelas restantes amostras provenientes de resíduos sólidos urbanos.

Análise da qualidade do composto produzido na unidade de Tratamento Mecânico e Biológico da GESAMB

Tabela 4.8. Parâmetros publicados para diversos tipos de composto.

Amostra/Parâmetro	CRO	CRS	CL	CRV1	CRV2	CLT	CAI	Este estudo
Massa volúmica (g. l⁻¹)		567,87					652,33	565,0
Antropogénicos (% total)								~22
Pedras (% total)								~5
Humidade (%)	24,51	~29	56,89	38,92	24,19		49-53	8,5
pH	9,14	8,71	4,76	8,59	7,81	6,31-8,07	7,22-7,53	7,92
Condutividade (mS.cm⁻¹)	4,78	3,12	1,25	1,55	1,33	2,59-3,71	0,30-0,41	2,93
C total (% m.s)	22,12	24,16	39,58	14,07	18,11	16-28	21,6-23,8	~18
Carbono / Azoto	7,57	10,90	18,16	11,49	16,84	~14	9,19	12,1
K⁺ (diferentes critérios)	4690,0		121,00	1700,0	1560,0	~2100		20598
Ca²⁺						~55000		51736
Mg²⁺ (diferentes critérios)	22,60		138,00	33,60	28,60	~3200		5098
Na⁺						~330		11754
Sódio / Potássio								0,55
Cd (mg Cd/kg m.s.)								3,274
Cr (mg Cr/kg m.s.)								70,64
Cu (mg Cu/kg m.s.)	50,51		157,57	11,30	11,62	~75		229,2
Ni (mg Ni/kg)								22,48
Pb (mg Pb/kg)								150,2
Zn (mg Zn/kg)	182,65		755,29	45,57	45,76	~140		466,8

No que se refere à concentração de C, esta é mais baixa que nalgumas das amostras apresentadas. No entanto a ordem de grandeza é semelhante e é superior à de algumas das amostras, nomeadamente as provenientes de resíduos de parques e jardins. Quanto à razão C/N ela tem um valor baixo relativamente ao desejável. No entanto apresenta-se dentro do intervalo de valores apresentados pelas amostras deste estudo comparativo. Se comparada com o mesmo parâmetro para amostras provenientes de resíduos sólidos urbanos, apresenta um valor superior e por isso mais favorável, do ponto de vista da aplicação agrícola.

Nos elementos as amostras CRO e CLT, ambas de compostos produzidos a partir de diversos resíduos e de uma fracção de lamas de tratamento de águas e de

efluentes, respectivamente, são as únicas amostras com valores mais elevados em relação às outras amostras, embora muito longe dos valores apresentados por o composto aqui em estudo.

Contudo, penso que poderá ser feita uma analogia entre estas amostras, visto que todas elas de alguma forma provêm de compostos produzidos a partir de algum tipo de resíduo urbano e como tal daí apresentarem valores mais elevados para os elementos minerais.

Quanto ao conteúdo de metais pesados é escassa a informação recolhida na literatura. Apenas são fornecidos nos estudos consultados, os valores de concentração de Cu e Zn. Para ambos os valores, o composto por nós estudado apresenta concentrações superiores às publicadas para as restantes amostras. No entanto, nestes dois parâmetros, os valores por nós encontrados enquadram o composto na classe IIA, ainda que comercializável para fins agrícolas.

Globalmente, o composto deste estudo é comparável em vários parâmetros a outros compostos preparados a partir de resíduos de origens semelhantes. No parâmetro C/N tem até um valor mais favorável.

Também Gonçalves e Santos (2003) efectuaram um estudo de vários compostos produzidos a partir de RSU em várias estações de compostagem (não denominadas) a operar em Portugal. As análises foram realizadas pelo Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva (LQARS). Este estudo pode ser consultado na tabela 4.9 da página seguinte, mais uma vez pode-se verificar que o composto em estudo.

Análise da qualidade do composto produzido na unidade de Tratamento Mecânico e Biológico da GESAMB

Tabela 4.9 – Comparação entre o estudo realizado por Gonçalves e Santos (2003) e este estudo.

Parâmetros	Estação A	Estação B	Estação C	Estação D	Este estudo
Humidade (%)	49,0	28,5	32,7	34,6	8,5
pH	6,5	7,8	7,1	7,0	7,92
C. Eléctrica (mS.cm ⁻¹)	5,1	4,3	3,2	4,5	2,93
C/N	23,2	12,7	11,0	18,0	12,1
Cádmio total (mg/kg)	1,0	1,0	2,0	0,8	3,27
Cobre total (mg/kg)	208	263	29	218	229,2
Crómio total (mg/kg)	93	50	63	44	70,64
Chumbo total (mg/kg)	228	290	404	299	150,2
Níquel total (mg/kg)	50	48	42	41	22,48
Zinco total (mg/kg)	433	594	514	543	466,8

A partir deste estudo podemos efectuar uma comparação com este trabalho.

A humidade está muito abaixo dos valores dos outros estudos, podendo revelar-nos que o composto está há demasiado tempo armazenado.

O pH apresenta valores semelhantes.

A condutividade eléctrica fica ligeiramente abaixo dos valores dos outros compostos, o que é favorável ao composto em estudo.

A razão C/N encontra-se em sintonia com os valores encontrados nos outros estudos.

Nos metais pesados a variação é maior, nomeadamente em relação ao Cádmio, que está significativamente acima dos outros estudos, em contrapartida o Chumbo e o Níquel estão muito abaixo dos valores dos outros compostos. Os restantes metais apresentam valores na mesma ordem de grandeza.

Pode-se concluir que o composto em estudo de um modo geral apresenta valores semelhantes aos apresentados pelos compostos produzidos por estas estações de compostagem.

Capítulo 5 - Conclusão e Sugestões

Após o término deste trabalho, pode-se dizer que em grande parte os objectivos inicialmente propostos foram alcançados. Salvo algumas excepções, como em relação à concentração de minerais e de metais pesados, que não foi possível por motivos técnicos obter na sua totalidade. Contudo os resultados obtidos evidenciam que a harmonização das metodologias utilizadas para a análise de composto nesses parâmetros foi essencial para uma correcta avaliação da qualidade do mesmo.

Deste modo e após uma análise dos resultados obtidos, podemos permitir-nos concluir que:

Em termos de cor, o composto no início do processo apresentava uma cor menos uniforme, mais não seja pela sua constituição e no final uma cor uniforme, sendo castanho. Quanto ao odor, este era intenso no início e no decorrer do processo, quer pela libertação de ácidos orgânicos quer de amoníaco e no final era praticamente inodoro. Por fim, em relação à textura, no início era irregular e com humidade, no final o composto encontrava-se seco, até um pouco polvorento e ainda algo irregular pela presença de antropogénicos e pedras.

O composto apresenta um valor médio de massa volúmica aparente que permite manter a boa porosidade do composto e revela ainda que o arejamento do substrato é adequado.

O composto apresenta valores de condutividade eléctrica dentro da gama de valores que diversos compostos apresentaram em outros estudos realizados em Portugal, embora se encontre acima dos valores de referência estabelecidos por especialistas em compostagem. Este aspecto poderá vir a ser ainda minimizado, quando o composto já estiver definitivamente afinado. Outra forma deste valor poder ser reduzido é durante a fase termofílica a rega ao material ser efectuada com água da rede pública em vez de ser efectuada com o lixiviado dos próprios resíduos, que evidentemente possui uma elevada presença de sais. Há a salientar

também, que os estudos referidos foram realizados em composto já completamente afinado, ao contrário do que acontece com o composto em causa no nosso estudo, dado que o mesmo se encontra ainda em fase experimental.

O pH do composto encontra-se dentro dos limites estabelecidos e tem um carácter básico, beneficiando assim, o crescimento das plantas.

O teor de humidade está abaixo do limite de 40%, apresentando valores entre os 6 e os 11%, revelando que o composto poderá ter estado armazenado demasiado tempo, uma vez que os outros parâmetros apontam para uma boa maturação.

O composto apresenta um teor de materiais inertes antropogénicos, muito elevado e um teor de pedras, que fica no limite do permitido. Este facto pode ter uma explicação, que reside numa afinação inadequada do crivo ou da mesa densimétrica na fase final do processo. Algo que facilmente pode ser resolvido com uma nova afinação dos mesmos, nomeadamente pela selecção de uma malha mais fina para o crivo.

A razão C/N do composto encontra-se dentro dos valores encontrados para compostos semelhantes, embora fique abaixo da gama de valores de referência. Contudo isto revela que o composto está maturado, dado que esta razão diminui com ao longo do processo.

Em relação à concentração de minerais, o composto apresenta uma concentração de Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Potássio (K) acima dos valores considerados críticos ou essenciais para o desenvolvimento das plantas. O valor da razão Sódio/Potássio (Na/K) é favorável a uma boa eficiência metabólica nas plantas.

Quanto aos metais pesados, todos os metais analisados apresentam valores de concentração que podem ser enquadrados nas classes estabelecidas e referidas anteriormente no capítulo I deste trabalho. Contudo, o Cádmiu apresenta valores que fazem com que o composto seja classificado numa classe III, seria oportuno repensar ao processo de produção para tentar diminuir esse valor. Assim, à

semelhança do que acontece na unidade da VALNOR (Portalegre) deveriam ser introduzidas triagens manuais em determinadas fases do processo, nomeadamente à saída do primeiro *trommel*, após a abertura dos sacos e também à saída do segundo *trommel*, evitando desta forma a passagem de resíduos metálicos.

Quanto à análise efectuada ao Manganês (Mn), este apresenta um valor muito acima do valor máximo tolerado pelas plantas, no entanto esse teor está estabelecido para plantas e não para solos ou composto, pelo que não deve ser considerado em si uma limitação ao uso do composto. O Arsénio apresenta valores dentro do permitido legalmente.

A possibilidade da atribuição de um rótulo ecológico a este composto está fora de alcance, pois este apresenta valores de concentração de metais pesados que excedem o estabelecido legalmente para esta atribuição.

Após uma análise exaustiva destes resultados e apesar de não termos disponível o valor exacto do Hg, esse valor não iria influenciar a classificação do composto, dado que o composto deve ser classificado na classe do seu metal pesado mais penalizante, e como o metal mais penalizante, o Cádmiio (Cd), se encontra na classe III, o composto é classificado na classe III.

Deste modo, o composto da classe III só pode ser utilizado nos solos onde não se pretendam implantar culturas destinadas à alimentação humana e animal.

Ainda assim, e dado que o único parâmetro que o situa na classe III é a concentração de Cd, que se situa ligeiramente acima do máximo permitido na classe IIA (3,27 em vez de 3 mg/kg m.s.) pensamos que este parâmetro exige uma amostragem ao longo do tempo que avalie estatisticamente se a concentração deste metal, e dos outros, nomeadamente o Hg que não foi doseado, permitindo a sua classificação numa classe mais favorável.

Em conclusão, apesar de haver alguns parâmetros a afinar, parece que a GESAMB se encontra no bom caminho para fornecer à região um composto com qualidade para poder ser utilizado em agricultura, isto é, poderá vir a contribuir para um desenvolvimento agrícola mais sustentável, aproveitando ainda a utilização dos

Análise da qualidade do composto produzido na unidade de Tratamento Mecânico e Biológico da GESAMB

resíduos sólidos urbanos disponíveis na região de Évora, traduzindo-se isso em benefícios económicos e ambientais.

Referências Bibliográficas

Agência Portuguesa do Ambiente. Consulta em 20 de Julho 2014 de: www.apambiente.pt

Agnew, J. M., & Leonard, J. J. (2003 a). The Physical Properties of Compost. *Compost Science & Utilization* , 11.

Anónimo, (2008). Especificações técnicas sobre a qualidade e utilização do composto. Recuperado em de: <http://pt.scribd.com/doc/71445752/Proposta-Norma-Composto-Versao31-Out-08>

Barreira, Luciana P., Junior, Arlindo P., Rodrigues, Mário S. (2006). Usinas de compostagem do estado de São Paulo: usinas dos compostos e processos de produção. *Engenharia Sanitária Ambiental*. Vol. 11-nº4-Out/Dez. P. 386.

Batista, Maria J. (2005). Comportamento geoquímico dos elementos. Laboratório Nacional de Energia e Geologia. P. 176. Recuperado em 13 de Abril de 2015 de: <http://www.lneg.pt/download/3304/cap6.pdf>

Brito, L. M. (2005), Manual de compostagem, Escola Superior Agrária de Ponte de Lima, Instituto Politécnico de Viana do Castelo. Recuperado em 13 de Julho de 2015 de: http://ci.esapl.pt/mbrito/compostagem/Manual_Compostagem.htm

Guidelines for compost quality (2005). Canadian Council of ministers of environment. P. 13. Recuperado em 13 de Abril de 2015 de: http://www.ccme.ca/files/Resources/waste/compostgdlns_1340_e.pdf

http://ca.iq.usp.br/novo/paginas_view.php?idPagina=7

Coelho, L. (2007). Compostagem de resíduos agro-industriais: monitorização do processo e avaliação da qualidade do composto. Mestrado em Agricultura Sustentável. Faculdade de Engenharia de Recursos Naturais da Universidade do

Algarve. Faro. Portugal. P. 9. Recuperado em 14 de Setembro de 2014 de: <https://sapientia.ualg.pt/bitstream/10400.1/520/1/Tese%20Final.pdf>

Cunha-Queda, C., (2007). Interreg iii b sudoe defor so2 /1.3/F64. La recherche au service du développement durable et la compétitivité du secteur forestier Sud Ouest Europée. Caracterização de compostos com vista à formulação de substratos. Instituto Superior de Agronomia. P.22. Recuperado em 18 de Setembro de 2014 de: <http://w3.pierroton.inra.fr/IEFC/activites/DEFOR/CaractCompost.pdf>

Cunha-Queda, C., Morais, M-C., Ribeiro, H. M. e Almeida, H. M. (2010), Caracterização de compostos e de materiais orgânicos para a formulação de substratos para viveiros, Revista de Ciências Agrárias, 33(1), 367-375.

Dias, J.C.S. (2004), Código de boas práticas agrícolas. Laboratório Químico-Agrícola Rebelo da Silva. P.13. Recuperado em 26 de Junho de 2014 de: <http://www.drapn.min-agricultura.pt/drapn/conteudos/zv/codigobpa.pdf>

Decisão da Comissão nº 2006/799/CE de 3 de Novembro de 2006, que estabelece os critérios ecológicos revistos e os respectivos requisitos de avaliação e verificação para a atribuição do rótulo ecológico comunitário aos suportes de cultura. Recuperado em 25 de Agosto de 2014 de: http://www.drapc.min-agricultura.pt/base/geral/files/rotulo_ecologico

Diário da República, 1.ª série — N.º 116— 17 de Junho de 2011. Decreto-Lei nº 73 de 2011. Altera o regime geral da gestão de resíduos. Lisboa, 2011. Recuperado em 25 de Agosto de 2014 de: http://www.apambiente.pt/zdata/Politicar/Residuos/DL_73_2011_DQR.pdf

Diário da República, 1ª série – N.º 164 – 27 de Agosto de 2007. Estabelece o regime da qualidade da água destinada ao consumo humano. Recuperado em 13 de Setembro de 2014 de: <http://dre.pt/pdf1s/2007/08/16400/0574705765.pdf>

Diário da República, 1.^a série-B - N.º 53 – 3 de Março de 2004. Portaria nº 209 de 2004. Estabelece a classificação dos resíduos urbanos. Lisboa, 2004. Recuperado em 24 de Junho de 2014 de: www.dre.pt/pdf1s/2004/03/053B00/11881206.pdf

Diário da República, 1.^a série- N.º 152 – 7 de Agosto de 2009. Portaria nº 851 de 2009. Estabelece o conjunto de normas técnicas relativas à caracterização dos resíduos urbanos. Lisboa, 2009. Recuperado em 25 de Agosto de 2014 de: <http://www.dre.pt/pdf1s/2009/08/15200/0514305146.pdf>

Diário da república, 1.^a série – N.º 179 – 17 de Setembro de 2014. Portaria n.º 187-A/2014. Aprova o Plano Estratégico para os Resíduos Urbanos (PERSU 2020), para Portugal Continental. Lisboa, 2014. Recuperado em 18 de Setembro de 2014 de: http://www.apambiente.pt/zdata/DESTAQUES/2014/Portaria_PlanoEstrategico_PERSU2020_final.pdf

Directiva 75/442/CEE, de 15 de Julho de 1975 relativa aos resíduos. Recuperado em 25 de Agosto de 2014 de: http://www.estg.ipg.pt/legislacao_ambiente/ficheiros/DC%2096-350-CE.pdf

Epstein, E. (1965). Mineral metabolism. Plant Biochemistry (J.Bonner and J.E. Varner, eds.) Academic Press, London. P.438-466.

Epstein, E. (1997). The Science of Composing. *Techononic Publishing Co.*, Lancaster.

Fernandes, P. (1999). Estudo comparativo e avaliação de diferentes sistemas de compostagem de resíduos sólidos urbanos. Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. Faculdade de Ciências e tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra. Portugal. P. 41. Recuperado em 13 de Setembro de 2014 de:

https://iconline.ipleria.pt/bitstream/10400.8/52/1/MSc_Thesis_PauloFernandes.pdf

Gesamb - GESAMB – Gestão Ambiental e de Resíduos, EIM. Recuperado em 26 de Junho de 2014 de: <http://www.gesamb.pt/Sirsu/TMB>

Gesamb, (2013). Plano de HACCP aplicado à compostagem na UTMB Gesamb Resialentejo e AMCAL.

Gonçalves, Manuel S. (2005). Gestão de resíduos orgânicos. Sociedade Portuguesa de Inovação. 1ª edição. Porto. P.12;14. Recuperado em 25 de Agosto de 2014 de http://www2.spi.pt/agroambiente/docs/Manual_III.pdf

Gonçalves, M.S. & Baptista, M. (2005). Proposta de norma técnica sobre qualidade e utilizações do composto. Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva/ INIA, Lisboa.

Inácio, C. & Miller, P. (2009). Compostagem: Ciência prática para a gestão de resíduos orgânicos. Embrapa Solos. Rio de Janeiro, Brasil. 1. Recuperado em 26 de Junho de 2014 de: http://livraria.sct.embrapa.br/liv_resumos/pdf/00050740.pdf

Jones, A., Panagos, P., Barcelo, S., Bouraoui, F., Bosco, C., Dewitte, O., Gradi, C., Erhard, M., Hervás, J., Hiederer, R., Jeffery, S., Lukeville, A., Marmo, L., Montanarella, L., Olazábal, C., Petersen, J-E., Penizek, V., Strassburger, T., Tóth, G., Van den Eeckhaut, M., Van Liedekerke, M., Verheijen, F., Viestova, E., Yigini, Y. (2012). The state of soil in Europe. Joint Research Centre: Institut for environment and sustainability. European Environment Agency: European Commission.10-11. Recuperado em 26 de Junho de 2014 de: http://ec.europa.eu/dgs/jrc/downloads/jrc_reference_report_2012_02_soil.pdf

Mendes, J., (2011). Compostagem de espécies invasoras de *Acacia longifolia* e *Acacia melanoxylon*. Dissertação para a obtenção do grau de mestre em Gestão Ambiental e Ordenamento do território. Instituto Politécnico de Viana do castelo – Escola superior Agrária de Ponte de Lima. Portugal. P. 29. Recuperado em 1 de Abril de 2015 de: http://repositorio.ipv.pt/bitstream/123456789/1135/1/Joana_Mendes_1182.pdf

Methods book for analysis of compost. (2003). Federal Compost Quality Assurance Organisation (FCQAO). Germany. Recuperado em 5 de Junho de 2014 de: http://www.kompost.de/fileadmin/docs/shop/Grundlagen_GS/Methods_Book_2002.pdf

Neto, A.D.A, Tabosa, J.N. (2002). Estresse salino em plântulas de milho: parte II distribuição dos macronutrientes catiónicos e suas relações com o sódio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Vol. 4. Nº 2. Campina Grande. Brasil. Recuperado em 14 de Abril de 2015 de: <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v4n2/v4n2a06.pdf>

NORMA ESPANHOLA 12579, de Novembro de 2000. (UNE-EN 12579:2000). Mejoradores del suelo y substratos de cultivo. Toma de muestras.

NORMA ESPANHOLA 13040, de Abril de 2008. (UNE-EN 13040: 2008). Mejoradores de suelo y sustratos de cultivo. Preparación de la muestra para ensayos físicos y químicos. Determinación del contenido de matéria seca, del contenido de humedad y de la densidade aparente compactada en laboratório.

Oliveira, R. V. (2010), Testes de maturação aplicados a matrizes bioestabilizada, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.

PERSU II, (2007). Plano estratégico para os resíduos sólidos urbanos 2007. Recuperado em 17 de Março de 2014 de: http://www.apambiente.pt/_zdata/Políticas/Residuos/Planeamento/PERSU_II/Portaria_187_2007_PERSU_II.pdf

RARU 2012, Relatório anual de resíduos urbanos, (2013). Agência Portuguesa do Ambiente. Amadora. Outubro, 2013. Recuperado em 17 de Março de 2014 de: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=933&sub3ref=936>

RARU 2013, Relatório anual de resíduos urbanos, (2014). Agência Portuguesa do Ambiente. Amadora. Outubro, 2014. Recuperado em 2 de Outubro de 2015 de: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=933&sub3ref=936>

Regulamento (CEE) nº 2092/91 do Conselho, de 24 de Junho de 1991 e anexos, relativo ao modo de produção biológico de produtos agrícolas e à sua indicação nos produtos agrícolas e nos géneros alimentícios. Recuperado em 25 de Agosto de 2014 de: <http://www.proder.pt/ResourcesUser/Legisla%C3%A7%C3%A3o/Comunit%C3%A1ria/Regulamenton%C2%BA2092-91.pdf> e em http://www.agricultura.gov.br/arg_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Organicos/Legislacao/Internacional/Uniao_Europeia_2092-1991_de_24-06-1991.pdf

Regulamento (CE) nº 1980/2000 do Parlamento Europeu e do Conselho de 17 de Julho de 2000, relativo a um sistema comunitário revisto de atribuição de rótulo ecológico. Recuperado em 25 de Agosto de 2014 de: [http://www.estg.ipg.pt/legislacao_ambiente/ficheiros/R%20\(CE\)1980-2000.pdf](http://www.estg.ipg.pt/legislacao_ambiente/ficheiros/R%20(CE)1980-2000.pdf)

Santos, J., (2007). Caracterização físico-química e biológica em diferentes laboratórios de produtos obtidos a partir da compostagem de resíduos orgânicos biodegradáveis. Dissertação de mestrado para a obtenção do grau de mestre em Ecologia Aplicada. Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. Departamento de Zoologia e Antropologia. Porto. Portugal. P. 57. Recuperado em 18 de Setembro de 2014 de: http://www.fc.up.pt/fcup/contactos/teses/t_040370104.pdf

Sartori, V.C., Ribeiro, R.T.S., Pauletti, G.F., Pausera, M.R., Rupp, L.C.D., Venturin, L. (2012). Cartilha para agricultores. Compostagem. Produção de fertilizantes a partir de resíduos orgânicos. Universidade de Caxias do Sul. Brasil. P.16. Recuperado em 2 de Abril de 2015 de: <http://www.ucs.br/site/midia/arquivos/cartilha-agricultores-compostagem.pdf>

Sequeira, L. L. (2013), Compostagem de resíduos sólidos urbanos e avaliação da qualidade dos produtos obtidos – caso de estudo ARMASUL S. A., Dissertação para obtenção do Grau de Mestre, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa.

Silva, F., Mateus, I., Marçal, A., Ricardo, S. & Pires, S. (2013). RARU - Relatório anual de resíduos urbanos 2012. Agência Portuguesa do Ambiente – Departamento de Resíduos. Amadora. Recuperado em 26 de Junho de 2014 de: <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=933&sub3ref=936>

Silva, F.C., Chitolina, J.C., Grossi, D.B.M., Gomes, T.F., Lupinacci, A.V. (2007). Avaliação de formas de micronutrientes Cobre (Cu), Manganês (Mn) e Zinco (Zn) durante o processo de compostagem. *International Conference on Engeneering and Computer Education*. São Paulo. Brasil. P.493. recuperado em 2 de Abril de 2015 de: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/8324/avaliacao-de-formas-de-micronutrientes-cobre-cu-manganes-mn-e-zinco-zn-durante-o-processo-de-compostagem>

Tarrento, G. E. (2008), Processo de produção de composto orgânico derivado de resíduos industriais com aplicação no cultivo de alface, Dissertação apresentada para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Produção, Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil.

Teixeira, C. (2009). Avaliação da estabilidade do composto pelo teste do auto-aquecimento. Dissertação de mestrado para obtenção do grau de mestre em Engenharia do Ambiente, perfil de Engenharia Sanitária. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa. Portugal. P. 35. Recuperado em 13 de Setembro de 2014 de: http://run.unl.pt/bitstream/10362/2026/1/Teixeira_2009.pdf

Test methods for examination of composting and compost: Sample collection and laboratory preparation-field sampling of compost materials. The US Composting

Council Research and Education Foundation & The United States Department of Agriculture (2001). Recuperado em 22 de Junho de 2014 de: <http://compostingcouncil.org/admin/wp-content/plugins/wp-pdfupload/pdf/34/TMECC%20Field%20Sampling%20Protocol.pdf>

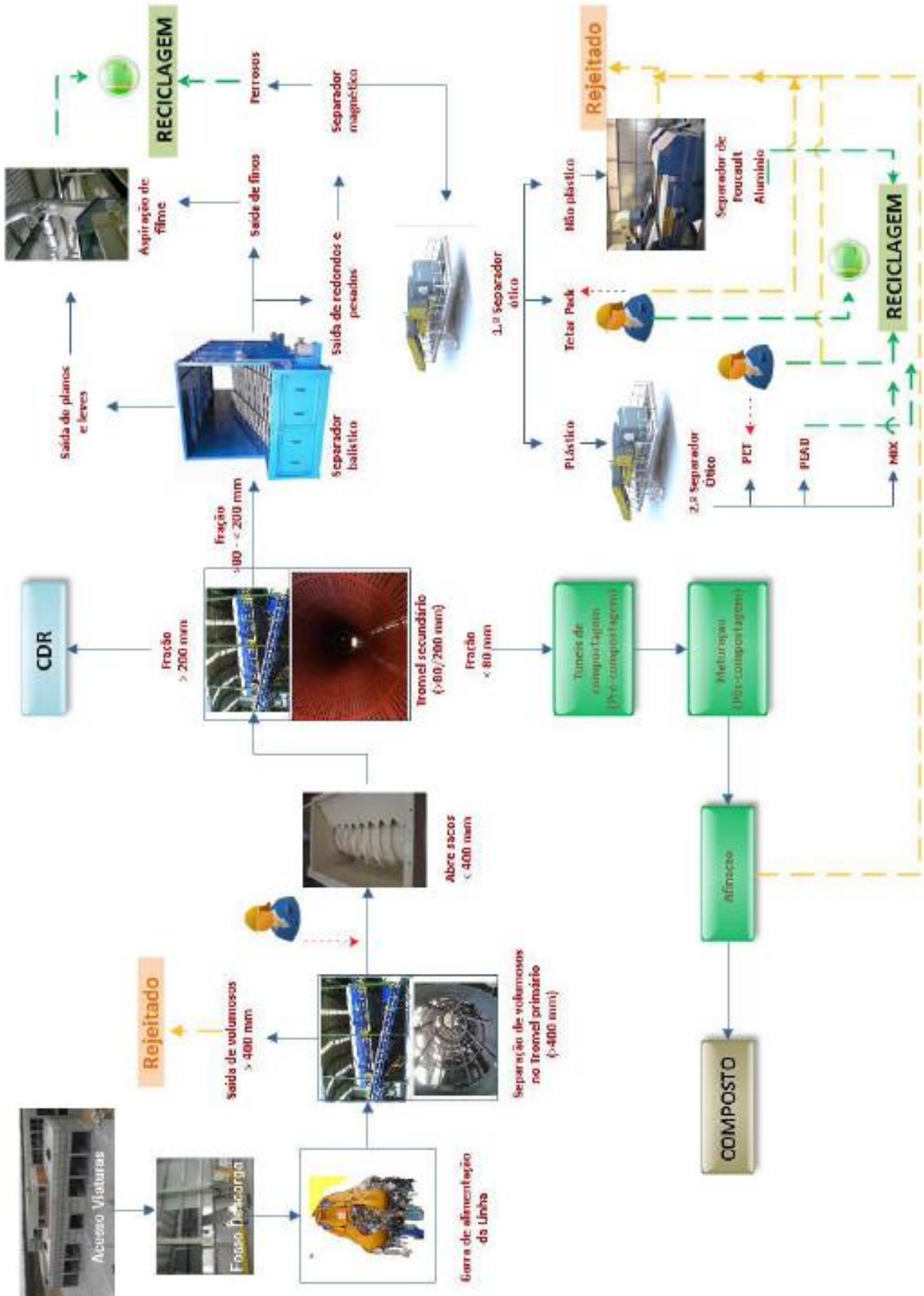
VALNOR. Recuperado em 17 de Outubro de 2015 de: <http://www.valnor.pt/LinkClick.aspx?fileticket=9tFcvOucf2c%3d&tabid=149&language=en-US>

Xinde Cao e Lena Q. Ma (2004), "Effects of compost and phosphate on plant arsenic accumulation from soils near pressure-treated wood", *Environmental Pollution*, 132 (2004), 435–442.

Anexos

Anexo I – Esquema da unidade de TMB da GESAMB.

Fonte: <http://www.gesamb.pt/Sirsu/TMB>



Anexo II - Listagem dos Resíduos que podem ser utilizados para a produção de Composto.

Fonte: “Especificações Técnicas sobre Qualidade e Utilizações do Composto” (Anónimo, 2008).

02 RESÍDUOS DA AGRICULTURA, HORTICULTURA, AQUACULTURA, SILVICULTURA, CAÇA E PESCA, E DA PREPARAÇÃO E PROCESSAMENTO DE PRODUTOS ALIMENTARES

02 01 Resíduos da agricultura, horticultura, aquacultura, silvicultura, caça e pesca

02 01 01 Lamas provenientes da lavagem e limpeza

02 01 02 Resíduos de tecidos animais

02 01 03 Resíduos de tecidos vegetais

02 01 06 Fezes, urina e estrume de animais (incluindo palha suja), efluentes recolhidos separadamente e tratados noutra local

02 01 07 Resíduos silvícolas

02 02 Resíduos da preparação e processamento de carne, peixe e outros produtos alimentares de origem animal

02 02 01 Lamas provenientes da lavagem e limpeza

02 02 02 Resíduos de tecidos animais

02 02 03 Materiais impróprios para consumo ou processamento

02 02 04 Lamas do tratamento local de efluentes

02 03 Resíduos da preparação e processamento de frutos, legumes, cereais, óleos alimentares, cacau, café, chá e tabaco; resíduos da produção de conservas; resíduos da produção de levedura e extracto de levedura, e da preparação e fermentação de melaços

02 03 01 Lamas de lavagem, limpeza, descasque, centrifugação e separação

02 03 04 Materiais impróprios para consumo ou processamento

02 03 05 Lamas do tratamento local de efluentes

02 04 Resíduos do processamento de açúcar

02 04 03 Lamas do tratamento local de efluentes

02 05 Resíduos da indústria de lacticínios

02 05 01 Materiais impróprios para consumo ou processamento

02 05 02 Lamas do tratamento local de efluentes

02 06 Resíduos da indústria de panificação, pastelaria e confeitaria

02 06 01 Materiais impróprios para consumo ou processamento

02 06 03 Lamas do tratamento local de efluentes

02 07 Resíduos da produção de bebidas alcoólicas e não alcoólicas (excluindo café, chá e cacau)

02 07 01 Resíduos da lavagem, limpeza e redução mecânica das matérias-primas

02 07 02 Resíduos da destilação de álcool

02 07 04 Materiais impróprios para consumo ou processamento

02 07 05 Lamas do tratamento local de efluentes

03 RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DE MADEIRA E DO FABRICO DE PAINÉIS, MOBILIÁRIO, PASTA PARA PAPEL, PAPEL E CARTÃO

03 01 Resíduos do processamento de madeira e fabrico de painéis e mobiliário

03 01 01 Resíduos do descasque de madeira e de cortiça

03 01 05 Serradura, aparas, fitas de aplainamento, madeira, aglomerados e folheados, não abrangidos em 03 0104

03 03 Resíduos da produção e da transformação de pasta para papel, papel e cartão

03 03 01 Resíduos do descasque de madeira e de madeira

03 03 07 Rejeitados mecanicamente separados, do fabrico de pasta a partir de papel e cartão usado

03 03 08 Resíduos da triagem de papel e cartão destinados a reciclagem

03 03 10 Rejeitados de fibras e lamas de fibras, filers e revestimentos, provenientes da separação mecânica

03 03 11 Lamas do tratamento local de efluentes, não abrangidas em 03 03 10

04 RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DO COURO E PRODUTOS DE COURO E DA INDÚSTRIA TÊXTIL

04 01 Resíduos da indústria do couro e produtos de couro

04 01 07 Lamas, em especial do tratamento local de efluentes, sem crómio

04 02 Resíduos da indústria têxtil

04 02 20 Lamas do tratamento local de efluentes, não abrangidos em 04 02 19

04 02 21 Resíduos de fibras têxteis não processadas

15 RESÍDUOS DE EMBALAGENS, ABSORVENTES, PANOS DE LIMPEZA, MATERIAIS FILTRANTES E VESTUÁRIO DE PROTECÇÃO NÃO ANTERIORMENTE ESPECIFICADOS

15 01 Embalagens (incluindo resíduos urbanos e equiparados de embalagens, recolhidos separadamente)

15 01 01 Embalagens de papel e cartão

15 01 03 Embalagens de madeira4

19 RESÍDUOS DE INSTALAÇÕES DE GESTÃO DE RESÍDUOS, DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS E DA PREPARAÇÃO DE ÁGUA PARA CONSUMO E ÁGUA PARA CONSUMO INDUSTRIAL

19 06 Resíduos do tratamento anaeróbio de resíduos

19 06 04 Lamas e lodos de digestores de tratamento anaeróbio de resíduos urbanos e equiparados

19 06 06 Lamas e lodos de digestores de tratamento anaeróbio de resíduos animais e vegetais

19 08 Resíduos de estações de tratamento de águas residuais não anteriormente especificados

19 08 05 Lamas do tratamento de águas residuais urbanas

19 08 12 Lamas do tratamento biológico de águas residuais industriais, não abrangidas em 19 08 11

19 08 14 Lamas de outros tratamentos de águas residuais industriais, não abrangidas em 19 08 13

20 RESÍDUOS URBANOS E EQUIPARADOS (RESÍDUOS DOMÉSTICOS, DO COMÉRCIO, INDÚSTRIA E SERVIÇOS), INCLUINDO AS FRACÇÕES RECOLHIDAS SELECTIVAMENTE

20 01 Fracções recolhidas selectivamente (excepto 15 01)

20 01 01 Papel e cartão (desde que não viável a sua reciclagem)

20 01 08 Resíduos biodegradáveis de cozinhas e cantinas

20 01 38 Madeira não abrangida em 20 01 37

20 02 Resíduos de jardins e parques (incluindo cemitérios)

20 02 01 Resíduos biodegradáveis

20 03 Outros resíduos urbanos e equiparados

20 03 01 Misturas de resíduos urbanos e equiparados

20 03 02 Resíduos de mercados

Anexo III – Granulometria da amostra húmida.

AIII-1 – Massa (gramas) das sub-amostras retida nos crivos.

Crivo (mm)	CAE 001 (gramas)	CAE 002 (gramas)
40	0	0
25	0,528	0
20	2,643	0,950
5	124,503	120,306
2	89,356	96,054
1	79,382	86,674
0,5	72,653	80,372

AIII-2 – Granulometria (% m/m) das sub-amostras retidas nos crivos.

	CAE 001 (% m/m)	CAE 002 (% m/m)
Crivo 40 mm	0	0
Crivo 25 mm	0,15	0
Crivo 20 mm	0,72	0,25
Crivo 5 mm	33,73	31,3
Crivo 2 mm	24,21	24,99
Crivo 1 mm	21,51	22,55
Crivo 0,5 mm	19,68	20,91

Anexo IV – Determinação do conteúdo de matéria seca e do conteúdo de umidade.

AIV-1 – Massa (gramas) inicial das sub-amostras com o tabuleiro e massa da bandeja.

Tabuleiro	Massa Inicial da sub-amostra + Massa da bandeja (gramas)	Massa da bandeja (gramas)
CAE 001-1	249,941	10,409
CAE 001-2	282,879	10,402
CAE 002-1	250,875	10,313
CAE 002-2	281,312	10,416

AIV-2 - Evolução da perda de massa (gramas) das sub-amostras CAE 001-1 e CAE-002-1.

Tempo (horas)	CAE 001-1				CAE 002-1			
	Massa (gramas)	Massa perdida (gramas)	Conteúdo Matéria Seca (%)	Conteúdo de Umidade (%)	Massa (gramas)	Massa perdida (gramas)	Conteúdo Matéria Seca (%)	Conteúdo de Umidade (%)
0	249,941	-	-	-	250,875	-	-	-
24	225,053	24,890	-	-	236,199	14,68	-	-
48	224,951	0,102	-	-	236,157	0,042	-	-
72	224,468	0,507	-	-	225,160	0,428	-	-
96	224,432	0,036	-	-	225,089	0,071	-	-
120	224,382	0,05	89,3	10,7	224,997	0,092	89,2	10,8

AIV-3 – Teor de matéria seca e de umidade (% m/m) presente nas sub-amostras.

	CAE 001-1	CAE 002-1
Teor de matéria seca (% m/m)	89,3	10,7
Teor de umidade (% m/m)	89,2	10,8

Anexo V – Granulometria da amostra seca: Materiais inertes, antropogénicos e pedras.

AV-1 – Fracções (em gramas) retidas nos crivos da amostra CAE 001-1.

	CAE 001-1		
Crivos (mm)	Pedras (g)	Antropogénicos (g)	Composto (g)
40	0	0	0
25	0	0	0
20	0	0	0
10	2,377	15,005	0
5	12,893	24,213	0
2		30,527	0
1			34,525
0,5			30,481
Massa total	15,270	72,825	65,006

AV-2 - Fracções (em gramas) retidas nos crivos da amostra CAE 001-2.

	CAE 001-2		
Crivos (mm)	Pedras (g)	Antropogénicos (g)	Composto (g)
40	0	0	0
25	0	0	0
20	0	0	0
10	0	20,782	0
5	10,660	16,392	13,275
2		6,886	36,719
1			35,268
0,5			32,767
Massa total	10,660	44,060	118,029

Análise da qualidade do composto produzido na unidade de Tratamento Mecânico e Biológico da GESAMB

AV-3 - Frações (em gramas) retidas nos crivos da amostra CAE 002-1.

CAE 002-1			
Crivos (mm)	Pedras (g)	Antropogénicos (g)	Composto (g)
40	0	0	0
25	0	0	0
20	0	0,875	0
10	2,539	12,400	0
5	9,506	21,167	10,460
2		3,300	23,360
1			36,212
0,5			45,290
Massa Final	12,045	37,742	115,322

AV-4 - Frações (em gramas) retidas nos crivos da amostra CAE 002-2.

CAE 002-2			
Crivos (mm)	Pedras (g)	Antropogénicos (g)	Composto (g)
40	0	0	0
25	0	0	0
20	0	0	0
10	3,008	5,992	0
5	6,835	19,913	10,111
2		10,544	46,312
1			43,084
0,5			24,780
Massa total	9,843	36,449	124,287

Anexo VI – Elementos minerais

Determinação do Sódio por ICP-MS

Tabela VI.1 - Características e concentração das amostras na análise do Sódio por ICP-MS.

Amostra	m_a (mg)	C_{60} (mg/l)	C (mg/l)	C_a (mg/kg)
AE01	98,8	389,016	23341	11812
AE02	106,0	408,827	24530	11571
AE03	94,1	368,181	22091	11738
AE04	97,7	390,545	23433	11992
AE05	99,6	386,998	23220	11657
Média				11754
Desvio padrão				161

C_{60} – diluição 60x da solução original; C – concentração da diluição original;

C_a e m_a – concentração e massa da amostra seca.

Determinação do Potássio por ICP-MS

Tabela VI.2. Características e concentração das amostras na análise do Potássio por ICP-MS.

Amostra	m_a (mg)	C_{60} (mg/l)	C (mg/l)	C_a (mg/kg)
AE01	98,8	693,940	41636	21071
AE02	106,0	730,083	43804	20663
AE03	94,1	644,115	38647	20535
AE04	97,7	669,342	40161	20553
AE05	99,6	669,659	40180	20170
Média				20598
Desvio padrão				323

C_{60} – diluição 60x da solução original; C – concentração da diluição original;

C_a e m_a – concentração e massa da amostra seca.

Determinação do Cálcio por ICP-AES

Tabela VI.3. Curva de calibração do ICP-AES para o Cálcio ao comprimento de onda de 315,887 nm.

C (mg/l)	I(corr)
0	0
5	7349,855
10	35786,44
50	71630,78

C- concentração do padrão;

I(corr) – Contagens de ICP, corrigido para zero.

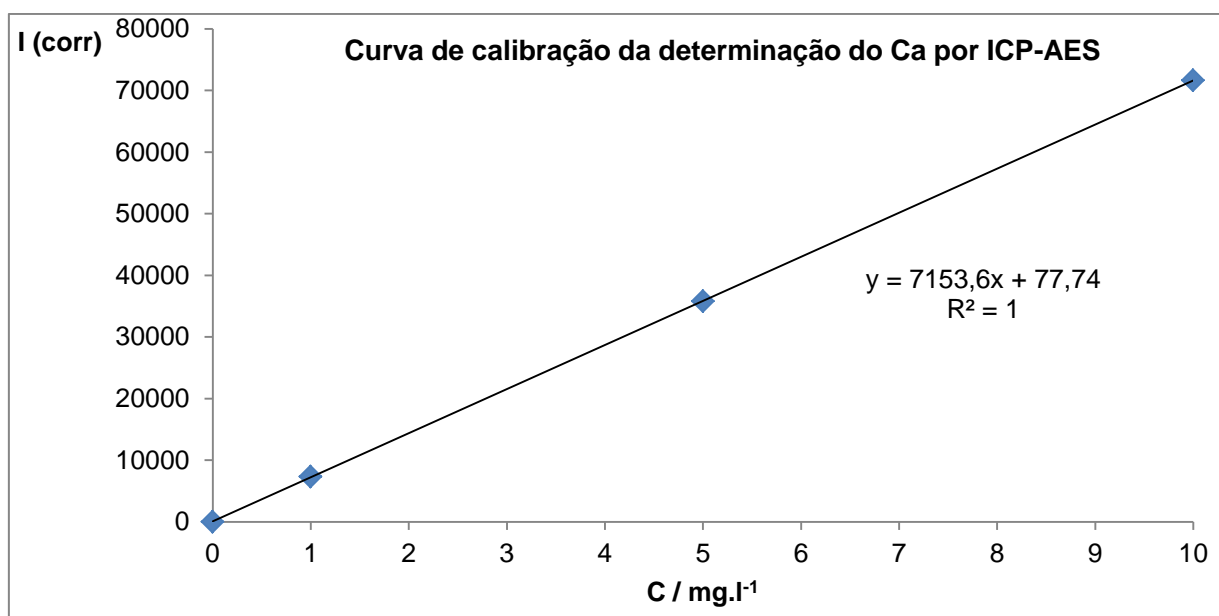


Figura VI.1. Curva de calibração da determinação do Ca por ICP-AES.

Tabela VI.4. Características, resposta e concentração das amostras na análise do Cálcio a 315,887 nm por ICP-AES.

Amostra	m_a (g)	V (ml)	I(corr)	C₂₀ (mg/l)	C_a (mg/kg)
AE01	0,3097	20	6140153,5	858,3229	55429
AE02	0,3009	20	50384981,4	775,1106	51519
AE03	0,3077	20	5544888,1	765,1841	49736
AE05	0,3016	20	5473878,3	757,8839	50258
Média					51736
Desvio padrão					2574

Determinação do Magnésio por ICP-AES

Tabela VI.5. Curva de calibração do ICP-AES para o Magnésio.

C (mg/l)	I(corr)
0	0
1	18230,04
5	161590,2
10	88948,49

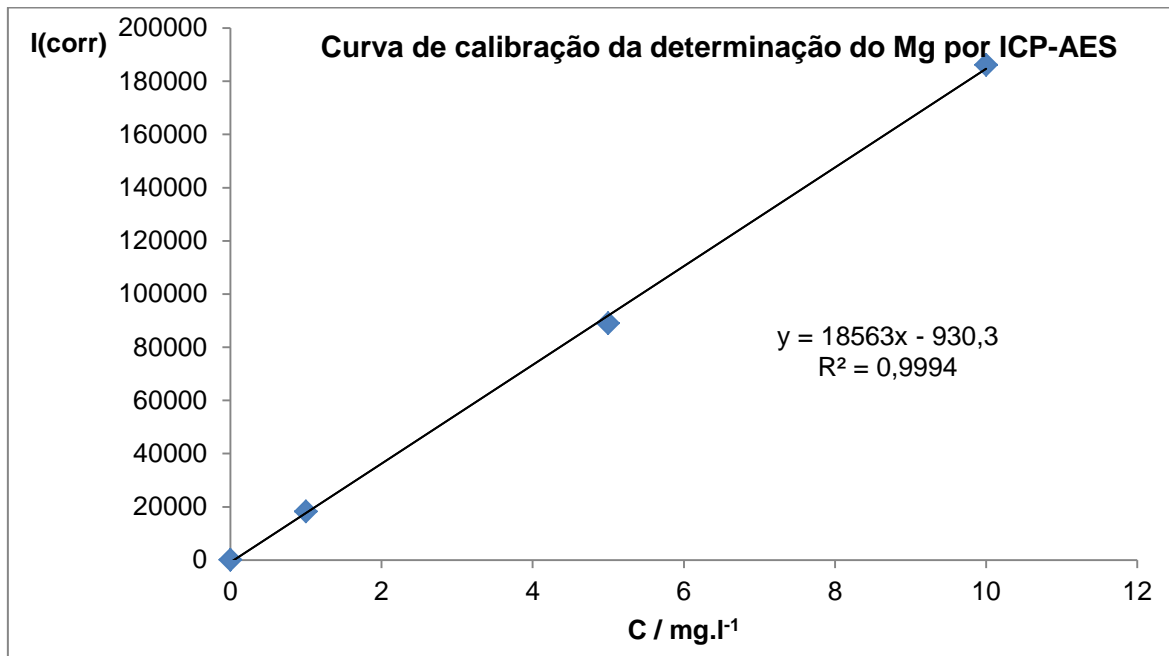


Figura VI.2. Curva de calibração da determinação do Mg por ICP-AES.

Tabela VI.6. Características, resposta e concentração das amostras na análise do Magnésio por ICP-AES.

Amostra	m_a (g)	V (ml)	I(corr)	C_{20} (mg/l)	C_a (mg/kg)
AE01	0,3097	20	1380995,081	74,4454	4807,6
AE02	0,3009	20	963373,7896	51,9478	3452,8
AE03	0,3077	20	1602451,562	86,3754	5614,3
AE05	0,3016	20	1823794,379	98,2993	6518,5
Média					5098
Desvio padrão					1301

Anexo VII - Metais Pesados

Determinação do Cádmiu por ICP-AES

Tabela VII.1. Curva de calibração do ICP-AES para o Cádmiu ao comprimento de onda de 228,80 nm.

C (mg/l)	I(corr)
0	0
0,03	385,10
0,15	4002,96
0,5	16988,82
1,0	34471,60

C- concentração do padrão;
I(corr) – intensidade em contagens de ICP, corrigida para zero.

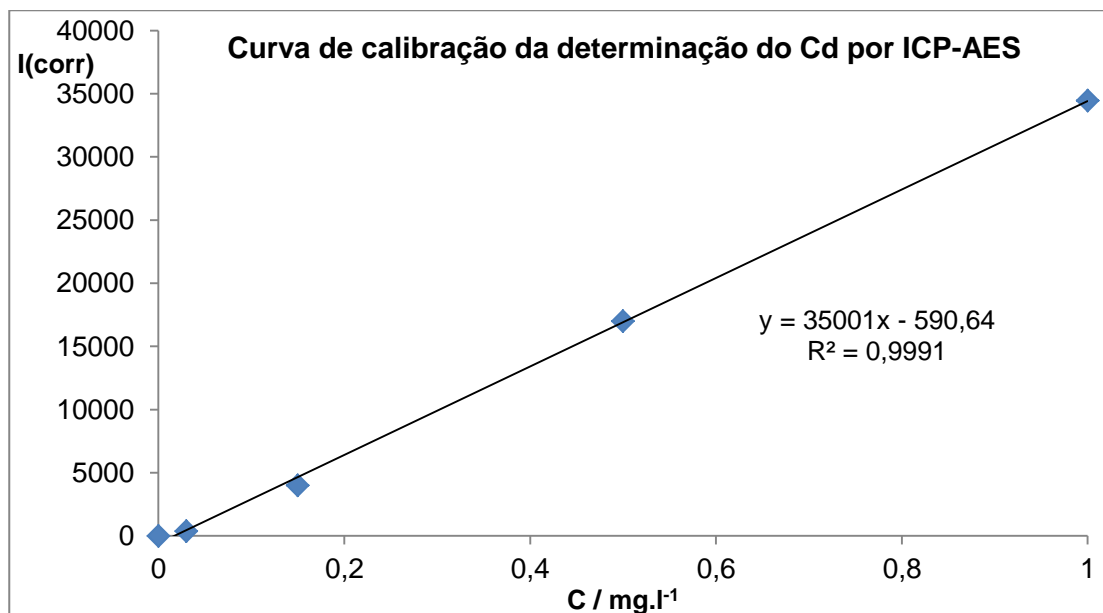


Figura VII.1. Curva de calibração da determinação do Cd por ICP-AES.

Tabela VII.2. Características, resposta e concentração das amostras na análise do Cádmiu a 228,80 nm por ICP-AES.

Amostra	m_a (g)	V (ml)	I(corr)	C₂₀ (mg/l)	C_a (mg/kg)
AE01	0,3097	20	1262,554	0,0529470	3,4192
AE02	0,3009	20	1095,866	0,0481846	3,2027
AE03	0,3077	20	1166,947	0,0502154	3,2639
AE05	0,3016	20	1104,796	0,0484397	3,2122
Média					3,274
Desvio padrão					0,100

Determinação do Crômio por ICP-AES

Tabela VII.3. Curva de calibração do ICP-AES para o Crômio ao comprimento de onda de 267,716 nm.

C (mg/l)	I(corr)
0	0
0,03	1048,892
0,15	4649,847
0,5	17450,03
1	33190,28

C- concentração do padrão;
I(corr) – Contagens de ICP, corrigido para zero.

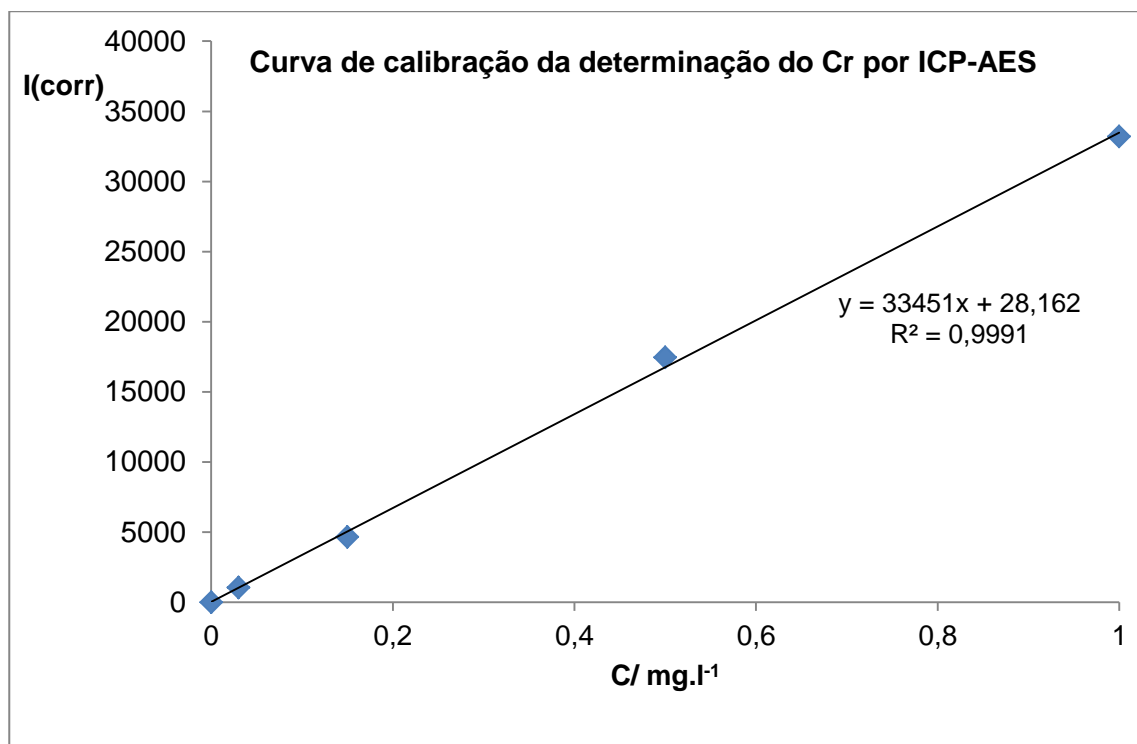


Figura VII.2. Curva de calibração da determinação do Cr por ICP-AES.

Tabela VII.4. Características, resposta e concentração das amostras na análise do Crômio a 267,716 nm por ICP-AES.

Amostra	m_a (g)	V (ml)	I(corr)	C_{20} (mg/l)	C_a (mg/kg)
AE01	0,3097	20	41229,935	1,2317	79,541
AE02	0,3009	20	35955,816	1,0740	71,388
AE03	0,3077	20	32420,686	0,9683	62,941
AE05	0,3016	20	34672,048	1,0357	68,677
Média					70,64
Desvio padrão					6,90

Determinação do Cobre por ICP-AES

Tabela VII.5. Curva de calibração do ICP-AES para o Cobre ao comprimento de onda de 224,700 nm.

C (mg/l)	I(corr)
0	0
5	9530,894
10	19257,62
50	83582,77

C- concentração do padrão;
I(corr) – Contagens de ICP, corrigido para zero.

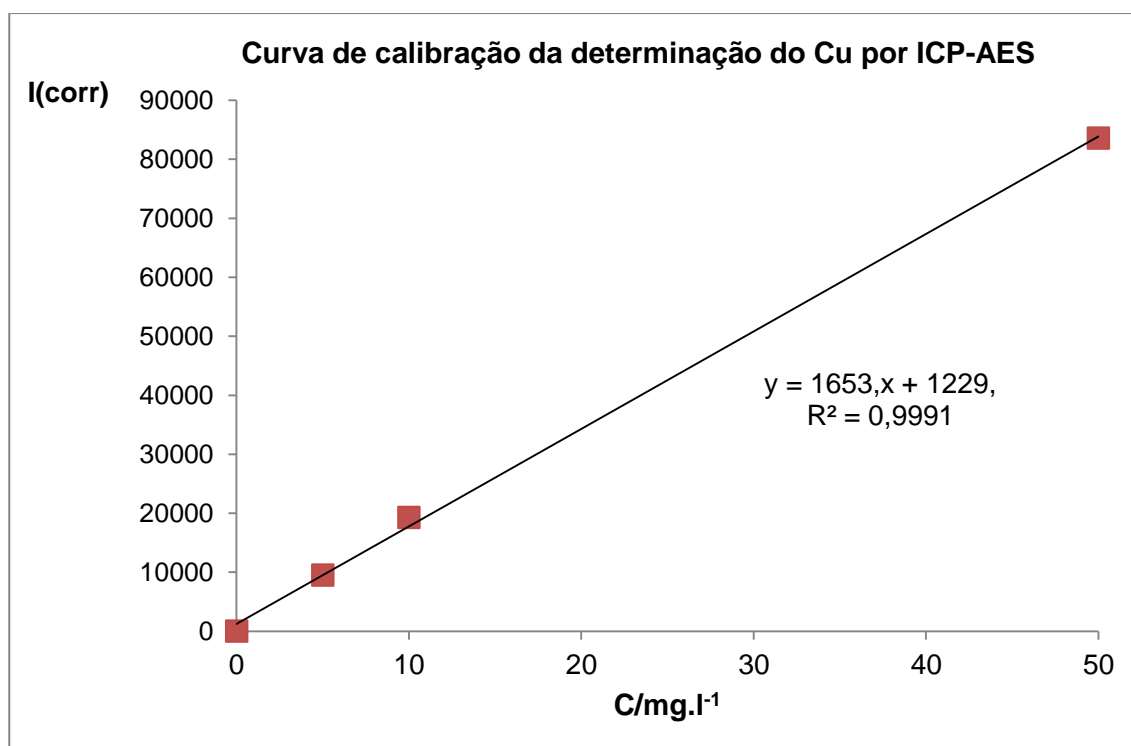


Figura VII.3. Curva de calibração da determinação do Cu por ICP-AES.

Tabela VII.6. Características, resposta e concentração das amostras na análise do Cobre a 224,700 nm por ICP-AES.

Amostra	m_a (g)	V (ml)	I(corr)	C_{20} (mg/l)	C_a (mg/kg)
AE01	0,3097	20	7281,201	3,6607	236,4043
AE02	0,3009	20	6697,31	3,3075	219,8415
AE03	0,3077	20	7169,026	3,5929	233,5303
AE05	0,3016	20	6891,513	3,4250	227,1214
Média			6891,513		229,2244
Desvio padrão					7,361

Determinação do Níquel por ICP-AES

Tabela VII.7. Curva de calibração do ICP-AES para o Níquel ao comprimento de onda de 231,604 nm.

C (mg/l)	I(corr)
0	0
0,03	380,8977
0,15	2665,559
0,5	10252,49
1,0	20456,15

C- concentração do padrão;
I(corr) – Contagens de ICP, corrigido para zero.

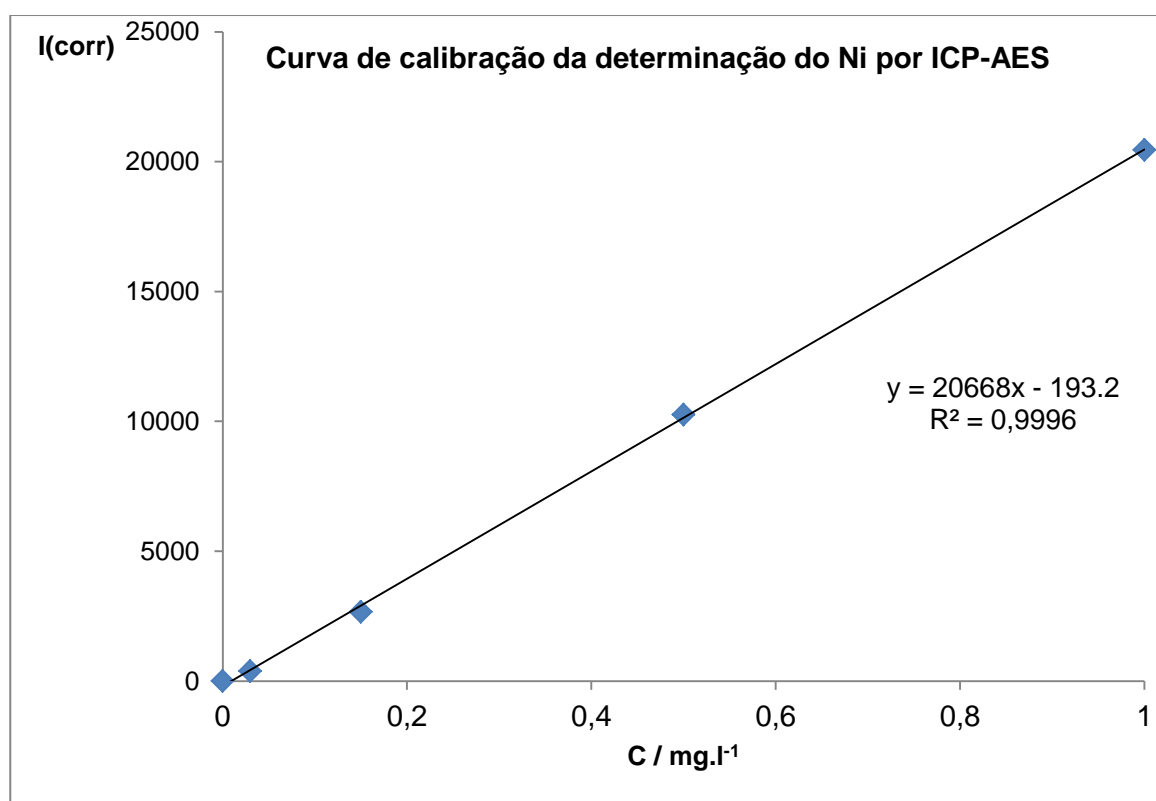


Figura VII.4. Curva de calibração da determinação do Ni por ICP-AES.

Tabela VII.8. Características, resposta e concentração das amostras na análise do Níquel 231,604 nm por ICP-AES.

Amostra	m_a (g)	V (ml)	I(corr)	C_{20} (mg/l)	C_a (mg/kg)
AE01	0,3097	20	8476,411386	0,4194817	27,089536
AE02	0,3009	20	6819,492045	0,3393130	22,553209
AE03	0,3077	20	6173,629677	0,3080636	20,023633
AE05	0,3016	20	6120,236023	0,3054802	20,257308
Média					22,480921
Desvio padrão					3,2775641

Determinação do Chumbo por ICP-AES

Tabela VII.9. Curva de calibração do ICP-AES para o Chumbo a 220,353 nm.

C (mg/l)	I(corr)
0	0
5	2765,204
10	5555,349
50	24898,26
100	53654,51

C- concentração do padrão;
I(corr) – Contagens de ICP, corrigido para zero.

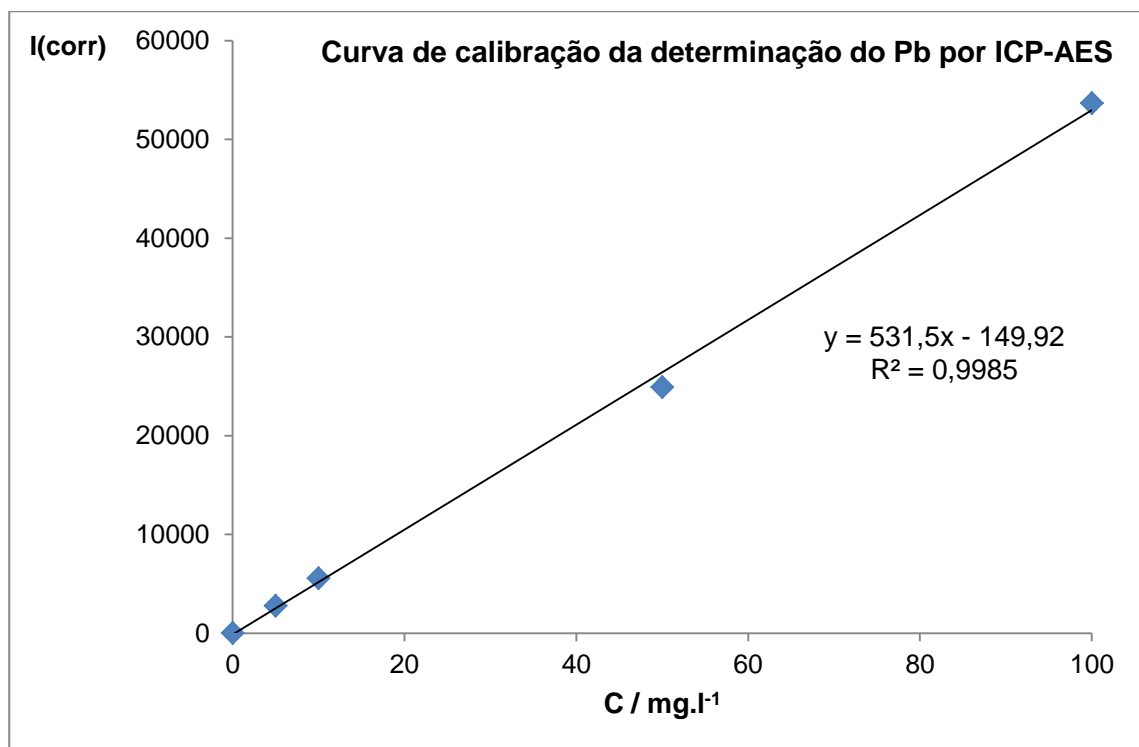


Figura VII.5. Curva de calibração da determinação do Pb por ICP-AES.

Tabela VII.10. Características, resposta e concentração das amostras na análise do Pb por ICP-AES, a 220,353 nm.

Amostra	m_a (g)	V (ml)	I(corr)	C_{20} (mg/l)	C_a (mg/kg)
AE01	0,3097	20	1152.173	2,4519	158,34191
AE02	0,3009	20	1012.226	2,1884	145,45661
AE03	0,3077	20	1070.885	2,2989	149,42168
AE05	0,3016	20	1030.379	1,8849	147,3857
Média					150,15147
Desvio padrão					5,6952371

Determinação do Zinco por ICP-AES

Tabela VII.11. Curva de calibração do ICP-AES para o Zinco ao comprimento de onda de 214 nm.

C (mg/l)	I(corr)
0	0
5	39903
10	83383
50	373443

C- concentração do padrão;
I(corr) – Contagens de ICP, corrigido para zero.

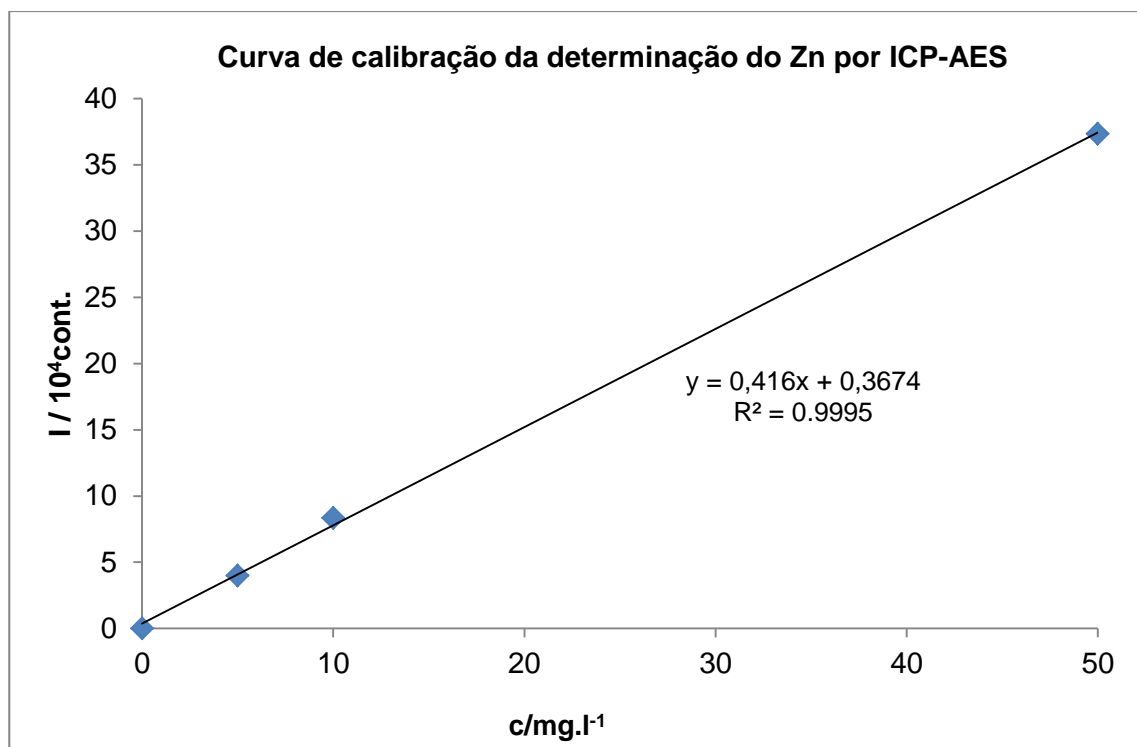


Figura VII.6. Curva de calibração da determinação do Zn por ICP-AES.

Tabela VII.12. Características, resposta e concentração das amostras na análise do Zinco a 214 nm por ICP-AES.

Amostra	m_a (g)	V (ml)	I(corr)	C_{20} (mg/l)	C_a (mg/kg)
AE01	0,3097	20	61345,14296	7,7768	502,21
AE02	0,3009	20	56240,09757	7,0883	471,14
AE03	0,3077	20	57349,96787	7,2380	470,46
AE05	0,3016	20	51001,55981	6,3819	423,20
Média					466,8
Desvio padrão					32,6

Determinação do Arsênio por ICP-AES

Tabela VII.11. Curva de calibração do ICP-AES para o Arsênio ao comprimento de onda de 193,696 nm.

C (mg/l)	I(corr)
0	0
0.1	91,45825
0.5	471,5925
1	1052,785

C- concentração do padrão;
I(corr) – Contagens de ICP, corrigido para zero.

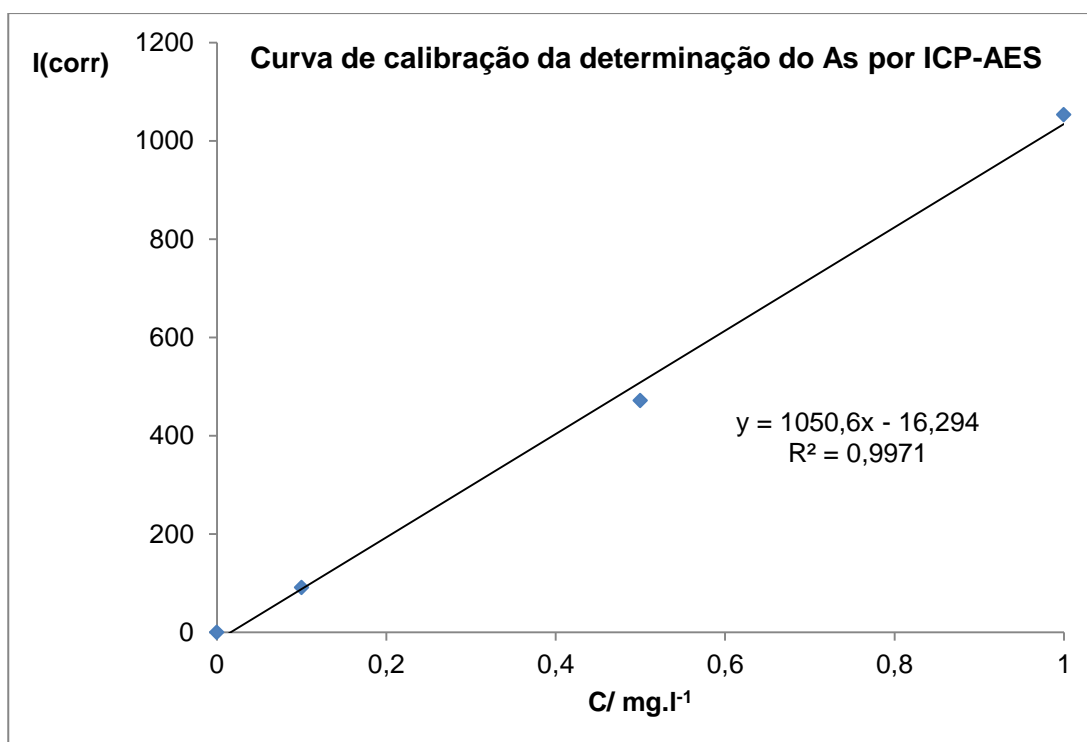


Figura VII.7. Curva de calibração da determinação do As por ICP-AES

Tabela VII.14. Características, resposta e concentração das amostras na análise do Arsênio a 193,696 nm por ICP-AES.

Amostra	m_a (g)	V (ml)	I(corr)	C_{20} (mg/l)	C_a (mg / kg)
AE01	0,3097	20	459,2148	0,4526	29,22784
AE02	0,3009	20	461,841	0,4551	30,24876
AE03	0,3077	20	394,1558	0,3907	25,39287
AE05	0,3016	20	439,4522	0,4338	28,76544
Média					28,40873
Desvio padrão					2,103907

Determinação do Manganês por ICP-AES

Tabela VII.15. Curva de calibração do ICP-AES para o Manganês ao comprimento de onda de 260,568 nm.

C (mg/l)	I(corr)
0	0
10	387797,2
50	1770340
100	3925750

C- concentração do padrão;
I(corr) – Contagens de ICP, corrigido para zero.

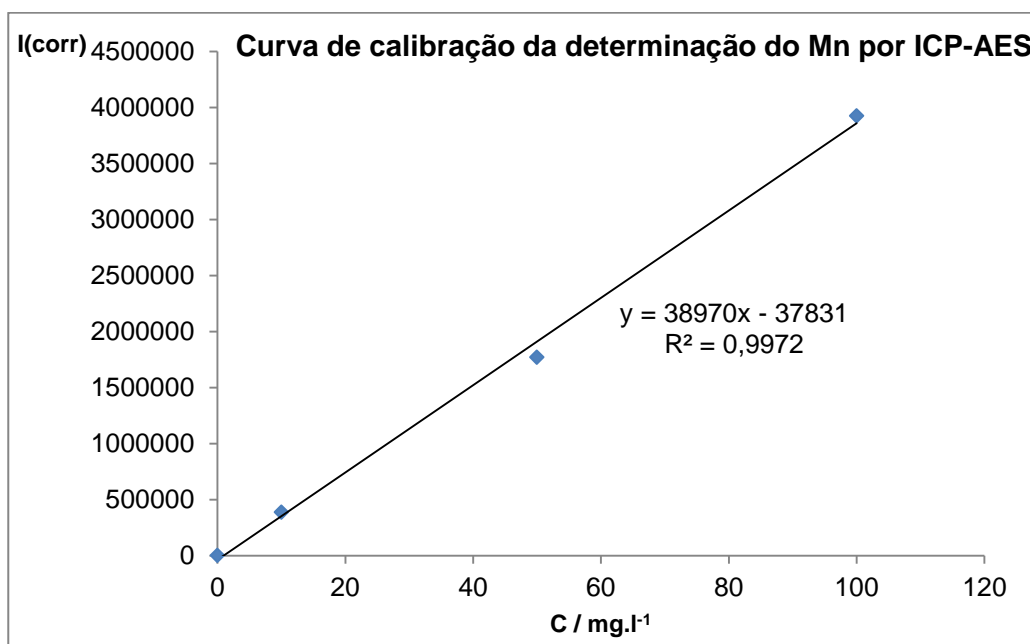


Figura VII.8. Curva de calibração da determinação do Mn por ICP-AES.

Tabela VII.16. Características, resposta e concentração das amostras na análise do Manganês a 260,568 nm por ICP-AES.

Amostra	m_a (g)	V (ml)	I(corr)	C₂₀ (mg/l)	C_a (mg/kg)
AE01	0,3097	20	492600,4	13,6113	878,9963
AE02	0,3009	20	454491,7	12,6334	839,70493
AE03	0,3077	20	484771,4	13,4104	871,6517
AE05	0,3016	20	424993,8	11,8764	787,56134
Média					844,47857
Desvio padrão					41,602127