



Joana Rebelo de Vela Bastos

Licenciada em Ciências da Engenharia do Ambiente

**Potencial de Utilização de Resíduos
Depositados em Antigas Lixeiras como
CDR.
Caso de Estudo: Lixeira da Moita.**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia
do Ambiente, Perfil de Engenharia Sanitária
Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente

Orientador: Professor Artur João Cabeças

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Maria da Graça Martinho

Vogais: Prof. Doutor João Levy e

Mestre Artur João Cabeças



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

[Abril 2013]

[Abril 2013]

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos aqueles que deram a sua contribuição, de formas diversas, mas cada uma com a sua importância e papel no desenvolvimento e finalização desta dissertação.

Agradeço ao Prof. Artur João Cabeças a forma como orientou o meu trabalho e pela grande oportunidade que me deu para a elaboração e exploração desta dissertação.

Agradeço à AMARSUL, em especial ao Eng.º João Sarmiento, por ter possibilitado a utilização da lixeira da Moita como caso de estudo e pelo apoio logístico que deu na recolha de amostras de resíduos e na cedência das instalações e equipamentos, como do seu próprio tempo.

Agradeço à TRANSUCATAS, em especial ao Eng.º Rui Botelho, pela disponibilidade e interesse demonstrado no apoio a este trabalho com a cedência de máquinas e instalações para a recolha e processamento de amostras.

Agradeço à SGR ambiente pela disponibilidade dos seus laboratórios para a preparação das amostras recolhidas na lixeira da Moita.

Agradeço à SECIL, em especial ao Dr.º João Abelho, pelo interesse demonstrado em participar neste projecto desde o início e principalmente pelo apoio dado na execução das análises às amostras recolhidas.

Agradeço por último, mas com muito apreço, a todos os meus entes queridos.

Aos meus Pais agradeço a educação que me deram, por terem apostado na minha formação académica com muito esforço e sacrifício, assim como pelo amor e carinho que sempre demonstraram e tanta força me deu para a realização dos meus sonhos. Aos meus avós, tios e irmãos agradeço pelo apoio e força que me deram, cada um à sua maneira.

Aos meus queridos amigos agradeço por estarem sempre lá quando necessário, por acompanharem esta batalha de perto nos seus altos e baixos, sem mencionar nomes, um muito obrigado.

A todos e a alguns que possa ter falhado, um muito obrigado.

RESUMO

A presente dissertação é o resultado de um processo de investigação em parceria com a AMARSUL e a SECIL, que consistiu em caracterizar a situação de referência da antiga lixeira selada da Moita, retirar, separar e analisar os resíduos que ali foram depositados sem medidas de controlo durante um alargado período de tempo, ponderar quais as frações dos resíduos ainda com potencial económico e, como proceder à sua retirada e aproveitamento para valorização em condições técnicas e ambientais de segurança.

A abordagem inovadora do presente trabalho consiste também na avaliação do potencial de utilização dos resíduos depositados em antigas lixeiras como combustível derivado de resíduos (CDR) em cimenteiras, dado que do conhecimento que se dispõe, nunca esta abordagem foi efetuada em Portugal.

Neste contexto a técnica que se implementou enquadra-se no processo conhecido por “Landfill mining” que está associada à recuperação de terrenos onde se desenvolveram lixeiras. Este processo incorpora a escavação convencional da massa de resíduos já em estado de mineração, permitindo “a recuperação das várias componentes dos resíduos depositados, tais como metais, vidros, plástico, solo e dos próprios recursos da terra” (van der Zee *et al*, 2004).

A retirada destas componentes permite a valorização económica dos materiais passíveis de valorização, bem como a remediação das zonas/terrenos onde estas se situam e que, em regra, têm problemas ambientais significativos, tal como a poluição dos lençóis freáticos. Pode ser também uma mais-valia em lixeiras antigas que não tenham problemas ambientais e de saúde pública, desde que se pretenda melhorar os seus padrões ambientais.

Para a realização do presente trabalho foi escolhida, como caso de estudo, a Lixeira da Moita, devido a particularidades relevantes, tais como:

- A AMARSUL, no âmbito de uma parceria protocolada com a SECIL, ter iniciado em 2011 a produção de combustíveis derivados de resíduos (CDR);
- A lixeira ser parte integrante do CIVTRS de Palmela, pertencente a terrenos da AMARSUL;
- A necessidade de um novo espaço para aterro sanitário;
- A existência de informação sobre a caracterização física da massa de resíduos depositada, e
- A existência de informação sobre caracterização do nível de contaminação dos níveis de água subterrânea.

Tendo em conta os pontos anteriormente referidos, procederam-se aos trabalhos de investigação, entre o mês de Maio e o mês de Agosto de 2012, com os apoios logísticos e

financeiros das empresas AMARSUL, SECIL, SGR e TRANSUCTAS, no que concerne à disponibilidade de equipamentos para escavação, processamento de amostras, análise das amostras de CDR e terras, e disponibilidade para acompanhamento de todo o processo em campo, tornando o presente trabalho exequível.

Através da análise dos resultados obtidos, é possível concluir que o CDR proveniente da escavação da lixeira pode ser viabilizado como combustível alternativo e substituto ao carvão, em condições associadas à indústria cimenteira, e os finos existentes utilizados como terras de cobertura em aterros sanitários.

Na análise económica, foram avaliadas, a eficiência do cenário, o custo de operação (de transporte, de escavação, de pessoal), o tempo de operação e os custos globais que resultam. Estes custos globais foram ponderados em função dos benefícios obtidos, nomeadamente, em não se adquirir novo terreno para aterro sanitário, na aquisição de terras de cobertura, e na valorização de materiais na SPV.

A maior limitação deste trabalho consistiu na realização de um maior número de recolha de amostras para análise, não sendo representativas as efectuadas para uma avaliação fiável a nível técnico e económico.

Palavras-chave: *Landfill mining*, combustível derivado de resíduo, lixeira, poder calorífico inferior, cenário técnico e económico

ABSTRACT

This thesis is the result of a joint research process in association with AMARSUL and SECIL, two companies; the first specialized in urban solid waste recycling and the second as cement factory, using waste as a burning material. The scope of this work regards the characterization of the Moita sealed landfill, analyzing the different possible uses for the residues lying there, evaluating which portions are economically usable, in order to define how to extract and reuse them in technical, environmental and safety conditions.

The innovative approach of this work is also in the evaluation of the potential use of waste deposited in landfills and old waste derived fuel (RDF) in cement, as the knowledge that is available; this approach has never been performed in Portugal.

In this context the technique is implemented fits the process known as "Landfill mining" that is associated with the recovery of land where he developed dumps. This process incorporates conventional excavation of the waste already in a state of mining, allowing "the recovery of the various components of the waste deposited, such as metal, glass, plastic, soil and own resources of the earth" (van der Zee et al, 2004).

The removal of these components allows the economic value of materials capable of recovery as well as the remediation of areas/fields where they are located and that, as a rule, have significant environmental problems such as pollution of groundwater. It may also be an asset in old dumps that have not environmental problems and public health, since it wishes to improve their environmental standards.

The Moita sealed landfill, as a case study, was a natural choice as the advantages/particularities of such a decision are as follows:

- The landfill Integrated Center of Urban Solid Waste Management and Recycling (CIVTRS) is located in Palmela, on a land that belongs to AMARSUL;
- The need to create a new sanitary landfill;
- The fact that AMARSUL, in a partnership with SECIL, started the production of refuse derived fuel (RDF) in 2011;
- The existence of a well-defined physical characterization of the residues;
- Known pattern of groundwater levels contamination from landfills.

Taking into consideration the referred, the research field work was held between May and August of 2012, logistically and financially supported with the patronage of AMARSUL, SECIL, SGR e TRANSUCTAS, regarding the digging machinery, waste and RDF sample processing and analyzing, but also the stable support provided by their technicians made possible the present work.

Throughout the data analysis results it is possible to conclude that the refuse-derived fuel (RDF) is viable alternative to coal, and the fractions fines have the right properties to be used as covertures soil for the landfills.

During the economic analysis were evaluated the scenario efficiency, the digging, operation, labor and transportation costs, also the running times and the total cost. All this costs were properly balanced with the benefits deriving from the existence of a land where to implement a new landfill, complemented with the fractions fines that can be used as coverture soil and the material reevaluation at the Green Point Society (GPS).

The major limitation of this work derives of an insufficient number of samples for ensuring statistically significant conclusions, regarding the economic and technical aspects of the case study.

Keywords: Landfill mining, refused derived fuel, Landfill (RDF), net calorific value (NCV), technical and economic scenery.

ÍNDICE DE MATÉRIAS

1.	Introdução.....	1
1.1.	Abordagem à Temática	1
1.2.	Objectivos	1
1.3.	Estrutura da dissertação.....	2
2.	Definição do problema	5
2.1.	Problema – Lixeiras.....	5
2.2.	Sub-problema – mineração de lixeiras.....	7
3.	Revisão da literatura.....	9
3.1.	Definição de Resíduos	9
3.2.	Enquadramento do CDR.....	10
3.3.	Tecnologias para a Valorização de CDR	18
3.3.1.	Empresa SECIL.....	19
3.4.	Enquadramento Técnico – <i>Landfill mining</i>	26
3.5.	Revisão de trabalhos desenvolvidos.....	28
3.5.1.	Estudo do potencial de mineração da lixeira da Moita: Análise Técnica e Económica. Relatório Técnico.	28
3.5.2.	Avaliação das opções de remediação para a antiga lixeira da Moita-Barreiro. 30	
3.5.2.1.	Modelação hidrodinâmica	32
3.5.2.2.	Conclusões	38
4.	Caso de Estudo – Lixeira da Moita	41
4.1.	Situação de referência	41
4.2.	Protocolo estabelecido entre a AMARSUL e a SECIL.....	43
5.	Metodologia dos Trabalhos Realizados	47
5.1.	Enquadramento.....	47
5.2.	Planeamento Experimental	48
5.2.1.	Metodologia e procedimento da recolha de amostras	48
5.2.2.	Metodologia e procedimentos de amostragens	53
5.2.3.	Metodologia e procedimentos de análises às amostras	54

5.2.4.	Comparação do CDR de lixeira com a NP 4486 de 2008.....	55
5.2.5.	Comparação dos boletins de análise dos ensaios realizados na AMARSUL em 2010 com as de CDR de lixeira em 2012	55
5.2.6.	Comparação dos valores de PCI dos resíduos de lixeira com os PCI de combustíveis fósseis.....	55
5.2.7.	Cenário – Valorização dos materiais resultantes do <i>Landfill Mining</i>	56
6.	Apresentação e discussão de resultados	65
6.1.	Apresentação dos resultados dos ensaios às amostras de CDR e finos	65
6.2.	Comparação dos boletins de análise dos ensaios realizados na AMARSUL em 2010 com as de CDR de lixeira em 2012.....	68
6.3.	Comparação dos valores de PCI dos resíduos de lixeira com os PCI de combustíveis fósseis	69
6.4.	Cenário – Valorização dos materiais resultantes do <i>landfill mining</i>	70
7.	Conclusões.....	79
8.	Recomendações futuras e limitações	85
9.	Referências bibliográficas	87
Anexos	91
	Anexo I – Análises efectuadas às águas subterrâneas da lixeira da Moita	93
	Anexo II – Relatório de Ensaios às amostras de CDR e Terras da Lixeira da Moita – AMARSUL.....	103
	Anexo III – Tabelas do resultado obtido das entradas e saídas da linha de tratamento – cenário de 50% de RU 50% de resíduos escavados da lixeira.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Mapa representativo das lixeiras, aterros sanitários, lixeiras controladas e compostagem em Portugal Continental, em 1995 (Levy & Cabeças, 2006).	5
Figura 2.2: Evolução do número de lixeiras entre 1996 e 2003 (MAOTDR, 2007).	6
Figura 2.3: Vantagens associadas ao processo de <i>Landfill Mining</i>	8
Figura 3.1: Exemplo de CDR em forma de fluff (Fonte: Itrimpianti, 2013).....	12
Figura 3.2: Exemplo de CDR em <i>pellets</i> (Fonte: EGSRA, 2013)	13
Figura 3.3: Exemplo de CDR em forma de briquete (Fonte: RICTEC, 2013).....	13
Figura 3.4: Diagrama da instalação para a produção de CDR a partir de RU (adaptado da AMARSUL).	14
Figura 3.5: Vista do cais da Fábrica Secil-Outão (Fonte: Vistasdorioso.blogspot, 2010).	19
Figura 3.6: Diagrama do processo de fabrico do cimento (Fonte: SECIL, 2013)	20
Figura 3.7: Exemplo de máquina utilizada para a realização de furos para a colocação de carga explosiva (Fonte: SECIL, 2011)	21
Figura 3.8: Entrada da matéria-prima no britador (Fonte: SECIL, 2011).	21
Figura 3.9: Aspecto exterior de um moinho de cru vertical (Fonte: SECIL, 2011).	22
Figura 3.10: Aspecto exterior de um forno de produção de clínquer (Fonte: SECIL, 2011).	23
Figura 3.11: Máquina ensacadora (Fonte: SECIL, 2011).	24
Figura 3.12: Cimento pronto a ser expedito (Fonte: SECIL, 2011).	24
Figura 3.13: Representação esquemática dos circuitos de combustíveis fósseis e alternativos (Fonte: Valorizar, 2006).....	25
Figura 3.14: Valores médios globais da composição física do total de resíduos caracterizados	28
Figura 3.15: Distribuição dos vários componentes da fracção combustível de resíduos depositados na lixeira da Moita.....	29
Figura 3.16: As áreas a rosa representam locais em que o azoto amoniacal infiltra para as águas subterrâneas.....	33
Figura 3.17: Simulação das concentrações de azoto amoniacal após 30 anos desde o início das actividades da lixeira – aquífero livre. Os valores de concentração estão em mg/L (castanho = 1200 mg/L e azul escuro = 0,05 mg/L).....	35
Figura 3.18: Simulação das concentrações de azoto amoniacal após 30 anos desde o início das actividades da lixeira – aquífero semi-confinado/confinado. Os valores de concentração estão em mg/L (castanho = 1200 mg/L e azul escuro = 0,05 mg/L).....	36
Figura 3.19: Simulação das concentrações de azoto amoniacal após 30 anos desde o início das actividades da lixeira – secção S-N. Os valores de concentração estão em mg/L (castanho = 1200 mg/L e azul escuro = 0,05 mg/L).....	37
Figura 3.20: Gráfico da variação da concentração de azoto amoniacal (mg/L) com o tempo. ..	38

Figura 4.1: Mapa representativo dos 9 municípios abrangidos pela AMARSUL (Fonte: AMARSUL, 2013).....	41
Figura 4.2: Delimitação a azul da localização do CIVTRS de Palmela, na Carta Militar de Portugal, folha 443, do Instituto Geográfico do Exército, modificada.	42
Figura 5.1: Sentido da evolução da lixeira e localização do ponto da recolha de amostras de resíduos (adaptado do Google Maps, 2013).....	49
Figura 5.2: Conjunto de imagens retiradas na SGR no dia 22 de Maio de 2012	51
Figura 5.3: Local da escavação, na Lixeira da Moita, assinalado a vermelho (adaptado Google Maps, 2013).....	51
Figura 5.4: Recolha das amostras na lixeira da Moita, dia 28 de Maio de 2012.	53
Figura 5.5: Saco de amostra de CDR preparado nos laboratórios da SGR.	54
Figura 5.6: Unidade de CDR do CIVTRS de Palmela (EGF, 2013).....	56
Figura 5.7: Diagrama do processo de produção de CDR e respectivas operações unitárias.	57
Figura 6.1: Representação gráfica dos PCI de combustíveis fósseis e das amostras da AMARSUL.	69
Figura 6.2: Quantidade total de resíduos à entrada da unidade de TM, do CIVTRS de Palmela.	73
Figura 6.3: Saída dos materiais relativo ao processo de TM.....	73
Figura 6.4: Saída dos materiais relativo ao processo de CDR	74
Figura 7.1: Imagem retirada a um jornal, removido da Lixeira da Moita, datado de 1981.	80
Figura 7.2: Imagem retirada às embalagens de vidro, ainda intactas, na Lixeira da Moita.....	80
Figura II.1: Relatório de Ensaios às amostras de CDR proveniente da Lixeira da Moita.....	104
Figura II.2: Relatório de Ensaios às amostras de terras proveniente da Lixeira da Moita	106

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1: Sistema de classificação para os combustíveis derivados de resíduos	11
Tabela 3. 2: Eixos estratégicos de intervenção e correspondentes medidas de actuação para a valorização do CDR (adaptado do Despacho nº. 21295/2009)	16
Tabela 3.3: Composição total dos resíduos da Lixeira	29
Tabela 3.4: Comparação dos valores de concentração medidos nas campanhas de amostragem de Agosto de 2007 e os valores calculados pelo modelo numérico.	34
Tabela 4.1: Resultado das análises efectuadas às águas subterrâneas, em 2006/2007 para a AMARSUL.	42
Tabela 5.1: Amostras recolhidas na lixeira da Moita no dia 28 de Maio de 2012 e respectivos valores mássicos.	54
Tabela 5.2: Metodologias implementadas para as análises dos parâmetros.	55
Tabela 5.3: Pressupostos técnicos (Martinho <i>et al</i> , 2008)	58
Tabela 5.4: Composição física dos RU da AMARSUL (Profico, 2005).....	59
Tabela 5.5: Pressupostos de operação (Martinho <i>et al</i> , 2008).	59
Tabela 5.6: Número de operários (Martinho <i>et al</i> , 2008)	59
Tabela 5.7: Factores de recuperação, em %, para cada equipamento unitário (Martinho, 2008).	60
Tabela 5.8: Custos e consumos de operação.....	61
Tabela 5.9: Fórmulas utilizadas para o cálculo dos custos totais da operação (Martinho, 2008).	61
Tabela 5.10: Custos de um novo aterro sanitário	62
Tabela 6.1: Relatório de Ensaio respectivo à amostra de CDR provenientes da lixeira da Moita.	66
Tabela 6.2: Relatório de Ensaio respectivo à amostra de finos provenientes da lixeira da Moita.	67
Tabela 6.3: Comparação dos resultados às análises de CDR de RU em 2010 com os de 2012 provenientes de resíduos da lixeira da Moita.....	68
Tabela 6.4: Caracterização do fluxo proveniente da Lixeira	70
Tabela 6.5: Caracterização do fluxo de Palmela	70
Tabela 6.6: Composição (em toneladas) face à caracterização percentual dos resíduos da lixeira da Moita.	71
Tabela 6.7: Composição (em toneladas) face à caracterização percentual dos RU de Palmela.	71
Tabela 6.8: Ponderação de valores expectáveis de resíduos provenientes da Lixeira da Moita.	72
Tabela 6.9: Ponderação de valores expectáveis dos RU de Palmela	72

Figura 6.2: Quantidade total de resíduos à entrada da unidade de TM, do CIVTRS de Palmela.	73
Tabela 6.10: Gastos estimados para a mineração da lixeira (a preços constantes).	75
Tabela 6.11: Gastos associados à operação (a preços constantes)	76
Tabela 6.12: Cenário Comparativo - valores obtidos	77
Tabela 6.13: Landfill mining – resultados económicos	78
Tabela 6.14: Novo aterro – resultados económicos	78
Tabela 7.1: Síntese dos gastos totais dos cenários equacionados	81
Tabela 7.2: Síntese das vantagens e desvantagens desta dissertação.	83
Tabela I.1: Resultados analíticos – Legislação Holandesa	94
Tabela I.2: Resultados analíticos – Legislação Portuguesa (Decreto-Lei nº 236/98)	96
Tabela I.3: Comparação entre os resultados analíticos obtidos em 2003 e 2006/2007 (Legislação Holandesa)	98
Tabela I.4: Comparação entre os resultados analíticos obtidos em 2003 e 2006/2007 (Decreto-Lei nº 236/98)	100
Tabela III.1: Valores de entrada e saída de cada processo nas unidades de TM e de CDR, no cenário “meio-termo”	110

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Ag – Prata

Al – Alumínio

Al₂O₃ – Trióxido de Alumínio

As – Arsénio

AS – Aterro Sanitário

b.s. – base seca: base de cálculo, em que a massa de combustível derivado de resíduos está isenta de humidade (NP 4486, 2008).

Br – Bromo

C – Carbono

Ca – Cálcio

CaO – Óxido de Cálcio

CBO – Carência bioquímica de oxigénio

Cd – Cádmió

CDR – Combustível derivado de resíduo

CE – Comunidade Europeia

CIGA – Centro de Investigação em Geociências Aplicadas

CIVTRS – Centros Integrados de Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos

Cl – Cloro

Co – Cobalto

CQO – Carência química de oxigénio

Cr – Crómio

Cs – Césio

Cu – Cobre

DCEA – Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiental

ECAL – Embalagens de cartão para líquidos alimentares

EGF – Empresa Geral do Fomento

ETAL – Estação de tratamento de afluentes lixiviados

FCT – Faculdade de Ciências e Tecnologia

Fe – Ferro

Fe₂O₃ – Trióxido de Ferro

GEE – Gases com efeito de estufa

H – Hidrogénio

h – hora

ha – hectares

Hg – Mercúrio

K – Potássio

K₂O – Óxido de Potássio

kg – kilograma

l – litro

LER – Lista Europeia de Resíduos

LQ – Limite de quantificação

m³ – Metros cúbicos

MAOTDR – Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional

MEI – Ministério da Economia e da Inovação

Mg – Magnésio

mg – milígrama

MgO – Óxido de Magnésio

MJ – megajoule

mm – milímetro

Mn – Manganês

Mo – Molibdénio

N – Azoto

Na – Sódio

Na₂O – Óxido de Sódio

ND – Não detectado

NH₄ – Azoto amoniacal

Ni – Níquel

NP – Norma Portuguesa

P – Fósforo

P₂O₅ – Pentóxido de Fósforo

Pb – Chumbo

PCI – Poder Calorífico Inferior

PCS – Poder Calorífico Superior

PERSU – Plano Estratégico de Resíduos Sólidos Urbanos

ppm – partes por milhar

r.p.m – rotações por minuto

Rb – Rubídio

RCB – Resíduos de Construção e Demolição

RH – Resíduos Hospitalares

RI – Resíduos Industriais

RIB – Resíduos Industriais Banais

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

RU – Resíduos Urbanos

S – Enxofre

Sb – Antimónio

Sc – Escândio

Se – Selénio

SGR – Sociedade Gestora de Resíduos, S.A.

Si – Silício

SiO₂ – Dióxido de Silício

Sn – Estanho

SPV – Sociedade Ponto Verde, S.A.

Sr – Estrôncio

t.q. – tal qual: material aquando da entrega, isto é, tal qual como recebido (NP 4486, 2008)

Te – Telúrio

Ti – Titânio

TiO₂ – Dióxido de titânio

Tl – Tálho

TM – Tratamento Mecânico

TMB – Tratamento Mecânico e Biológico

t – tonelada

UNL – Universidade Nova de Lisboa

V – Vanádio

VMA – Valor máximo admissível

VMR – Valor máximo recomendável

Zn – Zinco

1. INTRODUÇÃO

1.1. ABORDAGEM À TEMÁTICA

A principal abordagem do presente trabalho consiste na avaliação do potencial de utilização dos resíduos depositados em antigas lixeiras como combustível derivado de resíduos (CDR), pretendendo-se avaliar este material como combustível alternativo em unidades cimenteiras, em substituição parcial do combustível fóssil. Para suporte à abordagem em causa desenvolveram-se as seguintes acções e intervenções:

- Situação de referência da lixeira da Moita;
- Caracterização física da massa de resíduos depositados;
- Caracterização do nível de contaminação dos níveis freáticos;
- Procedimentos associados ao processo de *Landfill Mining* (escavação, crivagem e separação manual);
- Realização de análises químicas às amostras recolhidas na massa de resíduos, bem como à fracção dos finos e avaliação do seu potencial utilização;
- Cenário de utilização desta tipologia de resíduos da lixeira;
- Enquadramento dos resíduos da lixeira no quadro legal da utilização de CDR;
- Custos e benefícios da utilização dos resíduos da lixeira como CDR.

1.2. OBJECTIVOS

O principal objectivo da presente dissertação consiste em caracterizar a situação da antiga lixeira selada da Moita, analisar o que podemos esperar da retirada dos resíduos ali depositados, ponderar quais as fracções dos resíduos ainda com a viabilidade de potenciar o valor económico, como proceder à sua retirada e aproveitamento em condições técnicas e ambientais de segurança, permitindo-se assim:

- avaliar o poder calorífico inferior (PCI) de amostras de resíduos retirados em profundidade;
- avaliar o seu potencial de utilização como CDR (combustível derivado de resíduo) em unidades de cimenteira, neste caso em parceria com a SECIL e, em simultâneo,
- garantir condições de intervenção para que, após saneamento dos solos de fundação, se possa viabilizar uma nova ocupação de espaço libertado.

O processo de remoção de resíduos em profundidade de antigas lixeiras seladas denomina-se por *Landfill Mining*. Após a remoção dos resíduos, estes são encaminhados para uma linha de tratamento mecânico (TM), onde se procede a uma separação de materiais volumosos e inertes (ferrosos, sucatas, embalagens, plásticos, papel e vidro) dos restantes, em regra areias, solos, cinzas e finos de degradação da matéria biodegradável. Após a separação efectuada

resulta uma fracção cuja composição pode ser seleccionada (embalagens, plásticos, papel/cartão, etc...) para que, em conformidade com as características exigidas, possa constituir o CDR (combustível derivado de resíduos), combustível alternativo ao combustível fóssil utilizado nas instalações fabris passíveis de o fazer, tal como a SECIL, em Outão.

Nesta conformidade a linha de pesquisa adoptada para a elaboração da presente dissertação, por forma a serem atingidos os objectivos traçados inicialmente, recorre ao caso de estudo da Lixeira da Moita – AMARSUL, sendo a primeira empresa a nível nacional que procura desenvolver trabalhos de investigação para a remoção dos resíduos depositados numa lixeira tendo em vista a possibilidade de viabilizar a valorização daqueles resíduos como CDR numa instalação de cimento, a SECIL e, em paralelo, dispor do espaço libertado para usufruto posterior.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Por forma a serem atingidos os objectivos, o trabalho foi estruturada nas seguintes fases:

- **Fase I** – Revisão da literatura sobre o método de *Landfill Mining* e a sua possível utilização como CDR.
- **Fase II** – Trabalho de campo. Caso de estudo: Lixeira da Moita.
- **Fase III** – Tratamento e discussão de resultados.
- **Fase IV** – Conclusões acerca da utilização do método de *Landfill Mining* em lixeiras inactivas e encerradas (com remoção total dos resíduos para posterior recuperação ambiental dos terrenos de fundação com saneamento da contaminação existente) suportadas na avaliação de resíduos recolhidos, procurando avaliar o seu potencial com recurso a uma preparação específica, para serem utilizados como CDR a encaminhar para cimenteiras.

Após a estruturação do trabalho em quatro fases distintas, a dissertação foi elaborada da seguinte forma:

Na primeira parte apresentam-se os Capítulos 1, 2 e 3, sendo estes de formulação teórica.

- Capítulo 1 – Abordagem à temática, objectivos e estrutura da dissertação;
- Capítulo 2 – Definição do problema e sub-problemas;
- Capítulo 3 – Revisão da literatura, onde são abordadas questões chave.

Na segunda parte apresentam-se os Capítulos 4 ao 9 complementado os aspectos práticos do trabalho.

- Capítulo 4 – Descrição do caso de estudo;
- Capítulo 5 – Metodologia dos trabalhos realizados;
- Capítulo 6 – Apresentação e discussão de resultados;

- Capítulo 7 – Conclusões;
- Capítulo 8 – Recomendações futuras e limitações;
- Capítulo 9 – Referências bibliográficas.

2. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

2.1. PROBLEMA – LIXEIRAS

Lixeira é a designação para o amontoado de resíduos, depositados de forma indiscriminada e sem qualquer controlo, num determinado local. Por norma, os resíduos são colocados em locais pouco visíveis, situados em clareiras de montado ou junto a linhas de drenagem natural, afastados das zonas habitualmente utilizadas pelas populações. As lixeiras não possuem qualquer tipo de controlo de exploração, originando impactes negativos ambientais e sociais (Levy e Cabeças, 2006).

Sabe-se que em Portugal continental existiam, em 1995, aproximadamente 300 lixeiras a céu aberto. Em regra, cada município possuía uma ou mais, localizadas longe dos olhares críticos dos seus munícipes, onde tudo era depositado, tudo aquilo que era recolhido nos contentores e ainda o que era deixado pelos próprios indivíduos quando queriam desfazer-se de algum bem.

Em 1995, cerca de 60% dos RSU tinham como destino final as lixeiras, apenas 15% iam para aterro sanitário, os restantes 16% para lixeiras controladas e 9% para compostagem (PERSU, 1997).

A situação da distribuição espacial das lixeiras a céu aberto, exposta na figura 2.1, demonstra o quão grave era a situação, do ponto de vista ambiental, em Portugal Continental, em 1995, sendo necessário medidas de resolução urgentes.

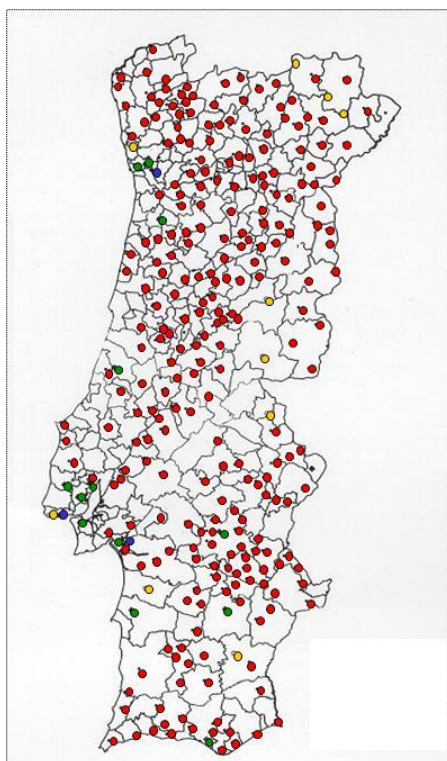


Figura 2.1: Mapa representativo das lixeiras, aterros sanitários, lixeiras controladas e compostagem em Portugal Continental, em 1995 (Levy & Cabeças, 2006).

Em 1997, no sentido de resolver o problema das lixeiras, o Ministério do Ambiente elaborou o Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU), instrumento de planeamento de referência na área dos RSU. Este plano teve um balanço bastante positivo, com o encerramento das lixeiras, a criação de sistemas multimunicipais e intermunicipais de gestão de RSU (sistemas plurimunicipais), a construção de infra-estruturas de valorização e eliminação e a criação de sistemas de recolha selectiva multimaterial. O PERSU ainda forneceu linhas de orientação geral para a criação dos fluxos especiais de gestão, abrindo caminho à criação de legislação específica e à constituição e licenciamento das respectivas entidades gestoras (MAOTDR, 2007). Dez anos mais tarde, foi elaborado o PERSU II, que consiste em um novo referencial para os agentes do sector, para o horizonte 2007-2016.

Verificou-se que em 10 anos (1995 a 2005), o destino final dos RSU deixou de ser maioritariamente a deposição em lixeiras (73% em 1995) para passar a ser a deposição em aterro (63% em 2005). Destacando-se, deste modo, um aspecto muito importante da implementação do PERSU I, que foi a erradicação das lixeiras (PERSU II, 2007). Na figura 2.2 apresenta-se a evolução do número de lixeiras em Portugal Continental, desde 1996 até à sua erradicação em 2002.

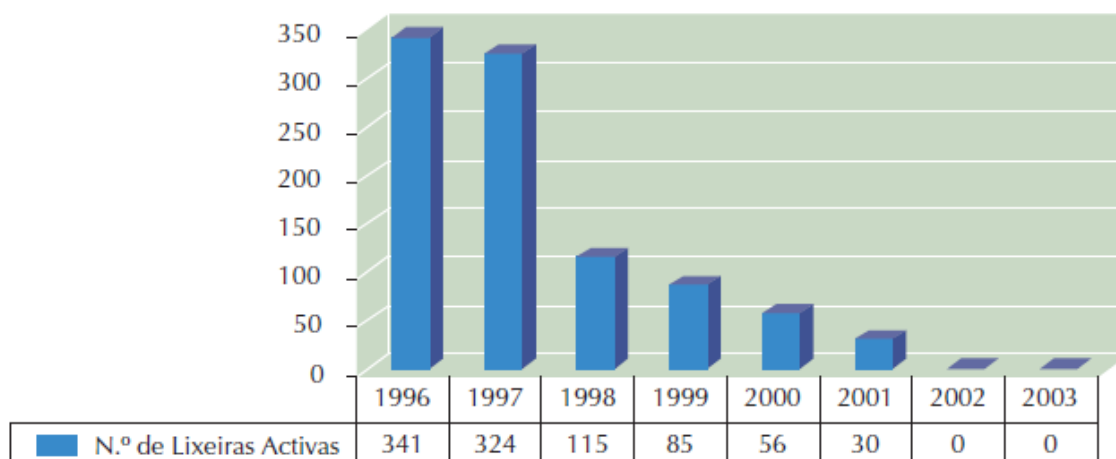


Figura 2.2: Evolução do número de lixeiras entre 1996 e 2003 (MAOTDR, 2007).

De acordo com a política então definida, a estratégia de intervenção em Portugal teve como metas de curto prazo para o ano 2000/02 (que entretanto foram sendo concretizadas) teve como prioridade a concretização das seguintes vertentes:

- Erradicação completa das lixeiras;
- Desenvolvimento das novas infraestruturas de tratamento e de destino final;
- Estruturação e arranque do sistema integrado de recolha selectiva;
- Desenvolvimento de estruturas de Valorização de materiais;
- Apoio e realização de acções de sensibilização e de educação ambiental.

Neste contexto, dinamizou-se como primeira prioridade o encerramento e a requalificação ambiental das lixeiras (eliminando desde logo impactes negativos para a saúde pública em

geral), que permitiu articular esta intervenção com a construção de adequadas infraestruturas de tratamento – aterros sanitários (tradicional e/ou com sistema de enfardamento) - criando-se assim as “soluções de 1º geração” para o correcto destino final dos RSU.

No Decreto-Lei nº152/2002, de 23 de Maio, e posteriormente revogado pelo Decreto-Lei nº 183/2009, de 10 de Agosto, a definição de aterro é dada como, uma instalação de eliminação para deposição de resíduos acima ou abaixo da superfície natural, incluindo:

- As instalações de eliminação internas, considerando-se como tal os aterros onde o produtor de resíduos efectua a sua própria eliminação de resíduos no local da produção;
- Uma instalação permanente, considerando-se como tal a que tiver uma duração superior a um ano, usada para armazenagem temporária;

Mas excluindo:

- As instalações onde são descarregados resíduos com o objectivo de os preparar para serem transportados para outro local de valorização, tratamento ou eliminação;
- A armazenagem de resíduos previamente à sua valorização ou tratamento, por um período geralmente inferior a três anos;
- A armazenagem de resíduos previamente à sua eliminação, por um período inferior a um ano.

Assim ao contrário das lixeiras, os aterros sanitários passam a consolidar dois objectivos fundamentais, ou seja, a preservação da qualidade do ambiente, e o cumprimento das exigências associadas aos aspectos construtivos, de exploração e monitorização exigidos pela legislação em vigor.

É pois neste contexto que se torna importante avaliar a possibilidade de intervir nas lixeiras encerradas e após o período associado à sua actividade biodegradável, valorizando “um resíduo do passado num recurso do presente”.

2.2. SUB-PROBLEMA – MINERAÇÃO DE LIXEIRAS

A sociedade de hoje em dia está mais sensibilizada no que respeita à questão: **Resíduos e sua Valorização**.

Nesta conformidade a recuperação ambiental e selagem das lixeiras que existiam em condições de exploração deficientes com impactes negativos muito significativos para o ambiente e consequentemente para a qualidade de vida das populações residentes na envolvente destes locais, foi uma das prioridades assumidas em Portugal até 2002.

Nas lixeiras verifica-se, permanentemente ou esporadicamente, a auto-combustão dos resíduos, deliberada ou não, com emanação de cheiros desagradáveis e de fumos nocivos,

tóxicos e perigosos, cujos efeitos na região envolvente eram evidentes, fruto da descarga de resíduos de forma incontrolada e desordenada (quer por parte dos municípios, quer por parte dos particulares com fácil acesso às lixeiras).

A ocorrência, sem qualquer tipo de controlo, de águas lixiviantes e do biogás produzidos era outro aspecto ambientalmente incorrecto e gravoso para além de que a maioria das lixeiras não se encontrava vedada, com todos os inconvenientes que esta situação acarreta.

Tornou-se assim prioritário a requalificação ambiental destes locais através de um adequado encerramento e integração paisagística por forma a vocacionar estes terrenos para outro tipo de utilização, nomeadamente, como zonas verdes, sociais ou de lazer ou outras.

Apesar de todas as intervenções efectuadas para no encerramento, requalificação e monitorização, as lixeiras ainda constituem um sub-problema, na medida em que, não contemplando sistemas de impermeabilização e drenagens de fundo podem ainda constituir-se como uma fonte de poluição com consequências ainda assim negativas para o meio ambiente em geral.

É pois, nesta linha de abordagem do sub-problema associado às lixeiras, que se desenvolve o presente trabalho, pois a oportunidade de se intervir na lixeira da Moita, permite avaliar o potencial da mineração dos resíduos depositados e ao mesmo tempo avaliar a possibilidade da sua retirada controlada, com benefícios económicos, ambientais e sociais associadas.

No diagrama, representado na figura 2.3, apresentam-se as vantagens associadas ao processo de *Landfill Mining* – mineração de lixeiras.

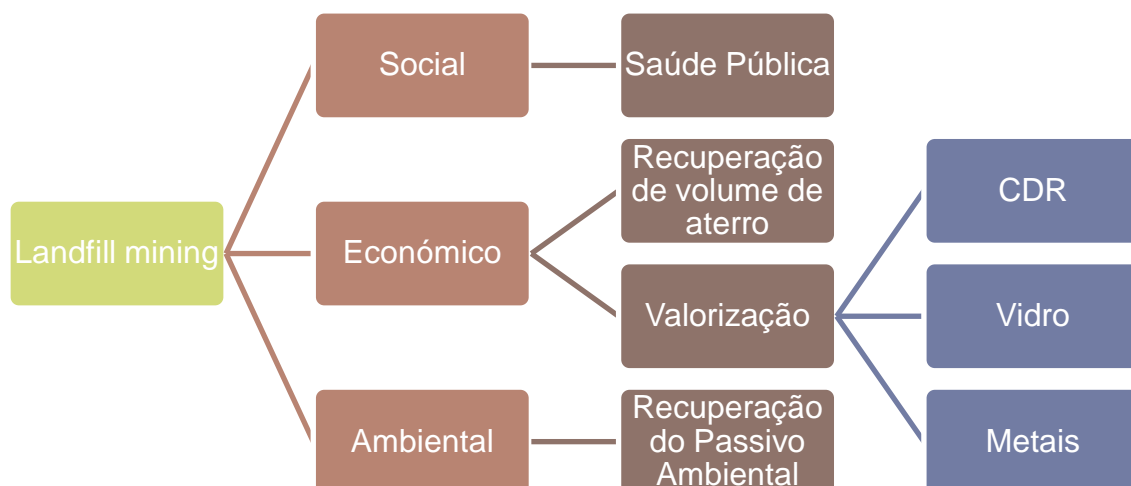


Figura 2.3: Vantagens associadas ao processo de *Landfill Mining*.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. DEFINIÇÃO DE RESÍDUOS

Resíduos, são definidos, pelo Decreto-Lei nº 310/95, de 20 de Novembro, como quaisquer substâncias ou objectos de que o detentor se desfez ou tem intenção ou obrigação de se desfazer, incluídas na Decisão nº 94/3/CE, da Comissão, de 20 de Dezembro de 1993, que aprova o Catálogo Europeu de Resíduos (CER), e identificados em portaria conjunta a aprovar pelos Ministérios da Indústria e Energia, da Saúde, da Agricultura e do Ambiente e Recursos Naturais.

O Decreto-Lei nº 178/2006, de 5 de Setembro, estabelece o regime geral da gestão de resíduos, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva nº 2006/12/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, e 5 de Abril, e a Directiva nº 91/689/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro. O Decreto-Lei citado aplica-se às operações de gestão de recolha, transporte, armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação de resíduos, bem como às operações de descontaminação de solos e à monitorização dos locais de deposição após o encerramento das respectivas instalações.

Para os efeitos do disposto no Decreto-Lei nº 178/2006, entende-se por resíduo qualquer substância ou objecto de que o detentor se desfaz ou tem intenção ou a obrigação de se desfazer, nomeadamente os identificados na Lista Europeia de Resíduos (LER), ou ainda:

- Resíduos de produção ou de consumo não especificados nos termos das subalíneas seguintes;
- Produtos que não obedeçam às normas aplicáveis;
- Produtos fora da validade;
- Matérias acidentalmente derramadas, perdidas ou que sofreram qualquer outro acidente, incluindo matérias ou equipamentos contaminados na sequência do incidente em causa;
- Matérias contaminadas ou sujas na sequência de actividades deliberadas, tais como, entre outros, resíduos de operações de limpeza, materiais de embalagem ou recipientes;
- Elementos inutilizáveis, tais como baterias ou catalisadores esgotados;
- Substâncias que se tornaram impróprias para utilização, tais como ácidos contaminados, solventes contaminados ou sais de tâmara esgotados;
- Resíduos de processos industriais, tais como escórias ou resíduos de destilação;
- Resíduos de processos antipoluição, tais como lamas de lavagem de gás, poeiras de filtros de ar ou filtros usados;
- Resíduos de maquinaria ou acabamento, tais como aparas de torneamento e fresagem;

- Resíduos de extracção e preparação de matérias-primas, tais como resíduos de exploração mineira ou petrolífera;
- Matérias contaminadas, tais como óleos contaminados com bifenil policlorado;
- Qualquer matéria, substância ou produto cuja utilização seja legalmente proibida;
- Produtos que não tenham ou tenham deixado de ter utilidade para o detentor, tais como materiais agrícolas, domésticos, de escritório, de lojas ou oficinas;
- Matérias, substâncias ou produtos contaminados provenientes de actividade de recuperação de terrenos;
- Qualquer substância ou matéria ou produto ao abrangido pelas substâncias anterior.

Os resíduos podem ser classificados quanto à sua fonte, resíduos urbanos (RU), resíduos industriais (RI), resíduos hospitalares (RH), entre outros tipos. Ou quanto à sua natureza, isto é estado físico (sólido/líquido) e perigosidade (perigosos, não perigosos e inertes).

Nos dias de hoje, a gestão de resíduos urbanos (RU), é uma tarefa problemática, devido ao aumento da produção de resíduos *per capita* e diminuição dos possíveis locais para a sua eliminação/deposição; alterações e riscos ambientais relacionados com os sistemas de gestão, cujas medidas de prevenção e minimização são dispendiosas; relutância na modificação da filosofia e da estrutura dos sistemas de gestão de resíduos; necessidade de obter unanimidade e envolvimento por parte dos agentes nos processos de participação em planos de gestão de resíduos urbanos; dificuldades na aplicação de medidas complementares efectivas (de carácter regulamentar, económico e educativo) indutoras de comportamentos eficientes de conservação dos recursos, redução e valorização dos resíduos, por parte dos agentes económicos e dos consumidores (Paços, 2006).

3.2. ENQUADRAMENTO DO CDR

Segundo a especificação técnica CEN/TS 15359 de 2006 o CDR – combustível derivado de resíduo – pode ter origem em RU, resíduos industriais banais (RIB), resíduos de construção e demolição (RCD), e ainda em lamas produzidas quer de abastecimento de água potável quer de saneamento básico em estações de tratamento. De acordo com esta mesma especificação técnica, apenas os combustíveis derivados de resíduos não perigosos podem ser classificados como CDR, a ser utilizado para a recuperação de energia em instalações de incineração ou co-incineração e que cumprem os requisitos de classificação e especificações preconizadas na especificação técnica CEN/TS 15357 de 2005. A especificação ainda refere que:

- Os biocombustíveis sólidos excluídos da Directiva nº 2000/76/EC (“Directiva Incineração”) não estão incluídos no âmbito desta definição, estando abrangidos pelo Comitê Técnico CEN/TC 335 “*Solid Biofuels*”;
- Os resíduos urbanos tratados estão excluídos desta definição.

O CDR tem sido usado como combustível de substituição em várias instalações de co-incineração.

Segundo a NP 4486 de 2008, o sistema de classificação do CDR tem por base três parâmetros importantes, referentes às principais propriedades do CDR:

- Parâmetro económico – Poder Calorífico Inferior (PCI);
- Parâmetro técnico – Teor em Cloro (Cl);
- Parâmetro Ambiental – Teor em Mercúrio (Hg).

O sistema de classificação do CDR é baseado em valores limite para os três parâmetros acima mencionados, utilizando a seguinte apresentação de dados:

- PCI – média aritmética em base tal qual;
- Teor em cloro – média aritmética em base seca;
- Teor em mercúrio – mediana e valor do percentil 80 em base tal qual.

O valor estatístico mais elevado de mercúrio numa série de dados determina a sua classificação. Cada parâmetro é dividido em 5 classes devendo ser associado a um número de 1 a 5 a cada parâmetro. O código da classe consiste então numa combinação de três classificações, dado que os três parâmetros apresentam igual significância. A tabela 3.1 apresenta o sistema de classificação para os CDR.

Tabela 3.1: Sistema de classificação para os combustíveis derivados de resíduos.

Parâmetro	Medida estatística	Unidades	Classes				
			1	2	3	4	5
PCI	Média	MJ/kg (t.q.)	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 3
Teor em Cl	Média	% (b.s.)	≤ 0,2	≤ 0,6	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 3
Teor em Hg	Mediana	mg/MJ (t.q.)	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,08	≤ 0,15	≤ 0,50
	Percentil 80	mg/MJ (t.q.)	≤ 0,04	≤ 0,06	≤ 0,16	≤ 0,30	≤ 1,00

A conformidade de classificação do CDR, num período de 12 meses, deve ser demonstrada por comparação dos valores medidos para cada parâmetros e os valores limite para as classes, definidos no sistema de classificação. A demonstração deve ser feita durante um período em que esteja aplicado um sistema de gestão de qualidade. Para a demonstração da conformidade, o tamanho do lote a adoptar corresponde a um décimo da produção anual contínua efectiva ou estimada.

Se existirem alterações significativas, isto significa uma alteração tal que resulta numa alteração do código de classe, dos parâmetros do material de entrada de produção de CDR ou

nas condições de processo de produção, o lote deve ser interrompido, e considerada a produção de um novo lote.

Para a amostragem e preparação da amostra laboratorial aplicam-se as CEN/TS 15442 e CEN/TS 15443.

Para cada lote deve ser efectuada pelo menos uma medição para cada parâmetro, para o teor em Hg são necessárias três medições por lote, tendo por base a mesma amostra geral. Deve ser recolhida uma amostra laboratorial adicional para verificação cruzada, se necessário. Esta deve ser mantida até que a medição seja validade.

Para o PCI e o teor de Cl, a comparação com os valores limite é feita através da média aritmética de, pelo menos, as últimas 10 medições validadas ou, pelo menos, 10 medições validadas por ano, escolhidas de modo aleatório.

O código da classe para o teor de Hg é estabelecido utilizando a mediana e o percentil 80 baseados, pelo menos, nas últimas 10 medições validadas ou, pelo menos, 10 medições validadas por ano, escolhidas de modo aleatório.

Tendo em conta a CEN/TS 15359: 2006, as propriedades de especificação obrigatória são o código da classe, a forma das partículas, o conteúdo em cinzas, o teor em humidade, o poder calorífico e as propriedades químicas. As propriedades de especificação voluntária são o conteúdo em biomassa, a composição física e ainda outras propriedades físicas e químicas cuja especificação não seja obrigatória.

Quanto à sua forma, o CDR, pode ser classificado de três formas distintas. O *fluff*, material solto de baixa densidade que tem a característica de ser transportado pelo ar. Os *pellets* são produzidos por aglomeração de material solto em cubo, disco ou cilindro, cujo diâmetro é geralmente inferior a 25 mm. E os *briquettes*, bloco ou cilindro, produzido por aglomeração de material solto cujo diâmetro é geralmente superior a 25 mm. Nas figuras 3.1, 3.2 e 3.3 estão exemplos das três formas de CDR produzidas.



Figura 3.1: Exemplo de CDR em forma de fluff (Fonte: Itrimpianti, 2013)



Figura 3.2: Exemplo de CDR em *pellets* (Fonte: EGSRA, 2013)



Figura 3.3: Exemplo de CDR em forma de briquete (Fonte: RICTEC, 2013)

Segundo Dias *et al*, 2006, o processo de produção de CDR consiste numa sequência de processos unitários organizados que tem como objectivo a separação dos vários componentes de uma mistura heterogénea, que são os RU, de maneira a obter CDR com as características desejadas, através de diferentes tecnologias.

Os parâmetros diferem de produtor para produtor, consequência das diferentes estratégias no que concerne à produção do CDR. Assim, dependendo do grau de qualidade a atingir, podem ser aplicadas diferentes sequências de operações unitárias. Os principais processos utilizados nas instalações de CDR visam:

- A separação mecânica e selecção de fluxos;
- Redução de tamanho das partículas;
- Secagem, homogeneização e densificação;
- Embalamento e armazenamento.

No esquema que se segue, está a descrição da instalação para produção de CDR a partir de RU, fornecido pela AMARSUL (figura 3.4).

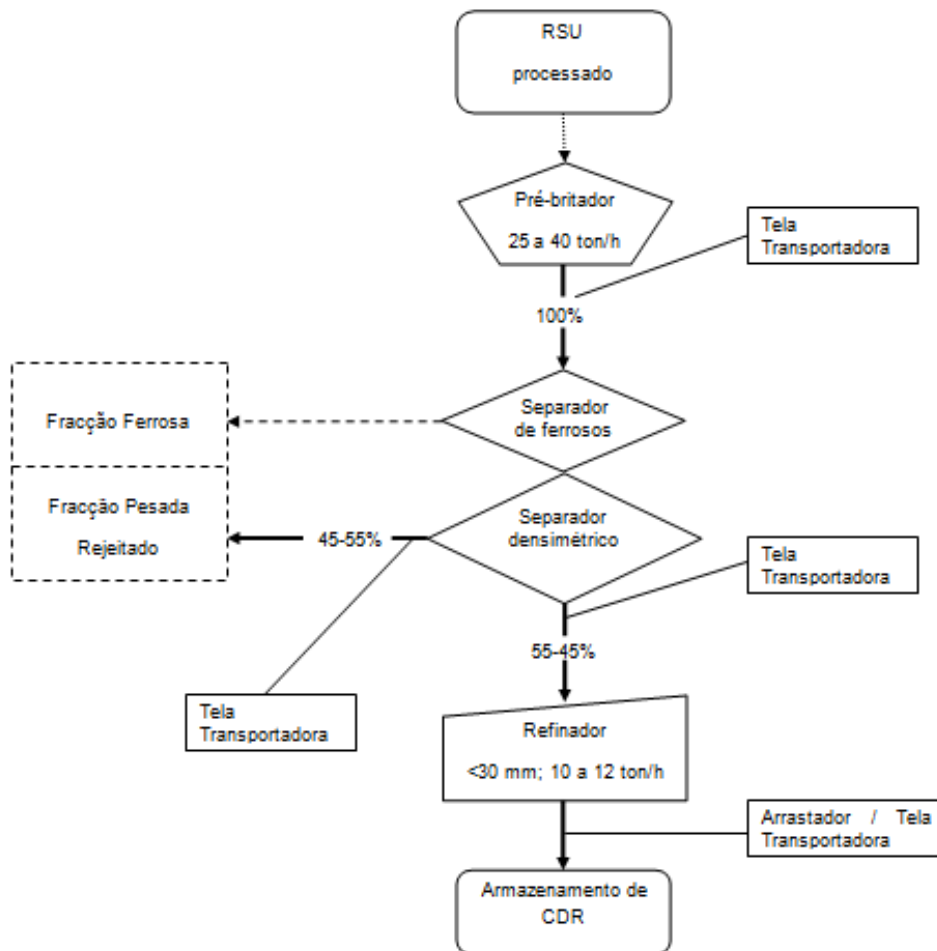


Figura 3.4: Diagrama da instalação para a produção de CDR a partir de RU (adaptado da AMARSUL).

Na primeira fase temos o RU processado, isto é, RU que passou por operações que visam a separação das várias fracções que o constituem, com vista à eliminação das fracções contaminantes do produto final, o CDR.

De seguida passasse para um pré-britador, que visa a redução da granulometria do produto com o intuito de, por um lado, aumentar o seu grau de homogeneização e, por outro lado, de facilitar as fases de separação seguintes, no caso de existirem.

Depois de transportado, passa por um separador de ferrosos, ficando apenas tudo o que é não ferroso. E passa por um separador densimétrico, onde apenas cerca de 55 a 45% vai para um refinador, o restante é a fracção pesada rejeitada.

No refinador, vamos obter o CDR com a granulometria pretendida (<30 mm), o teor de humidade correcto, a sua homogeneização e densificação. Nem todas estas fases são sempre utilizadas, depende do produto final pretendido (Dias *et al*, 2006).

Por fim, é transportado o produto final, CDR, pronto a ser armazenado e encaminhado para o seu destino final.

O embalamento e armazenamento do CDR exigem alguns cuidados de segurança, uma vez que se trata de um combustível inflamável sob determinadas condições ambientais. A gaseificação do CDR ocorre devido ao aumento brusco de temperatura causado pela oxidação da matéria orgânica, com o ar que o rodeia, estando este aumento da temperatura relacionado com o raio da pilha cilíndrica onde o CDR é armazenado (Dias *et al*, 2006).

Os CDR são classificados, segundo a Lista Europeia de Resíduos (LER) de acordo com a Portaria nº 209/2004, de 3 de Março, com o Código 19 12 10 – Resíduos do tratamento mecânico de resíduos, resíduos combustíveis (combustíveis derivados de resíduos).

Na Directiva nº 2008/98/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro, define no seu Artigo 3º “resíduos”, quaisquer substâncias ou objectos de que o detentor se desfaz ou tem intenção ou obrigação de se desfazer. Preconiza no seu Artigo 6º o fim do estatuto de resíduo caso tenham sido submetidos a uma operação de valorização, incluindo a reciclagem, e satisfaçam critérios específicos a estabelecer nos termos das seguintes condições:

- a) A substância ou objecto ser habitualmente utilizado para fins específicos;
- b) Existir um mercado ou uma procura para essa substância ou objecto;
- c) A substância ou objecto satisfazer os requisitos técnicos para os fins específicos e respeitar a legislação e as normas aplicáveis aos produtos; e
- d) A utilização da substância ou objecto não acarretar impactos globalmente adversos do ponto de vista ambiental ou da saúde humana.

Em 2009 foi elaborada a Estratégia para os Combustíveis Derivados de Resíduos, aprovada pelo Despacho nº 21295/2009, de 26 de Agosto do MAOTDR e do MEI, publicado no Diário da República, 2ª série – N.º 184 – 22 de Setembro de 2009, sendo um complemento essencial do PERSU II, apresentado como política de reciclagem e desvio de aterro.

Segundo a Estratégia para os Combustíveis Derivados de Resíduos, tem sido referido por diversos intervenientes que a classificação dos CDR enquanto resíduos constitui um constrangimento à sua utilização.

A Estratégia, apenas vinculativa em Portugal Continental, preconiza um conjunto de medidas de incentivo ao mercado dos CDR, nomeadamente, no domínio da optimização da respectiva produção, do reforço dos instrumentos económicos e fiscais, das restrições à deposição em aterro, da agilização administrativa do licenciamento de unidades de produção, bem como da sensibilização e informação de potenciais utilizadores, designadamente, da indústria e do sector energético. Estas medidas estão estipuladas no PERSU II para a dinamização do mercado dos CDR no horizonte temporal compreendido entre 2009 e 2020.

Neste enquadramento, consubstanciando-se a Visão da Estratégia na valorização do CDR como um recurso, foram delineados 4 eixos estratégicos de intervenção aos quais se associa um conjunto de medidas de actuação, conforme se sistematiza na tabela 3.2.

Tabela 3. 2: Eixos estratégicos de intervenção e correspondentes medidas de actuação para a valorização do CDR (adaptado do Despacho n.º 21295/2009)

	Eixos de intervenção	Medidas de actuação	Horizonte	Responsabilidade
I	Potenciar a valorização dos resíduos e utilização de recursos energéticos endógenos de modo a minimizar a quantidade de resíduos a depositar em aterro	Assegurar o cumprimento do PERSU II no que respeita a infraestruturas de gestão de resíduos	2010	Sistemas Gestão RU
		Potenciar a valorização da fracção resto e otimizar a produção de CDR	2012	Sistemas Gestão RU
		Fortalecer os instrumentos económicos e financeiros (taxa de gestão de resíduos e tarifário eléctrico)	2012	Administração Central
		Inibir a deposição de CDR em aterro	2013	Administração Central e Regional
II	Assegurar a harmonização na oferta e procura do CDR	Evidenciar compromissos formais para a valorização de CDR	2009	Sistemas Gestão RU
		Reforçar os instrumentos legais e de regulação	2010	Administração Central e Regional
		Promover a simplificação administrativa no licenciamento da produção de CDR	2009-2020	Administração Regional
III	Concretizar os princípios da auto-suficiência e da proximidade	Concretizar o princípio da auto-suficiência e da proximidade	2009-2020	?
IV	Desenvolver o conhecimento e a inovação tecnológica promovendo a competitividade e a qualificação dos intervenientes	Desenvolver ensaios e estudos piloto	2009-2020	Sistemas Gestão RU
		Promover acções de informação, sensibilização e comunicação		Administração Central
		Assegurar a monitorização e recolha de informação		Administração Central
		Acompanhar e participar no desenvolvimento da matéria a nível comunitário		Administração Central

Através desta Estratégia, o Governo pretende dar um forte sinal ao mercado dos combustíveis derivados de resíduos, contribuindo para a sua dinamização, e por conseguinte, para a sustentabilidade deste sectores dos resíduos e da indústria utilizadora destes combustíveis, com vantagens inequívocas para o ambiente e para a auto-suficiência energética do país.

O aproveitamento de rejeitados e refugos de unidades de triagem, de tratamento mecânico (TM) e de tratamento mecânico e biológico (TMB) de resíduos urbanos (RU) com eventual mistura com fracções não recicláveis de resíduos não perigosos de origem não urbana permite

a obtenção de CDR com características homogéneas e significativo poder calorífico e conteúdo biogénico, constituindo um contributo importante para a gestão sustentada de resíduos e recursos, designadamente, através do desvio de resíduos de aterro e da utilização enquanto combustível alternativo.

Assim, a produção e a utilização de CDR constituem operações de gestão de resíduos têm, na última década, vindo a ser encaradas com crescente interesse por sectores industriais (ex. cimento, pasta de papel, cerâmico), de produção de energia e de gestão de resíduos.

O Governo aprovou, em 2007, a Portaria nº 187/2007, de 12 de Fevereiro, o PERSU II, instrumento que consiste numa revisão do PERSU I constituindo o novo referencial para os agentes do sector, para o horizonte de 2007-2016.

De forma a se garantir a sustentabilidade da aposta nos modelos de gestão de RSU baseados no tratamento mecânico e ou biológico, o PERSU II identifica a necessidade de se fomentar o escoamento dos CDR, com valor económico positivo, através da eliminação de constrangimentos e potenciação de benefícios ao nível da respectiva utilização.

A Estratégia pretende ser uma contribuição, sobretudo, para a gestão sustentada de resíduos e recursos, designadamente, através do desvio de resíduos de aterro e da valorização de um recurso energético endógeno, com vantagens para a redução da dependência energética externa, e com uma possível vantagem para o balanço de emissões de gases com efeito de estufa (GEE), na medida em que o CDR pode substituir alguns combustíveis fósseis, dependendo o referido ganho do teor biogénico do próprio CDR e do factor de emissão de GEE associado ao combustível a substituir.

O enquadramento legal para a produção e utilização de CDR é definido, a nível nacional, pelo Decreto-Lei nº 178/2006, de 5 de Setembro, que estabelece o regime geral da gestão de resíduos e transpõe a Directiva Resíduos, e pelo Decreto-Lei nº 85/2005, de 28 de Abril, que estabelece o regime legal de incineração e co-incineração de resíduos, transpondo a Directiva nº2006/76/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de Dezembro, a “Directiva da Incineração”.

O Decreto-Lei nº 178/2006, de 5 de Setembro, prevê que as operações de gestão de resíduos, nas quais se incluem a produção e utilização de CDR, sejam realizadas de acordo com as normas técnicas relativas à eliminação ou redução do perigo para a saúde humana e para o ambiente causado pelos resíduos.

Complementarmente, o referido Decreto prevê mecanismos de agilização dos procedimentos de licenciamento da produção e utilização de CDR, designadamente:

- Armazenagem, triagem e tratamento mecânico de resíduos não perigosos;
- Co-incineração, de resíduos combustíveis não perigosos resultantes do tratamento mecânico de resíduos.

O Decreto-Lei nº 85/2005, de 28 de Abril, estabelece o regime a que fica sujeita a incineração e co-incineração de resíduos, preconiza, designadamente, requisitos de exploração e de controlo e monitorização de emissões para a atmosfera. Estas disposições aplicam-se à incineração dedicada de CDR, em instalações destinadas a resíduos urbanos e outras, bem como à co-incineração, independentemente de o CDR constituir o único ou um combustível alternativo e de a sua utilização se efectuar em centrais de valorização de biomassa.

Até ao momento não foi elaborado nenhum parecer técnico que faça o enquadramento legislativo da utilização de CDR proveniente de resíduos de lixeira, pelo que se apresenta uma pequena abordagem ao enquadramento legislativo do CDR.

3.3. TECNOLOGIAS PARA A VALORIZAÇÃO DE CDR

Na cadeia de valor para a gestão de resíduos, a valorização energética aparece hierarquicamente depois da valorização multimaterial e orgânica. Neste enquadramento a valorização energética no processo de gestão de resíduos incide fundamentalmente sobre os refugos e rejeitados de processos de tratamento mecânico a montante do tratamento biológico ou, directamente, sobre os resíduos indiferenciados como solução de tratamento final (Dias et al, 2006).

No que respeita às tecnologias para a valorização do CDR do ponto de vista energético este é em tudo semelhantes aos combustíveis fósseis e, como tal, as tecnologias já existentes para a combustão destes poderão, teoricamente, ser utilizadas para a sua valorização. Contudo a composição físico-química do CDR em bruto pode colocar alguns problemas à sua livre utilização em unidades de combustão projectadas para combustíveis fósseis. Conforme essas condições assim se pode definir quais as soluções a adoptar ou intervenções a promover previamente.

No que refere às tecnologias disponíveis para a sua valorização podem se considerar:

- a Gaseificação,
- a Pirólise,
- a Incineração e,
- a Co-Incineração.

Todavia cada uma das tecnologias exige requisitos específicos, nomeadamente, o PCI e a granulometria, de acordo com Dias et al, 2006. De salientar também que o desenvolvimento tecnológico está associado à maior ou menor contribuição para os GEE e para a possibilidade de valorização associada à energia produzida e à substituição de combustíveis fósseis.

Relativamente a cada uma das opções tecnológicas passíveis de se utilizarem para a valorização energética do CDR, no caso do presente trabalho recorreu-se ao apoio da SECIL, unidade cimenteira localizada em Outão, para analisar a viabilidade da utilização dos resíduos

provenientes do *Landfill mining* a realizar na lixeira da Moita, situada na proximidade daquela unidade. Sendo o material retirado da lixeira objecto de preparação para utilização como CDR naquela unidade cimenteira e dispondo este material de características específicas, torna-se importante e fundamental analisar seu potencial energético de forma isolada ou em conjunto com outros refugos ou rejeitados resultantes de linhas de processo de tratamento de resíduos.

Em seguida descreve-se de forma sucinta o processo produtivo da empresa SECIL, onde se pode viabilizar a valorização energética do material retirado da lixeira da Moita.

3.3.1. Empresa SECIL

Em 1904, a Fundação da Companhia de Cimentos de Portugal instalou os dois primeiros fornos verticais na fábrica do Outão em Setúbal para uma produção de 10 000 t/ano. A marca SECIL – Sociedade de Empreendimentos Comerciais e Industriais, Lda – foi criada em 1925, tornou-se a maior fábrica de cimento em Portugal entre 1930 a 1972, com a construção de 7 fornos por via húmida (processo de fabrico da época), com uma capacidade de produção de 1.000.000 de toneladas de clínquer (SECIL, 2013).

A Fábrica Secil-Outão está situada na localidade do Outão, freguesia de Anunciada, concelho de Setúbal, distrito de Setúbal, estando inserida no Parque Natural da Arrábida junto ao Rio Sado. O facto de estar localizado ao lado do Rio Sado, permite à Fábrica ter três cais acostáveis (figura 3.5), dotados de meios autónomos de carga e descargas simultâneas, e acesso a um terminal rodoviário (SECIL, 2011).



Figura 3.5: Vista do cais da Fábrica Secil-Outão (Fonte: Vistasdoriosado.blogspot, 2010).

Actualmente a Secil tem uma produção anual superior a 2.000.000 toneladas de vários tipos de cimento cinzento. O processo na Fábrica do Outão é totalmente feito por via seca, sendo em 1982 o processo por via húmida abandonado definitivamente. Na realidade, o processo de via seca aliado à possibilidade das linhas de fabrico de cimento poderem queimar carvão, fuelóleo,

gás e “pet-coke”, oferece uma grande flexibilidade na otimização dos consumos energéticos e na obtenção de excelentes índices de consumo de combustíveis por tonelada de cimento produzida (SECIL, 2013).

O processo de fabrico de cimento é composto por seis etapas principais, que são a extracção, britagem, moagem do cru, cozadura, moagem de cimento e expedição, como se pode observar na figura 3.6, o diagrama do fabrico de cimento.

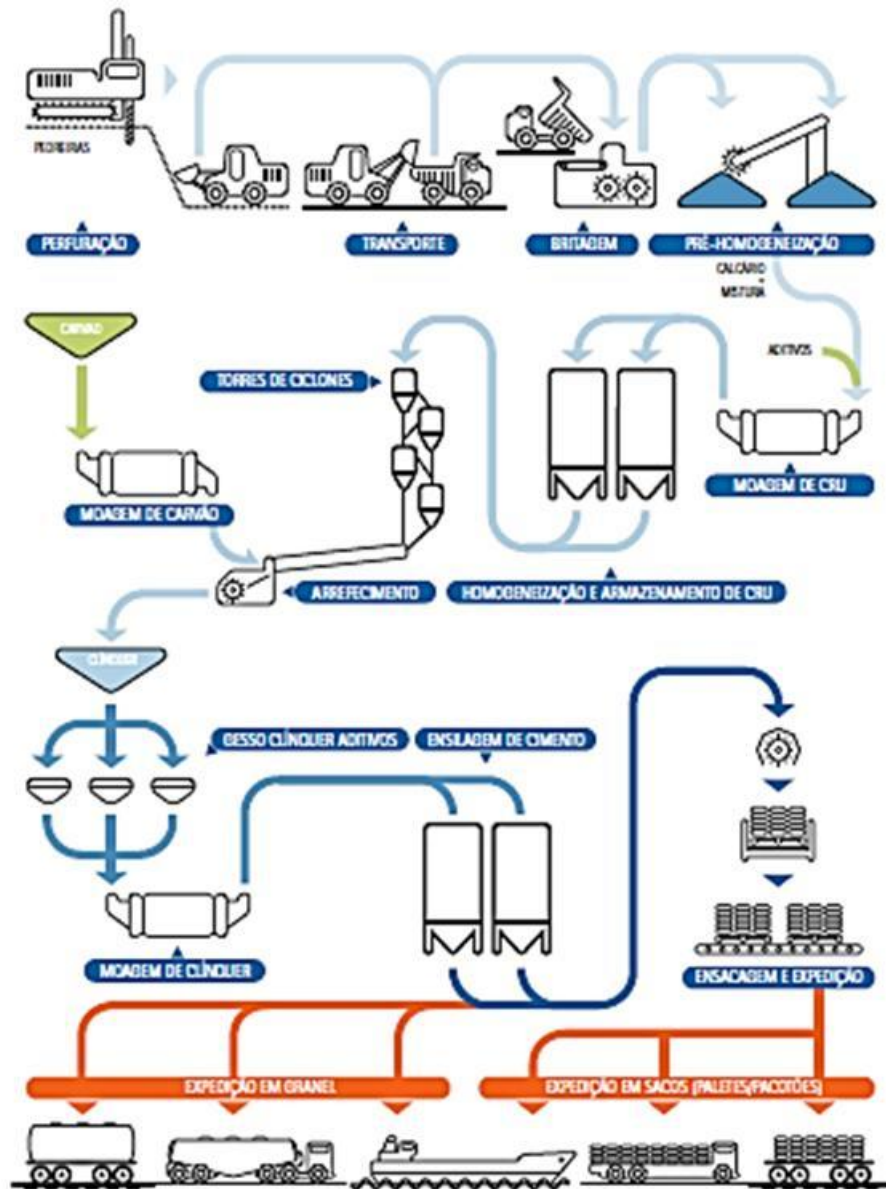


Figura 3.6: Diagrama do processo de fabrico do cimento (Fonte: SECIL, 2013)

O processo de fabrico de cimento tem como primeira etapa a exploração das matérias-primas de uma pedra. A matéria-prima é constituída por uma mistura, em proporções bem determinadas, de calcário, marga e argila, à qual se adicionam, quando necessários, materiais de correcção, tais como areia e minério de ferro. O processo de exploração é feito por norma a

céu aberto, e o arranque da pedra pode ser mecânico ou com explosivos, sendo neste caso necessário abrir furos onde é introduzida a carga explosiva (SECIL, 2013). Na figura 3.7, está o exemplo de uma máquina de furar para colocação de cargas explosivas.



Figura 3.7: Exemplo de máquina utilizada para a realização de furos para a colocação de carga explosiva (Fonte: SECIL, 2011)

Em seguimento do processo de exploração da matéria-prima, tem-se a segunda etapa, a britagem da pedra, como se pode ver na figura 3.8. A matéria extraída passa por um britador com o propósito de reduzir o tamanho da pedra a uma granulometria adequada, inferior a 9 cm, para uma posterior utilização nos seguintes processos de fabrico. Em simultâneo com a britagem, procura-se que a mistura dos materiais extraídos se aproxime da composição química desejada (SECIL, 2011).



Figura 3.8: Entrada da matéria-prima no britador (Fonte: SECIL, 2011).

A seguir aos processos de exploração e britagem da matéria-prima existe uma moagem, a terceira etapa, denominada por moagem a cru (figura 3.9). Tem como função reduzir as matérias-primas a uma mistura finamente moída e fazer as correções químicas necessárias à

composição química pretendida, caso não tenham ficado finalizadas na pedreira. A operação é controlada através de computadores de processo, por forma a obter o produto – clínquer – com a qualidade pretendida (SECIL, 2011).

Na moagem são, por norma, utilizados moinhos tubulares, de duas camaras, com corpos moentes (bolas metálicas de diversos diâmetros), ou moinhos verticais de mós. Em qualquer dos casos é necessário secar as matérias-primas, para economizar no processo, aproveita-se, com frequência, o calor contido nos gases de escape dos fornos, que simultaneamente fazem o transporte do cru do moinho ao silo de armazenagem (SECIL, 2011).



Figura 3.9: Aspecto exterior de um moinho de cru vertical (Fonte: SECIL, 2011).

Depois da moagem a cru vem a operação de cozedura, a quarta etapa, através da qual surge, por reacções químicas complexas, um produto granulado denominado de clínquer. O clínquer é a rocha artificial resultante da cozedura das matérias-primas e que constitui o principal componente do cimento. O cru é cozido em fornos, como o da figura 3.10, de tipo e dimensões que variam com a tecnologia de cada fabricante. São constituídos por um tubo “rotativo”, montado segundo uma inclinação que pode ir de 2,5 a 5% e com uma velocidade de rotação entre os 1,5 e 2,5 r.p.m., atingindo comprimentos de 85m. No seu interior são revestidos por um material refractário que confere uma protecção ao forno e reduz perdas térmicas. Para que se dê o processo de cozedura, ou clinquerização, é necessário atingir uma temperatura de cerca de 1450°C. Esta temperatura obtém-se pela combustão de carvão pulverizado, “pet-coke”, fuelóleo, gás natural ou outros combustíveis secundários. O processo de cozedura iniciasse a partir do momento em que o cru é extraído dos silos de armazenagem e é introduzido no sistema de pré-aquecimento, onde circula em contra-corrente com os gases de escape resultantes da queima de combustível. O transporte do material através dos fornos faz-se pelo movimento de rotação e pelo seu grau de inclinação (SECIL, 2013).



Figura 3.10: Aspecto exterior de um forno de produção de clínquer (Fonte: SECIL, 2011).

De seguida ao processo de formação de clínquer, a 1450 °C, começa o processo de arrefecimento, primeiro com o encaminhamento da massa para a entrada dos arrefecedores e depois através destes. De forma a facilitar o arrefecimento, é introduzido ar em contra-corrente com o clínquer, aproveitando-se este ar aquecido para a queima de combustível (SECIL, 2013).

Cada forno tem que ser complementado por um sistema de arrefecimento do produto fabricado, pois a evacuação e o transporte do clínquer incandescente, são, na prática, impossíveis; o arrefecimento rápido melhora a qualidade do clínquer; e a recuperação do calor transportado pelo clínquer melhora o rendimento térmico do processo (SECIL, 2013).

Os transportadores de clínquer têm que ser resistentes a elevadas temperaturas, apesar do clínquer sofrer um rápido arrefecimento, este sai dos fornos a uma temperatura de cerca de 200 °C. O clínquer é transportado para os silos ou armazéns horizontais (SECIL, 2013).

A quinta etapa, após a formação do clínquer no processo de cozedura, é a moagem de cimento. O produto cimento é obtido através da moagem da mistura clínquer, produto saído do forno, gesso, materiais alternativos como o calcário, cinzas volantes das centrais térmicas e escórias da siderurgia, e ainda por outros materiais com propriedades hidráulicas. O tipo de cimento determina a composição da mistura, sendo quase sempre o clínquer o produto maioritário (SECIL, 2011). Na moagem podem ser utilizados moinhos verticais ou, mais comumente, moinhos tubulares, com uma, duas ou três câmaras, funcionando em circuito aberto ou circuito fechado. Quando em circuito fechado, utilizam-se “separadores” para rejeitar as partículas mais grossas, que retornam ao circuito da moagem. Os materiais são moídos em proporções bem definidas, de acordo com o plano de qualidade e de modo a satisfazer as

normas e especificações em vigor. Por norma, o cimento produzido é transportado por via pneumática ou mecânica, sendo armazenado em silos ou armazéns horizontais (SECIL, 2013).

Por fim, temos a embalagem e expedição do cimento. A SECIL dispõe hoje de meios automáticos de carregamentos que permitem satisfazer o cliente no abastecimento de cimento, reduzindo os tempos de carga. O cimento produzido pode ser também embalado em sacos de 25, 35, 40 ou 50 kg e depois agrupado em paletes de madeira, como se pode ver na figura 3.11 (SECIL, 2011). O cimento expedido sobre a forma de granel é transferido directamente do silo onde está armazenado para camiões-cisterna, cisternas para transporte ferroviário ou para navios de transporte de cimento (figura 3.12).



Figura 3.11: Máquina ensacadora (Fonte: SECIL, 2011).



Figura 3.12: Cimento pronto a ser expedito (Fonte: SECIL, 2011).

A etapa que mais energia consome na produção de cimento é a cozedura. Tradicionalmente são utilizados combustíveis fósseis derivados do petróleo ou carvão. É nesta etapa que os resíduos podem ser co-incinerados, funcionando como combustíveis alternativos (Valorizar, 2006). Os combustíveis alternativos têm diferentes locais de entrada nos fornos de fabrico de cimento consoante as respectivas temperaturas, evitando-se choques térmicos que influenciam

Com o intuito de aumentar a taxa de substituição de combustíveis alternativos, está em curso o projecto “CA 70”, que tem como objectivo criar as condições necessárias nas fábricas Secil em Portugal, para se atingir um valor de 70% de substituição de Combustíveis Alternativos. O objectivo para 2012 era de 50%, valor esse que não se sabe se foi alcançado, uma vez que a declaração ambiental para 2012 ainda não foi disponibilizada.

3.4. ENQUADRAMENTO TÉCNICO – LANDFILL MINING

Segundo Heyer, do Technical Commite Landfill Technology, a técnica de *landfill mining* baseia-se na escavação dos resíduos sólidos urbanos que foram depositados em lixeiras sem qualquer tratamento ou triagem prévia. A técnica de *landfill mining* tem como principal finalidade a recuperação de volume de aterro, da fracção de CDR (combustível derivado de resíduo), de materiais reciclados e do solo.

A técnica *landfill mining* está associada à recuperação de terrenos onde se desenvolveram lixeiras, sendo este um processo de escavação do terreno, utilizando a técnica convencional de mineração para recuperação de vários materiais, como metais, vidros, plástico, solo e dos próprios recursos da terra (van der Zee *et al*, 2004).

A mineração de antigas lixeiras pode ser ainda usada com o intuito de remediação das zonas/terrenos que têm problemas ambientais significativos, tal como a poluição dos lençóis freáticos. Pode ser também uma mais-valia em lixeiras antigas em condições de biodegradabilidade baixa que não tenham problemas ambientais e de saúde públicas, mas que permitam melhorar os seus padrões ambientais.

O processo de *landfill mining* é realizado em várias fases:

- Escavação da massa de resíduos de forma faseada e controlada;
- Crivagem e separação dos materiais recicláveis, materiais combustíveis e outros resíduos depositados na lixeira;
- Remoção de resíduos perigosos e posterior deposição em local apropriado;
- Saneamento e Remediação do solo de fundação;
- Requalificar o local de forma a recuperá-lo tecnicamente e ambientalmente para outra utilização diferente ou, após saneamento das condições negativas reestruturar o local com adequados sistemas de protecção ambiental, vocacioná-lo para utilização como destino final adequado de resíduos; Programar adequada monitorização antes, durante a recuperação e após a conclusão do projecto.

A técnica de *landfill mining* permite a resolução/eliminação de problemas de grande sensibilidade ambiental, tais como:

- O risco de contaminação de aquíferos subterrâneos tendo em conta a falta de sistemas de impermeabilização das bases e taludes de lixeira e falta de drenagem e captação de lixiviados;
- O risco de doenças para residentes vizinhos ou catadores por contacto com as emissões tóxicas que possam ocorrer nas lixeiras;
- O risco de incêndio e explosão devido aos gases inflamáveis e mistura de gases;
- Os custos elevados de manutenção e controlo, particularmente no que se refere à captura de lixiviados e emissões de gases;
- O risco residual inestimável envolvido em soluções alternativas tais como os sistemas de encapsulamento e “*pump-and-treat*”;
- Problemas de espaço em áreas com elevada densidade populacional.

No entanto, as lixeiras são bastante díspares no que respeita à localização, tamanho e conteúdo. Consequentemente, custos e benefícios da sua mineração serão muito diferentes (van der Zee *et al*, 2004).

Segundo Krooks, *et al* (2011) *apud* Savage *et al* (1993), a técnica de *landfill mining* foi realizada pela primeira vez em Israel em 1953 por forma a obter fertilizantes para pomares, mas por várias décadas esta foi a única iniciativa tomada. Porém, nos anos 90, houve um aumento do interesse na prática desta estratégia.

Nos Estados Unidos da América (EUA), a técnica *landfill mining* foi utilizada com o objectivo de recuperar combustível para produção de energia, mas alguns dos estudos foram também focados na recuperação de materiais escavados para reciclagem (Hogland *et al*, 2003 *apud* Spencer, 1991). O primeiro projecto documentado sobre *landfill mining* foi realizado em Collier County, na Florida, EUA, entre 1986 e 1992 para fornecer combustível extra para centrais de energia. Entre 1987 a 1993, foram feitas escavações em seis lixeiras nos EUA com o objectivo de obter material de cobertura (Hogland *et al*, 2003 *apud* The World Resource Foundation, 1995). Em 1997, cerca de 40 projectos sobre *landfill mining* estavam a ser elaborados em diferentes fases de implementação nos EUA e Canadá (Hogland *et al*, 2003 *apud* Krogmann, 1997).

Na década de 90, na Europa, a técnica de *landfill mining* foi também realizada tendo sido elaborados testes piloto em Inglaterra, na Itália, na Suécia e Alemanha. Na Alemanha, em 1993, foi efectuado o primeiro projecto europeu de *landfill mining*, na lixeira de Burghof (Hogland *et al*, 2003 *apud* Allgaier, 2003, *apud* Bilitewski, 1995). Os custos de execução começaram contudo a ser tidos em conta aquando da decisão destas iniciativas. Esta técnica é relativamente nova na Suécia, tendo as pesquisas sido iniciadas em Helsingborg, no sul da Suécia. Em Janeiro de 1996, foi realizado um *workshop* internacional em Pitea, no norte da Suécia, sobre *landfill mining* (Hogland *et al*, 2003 *apud* Hogland, 1996).

O presente trabalho teve como base dois estudos desenvolvidos anteriormente, por forma a dar sustento prático aos trabalhos decorridos de seguida.

3.5.1. Estudo do potencial de mineração da lixeira da Moita: Análise Técnica e Económica. Relatório Técnico.

O primeiro foi o *Estudo do potencial de mineração da lixeira da Moita: Análise Técnica e Económica. Relatório Técnico*, elaborado pela professora Graça Martinho *et al*, 2008, do Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa em parceria com a AMARSUL.

Neste estudo foi possível realizar uma caracterização dos resíduos existentes na Lixeira da Moita, obtendo valores médios globais da composição física do total de resíduos caracterizados (figura 3.14), assim como a análise da fracção dos materiais combustíveis (figura 3.15).

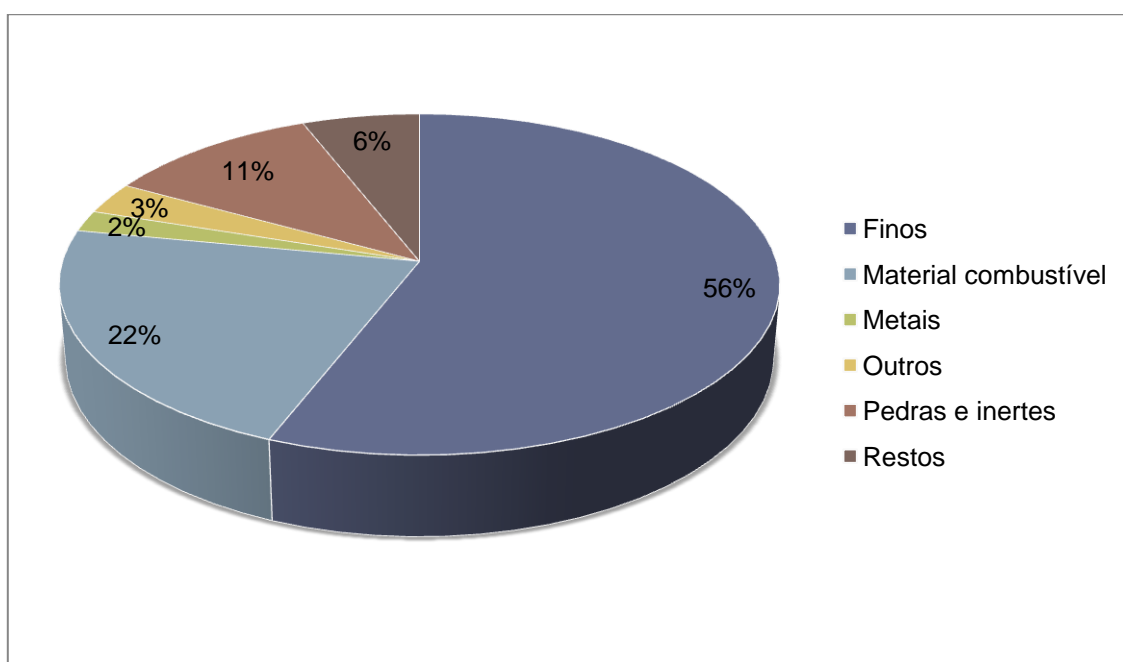


Figura 3.14: Valores médios globais da composição física do total de resíduos caracterizados. Como se pode observar, as componentes mais representativas são os finos, com um valor médio de 56%, seguindo-se o material combustível (isto é papel, cartão, embalagens de plástico rígidas, ECAL, filmes plásticos, madeiras e têxteis), com uma percentagem média de 22%, as pedras e os inertes representam 11% do total de resíduos.

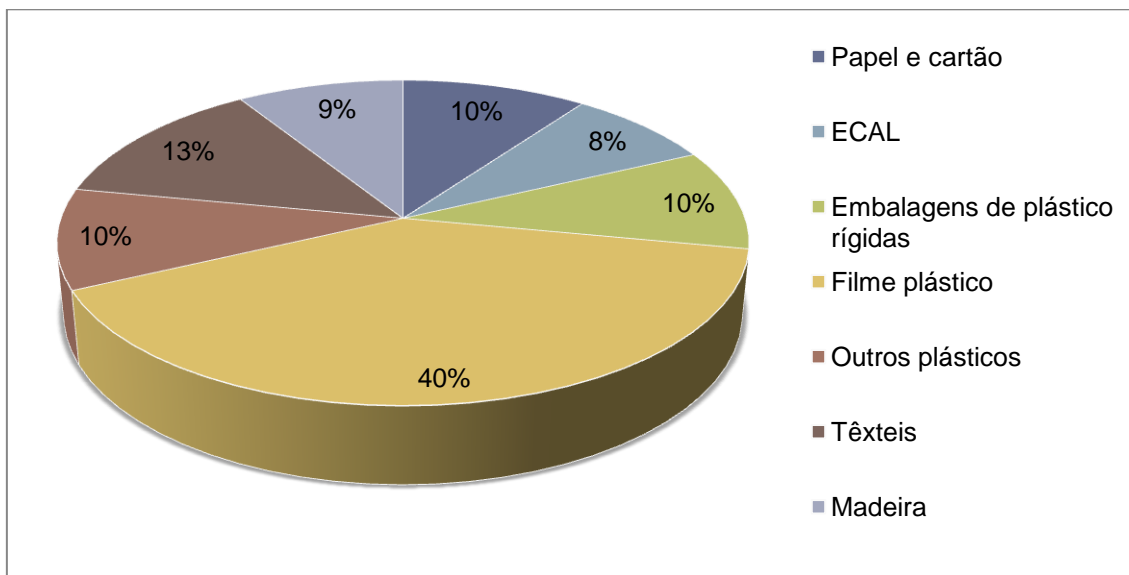


Figura 3.15: Distribuição dos vários componentes da fracção combustível de resíduos depositados na lixeira da Moita

Na fracção combustível, o filme plástico é a componente mais representativa, com 40%, de seguida os têxteis, com 13%, o papel e cartão, embalagens de plástico rígidas e outros plásticos com iguais percentagens.

Neste estudo estimou-se que a área da lixeira da Moita é aproximada de **12,8 hectares**, tendo uma altura média de **7 metros** de resíduos e um volume de **897 768 m³** de resíduos, a que deverão corresponder, aproximadamente, **673 233 toneladas** de resíduos. Estes resíduos, de acordo com as campanhas de caracterização realizadas, terão a composição física que se indica na tabela 3.3, expressa em peso total de resíduos depositados.

Tabela 3.3: Composição total dos resíduos da Lixeira

Componentes	Composição (toneladas)
Metais ferrosos	9 410
Metais não ferrosos	2 687
Vidro	18 146
Papel	13 340
Plástico	93 416
Resíduos inorgânicos	112 566
Resíduos orgânicos	43 500
Finos	380 166
Total	673 233

Não foram efectuadas análises químico-biológicas ao material depositado. Apesar desta limitação, a recuperação potencial dos materiais foi estimada com base nas utilizações tipicamente conseguidas, descritas na bibliografia, e considerando a maximização da utilização

destes resíduos, para que não fossem novamente colocados em aterro de modo a readquirir espaço, uma vez que a falta de locais para deposição de resíduos está a tornar-se problemática.

A fracção combustível estimada, em cerca de 150 mil toneladas, poderia ser utilizada como combustível alternativo, CDR, desde que viabilizado pela unidade de cimenteira (Martinho, *et al*, 2008). A partir desta recomendação foram elaborados os estudos da presente dissertação.

3.5.2. Avaliação das opções de remediação para a antiga lixeira da Moita-Barreiro.

O segundo estudo foi realizado pelo Centro de Investigação em Geociências Aplicadas (CIGA) em 2003-2004, no qual identificaram uma pluma de contaminação com origem na lixeira da Moita, confirmada pelo resultado das análises químicas à qualidade da água recolhida em um dos furos de monitorização. Através de campanhas de prospecção geofísica verificou-se que a pluma possui uma extensão de aproximadamente 500 m.

O CIVTRS de Palmela está localizado sobre um dos maiores e mais produtivos aquíferos da Península Ibérica, sendo a fonte de abastecimento de água potável da população dos concelhos da margem sul do Tejo e é fundamental como reserva estratégica regional. São por estes dois fundamentos que a preservação e recuperação do passivo ambiental são tão importantes.

Devido à importância da recuperação do passivo ambiental a AMARSUL foi solicitado um estudo à CIGA, em 2007/2008, com o intuito de estudar a área da antiga lixeira da Moita, para caracterizar o sistema aquífero e avaliar possíveis metodologias de remediação. O sistema é composto por um aquífero livre superior e um aquífero inferior confinado a semi-confinado.

Foram enviados para serem analisados 13 pontos de água, os 9 novos furos de monitorização e 4 poços localizados nas imediações do CIVTRS, incluindo o poço 3 analisado em estudos anteriores pela CIGA, em Novembro de 2003, onde foi detectada uma alteração da qualidade da água e desta forma será possível avaliar uma evolução da sua qualidade.

Para avaliação da qualidade das águas subterrâneas foram utilizadas duas legislações. O Anexo I do Decreto-Lei nº 236/98, em que são indicados os valores máximos recomendáveis (VMR – valor de norma de qualidade que, de preferência, deve ser respeitado ou não excedido) e os valores máximos admissíveis (VMA – valor de norma de qualidade que não deverá ser ultrapassado). A tabela A da legislação Holandesa referente à água potável, em que são apresentados os *intervention values* (valor acima do qual se considera que se está na presença de contaminação grave) e os *target values* (indica um nível em que se considera que existe uma qualidade sustentada de solos e águas subterrâneas).

No Anexo I, tabelas I.1 e I.2 estão os resultados analíticos das amostras de água subterrânea e a comparação com a Legislação Holandesa e o Decreto-Lei nº236/98.

Tendo em conta os resultados, os valores de bário e TPH estão acima do *intervention value* de acordo com a Legislação Holandesa.

Segundo a análise dos resultados pela Legislação Portuguesa, os elementos bário, ferro e selénio excedem os VMA. E os elementos azoto amoniacal, Azoto kjeldahl, arsénio, CBO (carência bioquímica de oxigénio), cloretos, condutividade, fenóis, ferro, nitratos e sulfatos excedem os VMR.

Existem ainda valores de pH elevados nos furos P8 e P9, este facto poderá ser devido à presença de cimento utilizado no isolamento entre o aquífero superficial e o aquífero mais profundo.

A presença de ferro acima dos limites de referência generalizados em quase todas as amostras indica que este elemento está naturalmente presente nas águas da região, não sendo um parâmetro que ponha em risco a saúde pública mas antes um elemento indesejável.

A existência de bário poderá estar associado à utilização de lamas de circulação para a execução dos furos, ou ser proveniente dos resíduos contidos na lixeira. Este elemento é muito solúvel em água e podem percorrer grandes distâncias. Todos os compostos solúveis de bário são venenosos quando ingeridos.

O selénio presente em excesso em 4 amostras é um elemento tóxico acima de concentrações de 0.01mg/L, e a sua presença provoca o aumento da incidência de cáries dentárias.

De forma a avaliar a evolução da qualidade das águas subterrâneas ao longo dos anos, foi feita uma comparação entre as determinações analíticas efectuadas em 2003 e em 2006/2007. No Anexo I estão as tabelas I.1 e I.2 com os resultados analíticos obtidos e respectivas comparações, tendo em consideração a Legislação Holandesa e o Anexo I do Decreto-Lei nº236/98.

Os resultados referentes a 2003 baseiam-se em análises efectuadas em estudos anteriores pela CIGA. Os resultados apresentados para os furos de monitorização P3, P5 e P6 em 2006/2007, foram fornecidos pela AMARSUL e são referentes à campanha de amostragem anual de Dezembro de 2006. Para os poços P2 e P3 são apresentados os resultados referentes à campanha de amostragem efectuada em Junho de 2007.

Nas tabelas I.3 e I.4, apresentadas no Anexo I, é possível verificar que:

- No furo P3 ocorre um aumento na concentração de cálcio e CQO e uma diminuição dos cloretos, ferro, magnésio, nitratos e nitritos.

- No furo de monitorização P5 há um aumento na condutividade eléctrica e nas concentrações de: arsénio, bário, crómio, azoto amoniacal, cloretos e CQO; diminuição na concentração de magnésio e de hidrocarbonetos.
- No furo P6 aumentou a concentração de cloretos, nitratos e nitritos, e uma diminuição de azoto amoniacal, cálcio, CQO, ferro e magnésio.
- Para o poço 2 há um aumento da concentração de azoto amoniacal e cloretos, e uma diminuição de azoto kjeldahl e ferro.
- No poço 3 há um aumento da condutividade eléctrica e nas concentrações de arsénio, crómio, CQO, cloretos, e diminuição na concentração de bário, azoto amoniacal, azoto kjeldahl e ferro.

3.5.2.1. Modelação hidrodinâmica

Neste capítulo estão descritos três modelos hidrodinâmicos elaborados para o CIVTRS de Palmela, o modelo conceptual, e dois modelos numéricos, o modelo de fluxo e o modelo de transporte. Foi considerado o composto azoto amoniacal como o contaminante principal, por ser o elemento que apresenta uma maior distribuição na área em estudo com valores de concentração mais elevados.

O modelo numérico tem como objectivo avaliar o impacto actual e futuro nas águas subterrâneas causado pelos lixiviados da lixeira e avaliar possíveis medidas de remediação. A preocupação da AMARSUL em relação a esta lixeira é a utilização de águas subterrâneas pela população nas imediações do CIVTRS. Apesar de não utilizarem a água recolhida nos poços para consumo próprio directo, utilizam-na indirectamente na agricultura, o que poderá trazer problemas de saúde pública.

Nesta dissertação, para apresentação da problemática da contaminação do aquífero, o modelo que melhor representa a contaminação é o modelo numérico de transporte. O programa utilizado para simular o comportamento do azoto amoniacal nas águas subterrâneas foi o MT3DMS.

As fontes de contaminação de azoto amoniacal estão localizadas nas imediações da lixeira e nas valas que durante os períodos de pluviosidade intensa transbordam, estando neste momento resolvido com a selagem das células do aterro.

A condição de contorno utilizada é a recarga de concentração com os valores variando de 5.000 a 12.000 mg/L. Estes valores são diluídos à medida que se misturam com as águas superficiais (precipitação).

Na figura 3.16 estão representadas as 3 áreas distintas que funcionam como fontes de contaminação, identificadas através da observação de campo:

- A área 1 representa a fonte causada pelo transbordamento de lixiviados das valetas de contenção;
- A área 2 representa a zona onde eram acidentalmente descarregados lixiviados provenientes das condutas de águas pluviais;
- A área 3 representa a localização da lixeira da Moita.



Figura 3.16: As áreas a rosa representam locais em que o azoto amoniacal infiltra para as águas subterrâneas

Para calibração do modelo de transporte foi simulada a existência da lixeira há trinta anos e os resultados da simulação foram então comparados com os valores de concentração do azoto amoniacal medidos nas últimas campanhas de amostragem (Agosto de 2007). Na tabela 3.4 estão representados os valores medidos nesta última campanha e os valores de concentração calculados pelo modelo numérico.

O principal parâmetro modificado durante a calibração do modelo de transporte foi a concentração do azoto amoniacal nas diferentes fontes, que é o parâmetro que mais influencia as concentrações nas águas subterrâneas. A condição de contorno utilizada no modelo de transporte foi a recarga de concentração, com valores que variam de 5.000 a 12.000 mg/L. Devido às incertezas deste parâmetro, o processo de calibração baseou-se na simulação de várias composições de valores até que a melhor comparação entre os valores medidos no campo e calculados pelo modelo foi atingida.

Apesar das incertezas inerentes à fonte de contaminação e o seu histórico a maioria dos valores encontram-se próximos, permitindo o cálculo de medidas de remediação para a pluma de azoto amoniacal.

Tabela 3.4: Comparação dos valores de concentração medidos nas campanhas de amostragem de Agosto de 2007 e os valores calculados pelo modelo numérico.

Furo de monitorização	Valor de concentração medido de NH4 mg/L	Valor de concentração calculado pelo modelo numérico de NH4 mg/L
P1	<0,05	0
P2	<0,05	0
P3	<0,05	0
P4	<0,05	0,06
P5	634	341
P6	475	231
P7	15	21,6
P8 (profundo)	31	0,08
P9 (profundo)	0,27	9,8
P10	328	294
P11 (profundo)	0,7	0,03
P12	314	407
P13	241	506
P14	262	675
P15	160	143
P16	232	355
Poço 1	0,31	0
Poço 2	3,6	58,3
Poço 3	34	54,3
Poço 4	0,09	16

Os resultados preliminares do modelo de transporte estão demonstrados nas 3.17, 3.18 e 3.19, que calculou a pluma de contaminação para o azoto amoniacal após 30 anos desde o início das actividades da lixeira (tempo de residência dos contaminantes no local).

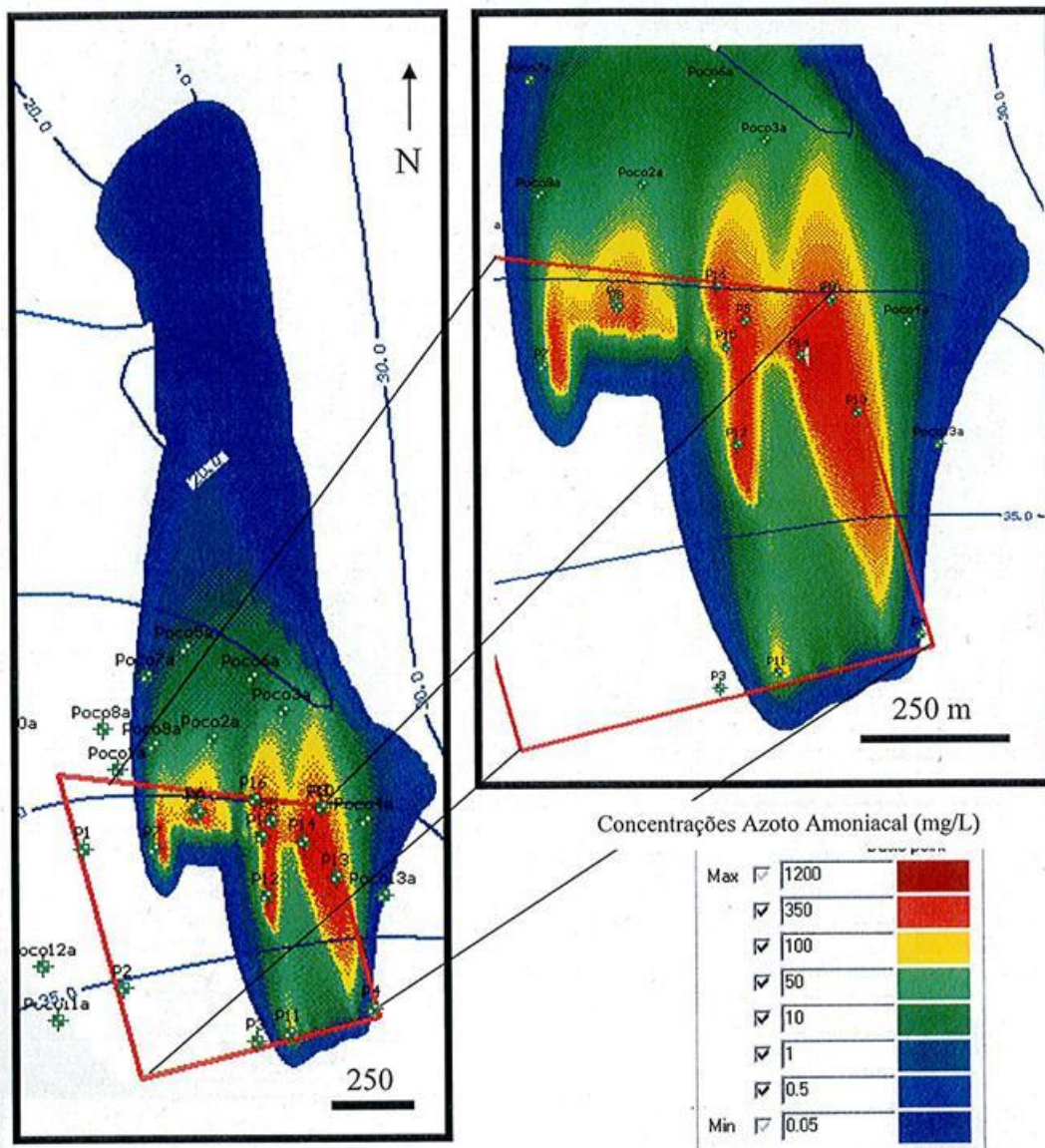


Figura 3.17: Simulação das concentrações de azoto amoniacal após 30 anos desde o início das actividades da lixeira – aquífero livre. Os valores de concentração estão em mg/L (castanho = 1200 mg/L e azul escuro = 0,05 mg/L)

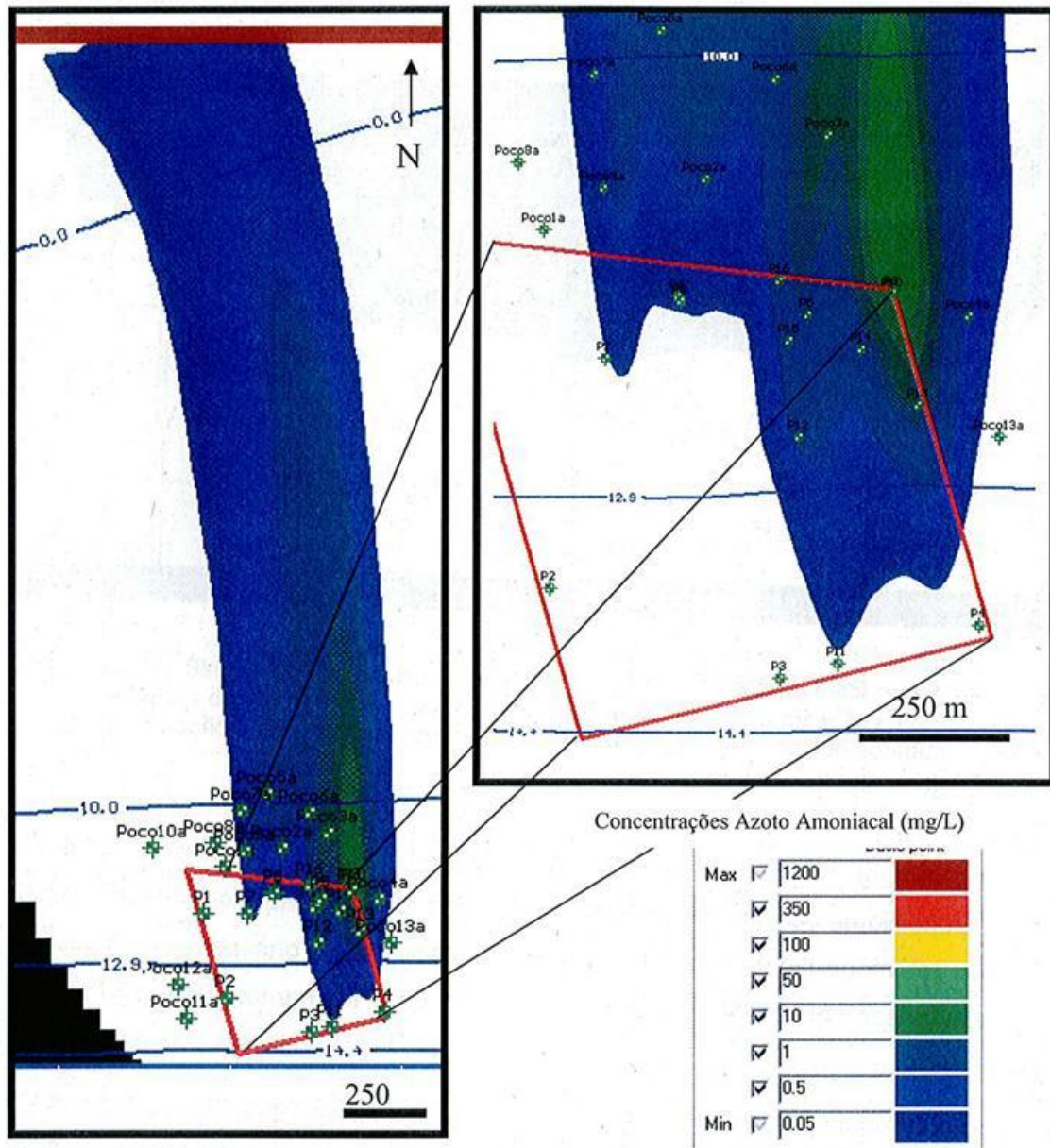


Figura 3.18: Simulação das concentrações de azoto amoniacal após 30 anos desde o início das actividades da lixeira – aquífero semi-confinado/confinado. Os valores de concentração estão em mg/L (castanho = 1200 mg/L e azul escuro = 0,05 mg/L)

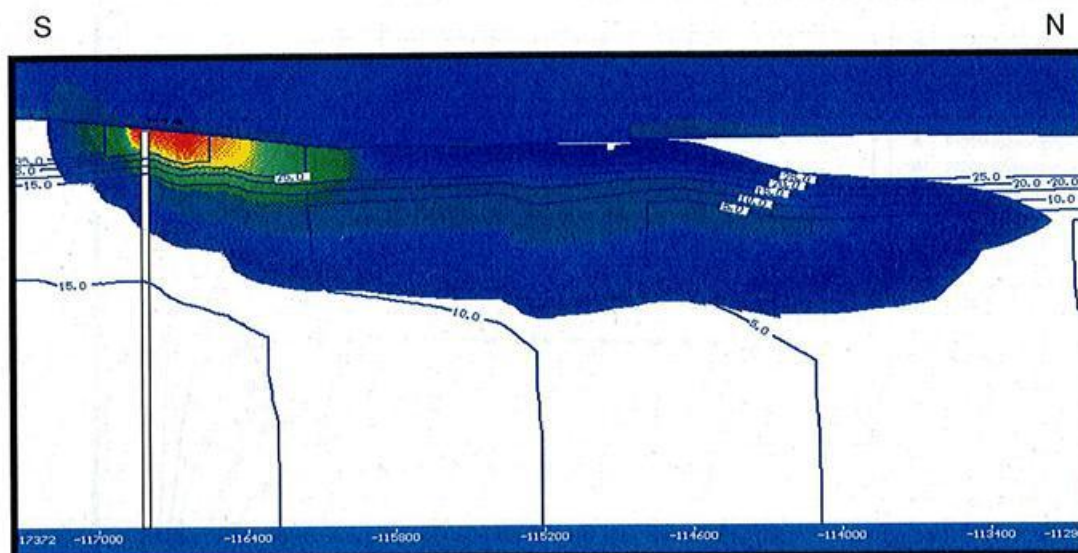


Figura 3.19: Simulação das concentrações de azoto amoniacal após 30 anos desde o início das actividades da lixeira – secção S-N. Os valores de concentração estão em mg/L (castanho = 1200 mg/L e azul escuro = 0,05 mg/L)

As figuras 3.17, 3.18 e 3.19 mostram a pluma de contaminação na sua extensão máxima e em detalhe depois de 30 anos, respectivamente no aquífero livre (camada 1), no aquífero semi-confinado/confinado (camada 4) e no aquífero em corte lateral no sentido Sul-Norte.

Foi considerado um valor conservativo para a dispersão numérico do modelo, a distribuição espacial para valores mais baixos pode apresentar-se amplificada. As simulações preliminares indicam que após 30 anos os lixiviados atingiram as águas subterrâneas superficiais (aquífero livre), assim como, os níveis mais profundos do aquífero. A camada de argila que separa os dois primeiros aquíferos (aquífero livre e o primeiro aquífero semi-confinado/confinado) protegeu por um certo período de tempo o aquífero profundo, no entanto, não existe camada geologia que funcione completamente como barreira por tempo indeterminado.

Através da análise do modelo de transporte é possível observar a pluma de azoto amoniacal atingiu o seu máximo, estando actualmente estabilizada. No decorrer do tempo, é possível que ocorram algumas variações na sua concentração, reflectindo as diferenças nos focos de contaminação dentro da lixeira.

No gráfico representado na figura 3.20 é possível observar a variação de azoto amoniacal ao longo do tempo, notando-se que a partir de aproximadamente 10 anos houve uma estabilização da pluma de contaminação. A partir deste período não houve um aumento das concentrações de azoto amoniacal nos poços de monitorização.

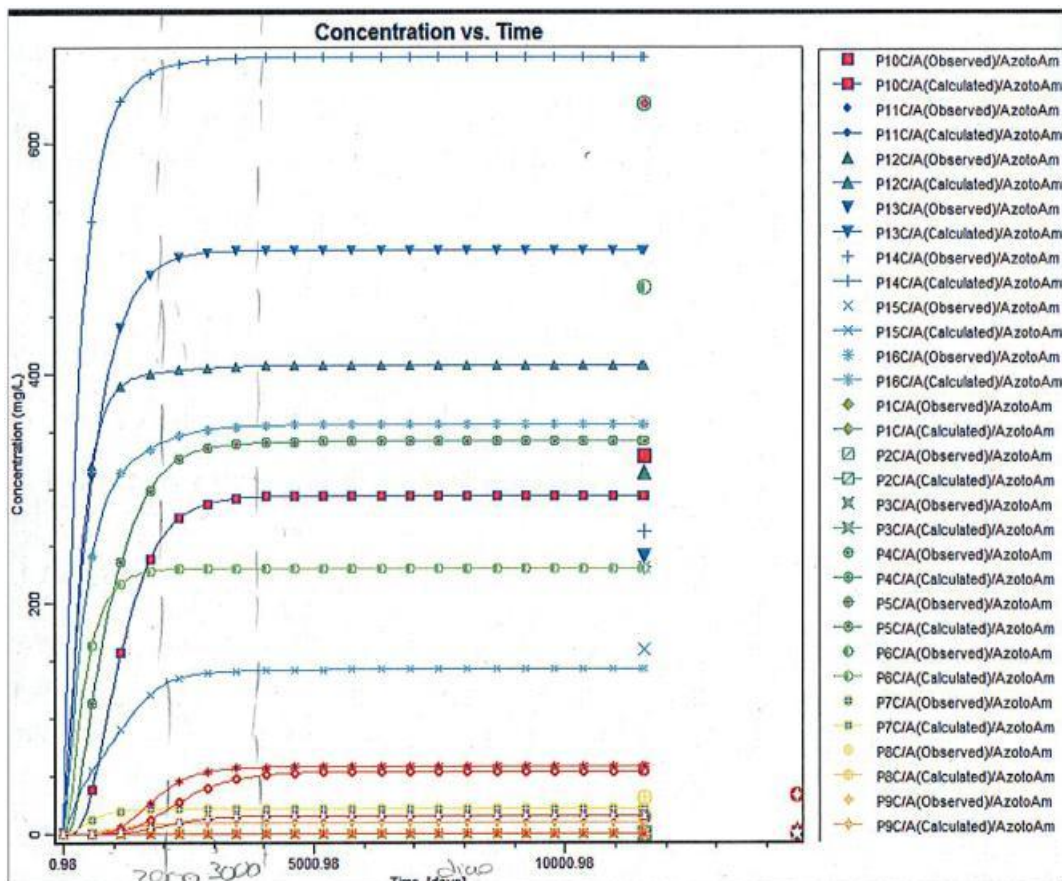


Figura 3.20: Gráfico da variação da concentração de azoto amoniacal (mg/L) com o tempo.

3.5.2.2. Conclusões

O estudo sobre a avaliação das opções de remediação para a antiga lixeira da Moita-Barreiro teve como principais objectivos a caracterização do sistema aquífero da área composta por um aquífero livre e um aquífero inferior semi-confinado/confinado, determinar o grau de contaminação dos dois aquíferos, e a avaliação de possíveis metodologias de remediação das águas subterrâneas. Para esta dissertação apenas foram focados os dois primeiros objectivos, de forma a mostrar a pluma de contaminação provocada pela área da lixeira da Moita.

Foram instalados 9 furos de monitorização nas imediações da lixeira para ser determinado as propriedades hidráulicas dos aquíferos e avaliar a qualidade das águas. Para ter sido possível avaliar o aquífero inferior foram instalados três furos de monitorização profundos (P8 com 40m, P9 com 64m e P11 com 42m), todos os outros foram instalados para avaliar o aquífero superior e compreendem profundidades entre os 16 e 22 metros.

Através dos ensaios de bombagem nos furos de monitorização profundos, verificou-se que nos furos de monitorização superficiais não ocorreu alteração do nível freático, o que indica que não existe comunicação directa entre os aquíferos superior livre e semi-confinado/confinado.

A partir dos ensaios de bombagem de curta duração, que determinam a condutividade hidráulica das formações presentes, em todos os furos de monitorização superficiais instalados no CIVTRS de Palmela, concluiu-se que as formações geológicas apresentam uma permeabilidade média.

Foram realizadas campanhas de amostragem de águas subterrâneas a todos os novos furos de monitorização e a vários poços localizados a jusante da lixeira, de forma a avaliar a qualidade da água subterrânea. Os resultados analíticos mostraram que existem vários parâmetros que excedem os valores de referência nomeadamente, bário, selénio, ferro e os azotos. O arsénio excede o VMR em vários furos de monitorização. Esta alteração da qualidade das águas subterrâneas poderá estar relacionada com o tipo de resíduos que estão depositados na lixeira.

Através da comparação dos resultados das determinações analíticas realizadas em 2003 e 2006/2007, para os furos de monitorização P3, P5 e P6 e os poços 2 e 3, verificou-se que mantém-se a degradação da qualidade das águas subterrâneas, tendo ocorrido um agravamento da degradação no que respeita ao poço 3.

A análise da água retirada dos furos de monitorização profundos revelou valores de azoto amoniacal e azoto kjeldahl elevados para o furo P8 e valores de azoto amoniacal alto para o furo P9, o que indica que poderá estar a ocorrer passagem de contaminação do aquífero superior livre para o aquífero inferior. Este facto foi simulado pelo modelo numérico de transporte e de fluxo. O facto deste aquífero ser utilizado por parte da população nas imediações do CIVTRS para rega das suas produções hortícolas, tal poderá levantar problemas de saúde pública.

A análise do modelo de transporte permitiu observar que a pluma de azoto atingiu o seu máximo, estando actualmente estabilizada (equilíbrio entre a fonte e a distribuição da pluma). No entanto, é possível que ocorram algumas variações de concentração nas águas subterrâneas, reflectindo as diferenças nos focos de contaminação dentro da lixeira actualmente activos.

4. CASO DE ESTUDO – LIXEIRA DA MOITA

4.1. SITUAÇÃO DE REFERÊNCIA

A lixeira da Moita, encerrada em 1996, esteve durante 16 anos em exploração. Recebendo durante esse período resíduos sólidos urbanos, industriais e hospitalares dos concelhos de Palmela e da Moita.

Em 1997 foi constituída a AMARSUL – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos S.A., tendo-lhe sido atribuída a concessão de exploração e gestão do Sistema Multimunicipal de Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos da Margem Sul do Tejo, por um período de 25 anos. Na assinatura dos contratos de entrega e recepção, com os municípios que o integram, a lixeira da Moita passou a fazer parte das infraestruturas dos municípios herdadas pela AMARSUL, neste caso no município de Palmela.

De acordo com o Decreto-Lei 53/97 de 4 de Março são titulares originários das ações da sociedade os municípios inseridos na área de actuação (Alcochete, Almada, Barreiro, Moita, Montijo, Palmela, Seixal, Sesimbra e Setúbal) com um total de 49% do capital social têm direito a voto, e a Empresa Geral do Fomento, S. A., com 51% do capital social com direito a voto. Como é possível constatar na figura 4.1, a sociedade AMARSUL, neste momento, tem a concessão para o tratamento e valorização dos resíduos sólidos urbanos dos 9 municípios da Península de Setúbal.



Figura 4.1: Mapa representativo dos 9 municípios abrangidos pela AMARSUL (Fonte: AMARSUL, 2013).

As suas infra-estruturas estão localizadas nos três Centros Integrados de Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos (CIVTRS), um em Palmela (a sede), outro no Seixal e outro em Setúbal, abrangendo uma área geográfica total de cerca de 1.559 km², e uma população de 779 mil habitantes. A sociedade de valorização e tratamento de RU tem a seu cargo 7 ecocentros, 2 aterros sanitários, 1 central de triagem, 1 central de compostagem, 2 sistemas de aproveitamento energético de biogás, 1 estação de transferência, 1 unidade de tratamento

mecânico, 1 unidade de produção de combustíveis derivados de resíduos e 8 120 contentores de deposição selectiva (adaptado do site da AMASUL, 2012 *apud* Anacleto, 2008).

A lixeira da Moita está situada no CIVTRS de Palmela, pertencente à freguesia da Quinta do Anjo, na confluência dos concelhos de Palmela e da Moita, a Este da Barra Cheia, na zona de influências do Vale das Sete Fontes, conforme consta na Carta Militar de Portugal, folha 443, à escala 1/25 000, do Instituto Geográfico do Exército. Na figura 4.2, está delimitado a azul a localização da CIVTRS de Palmela.

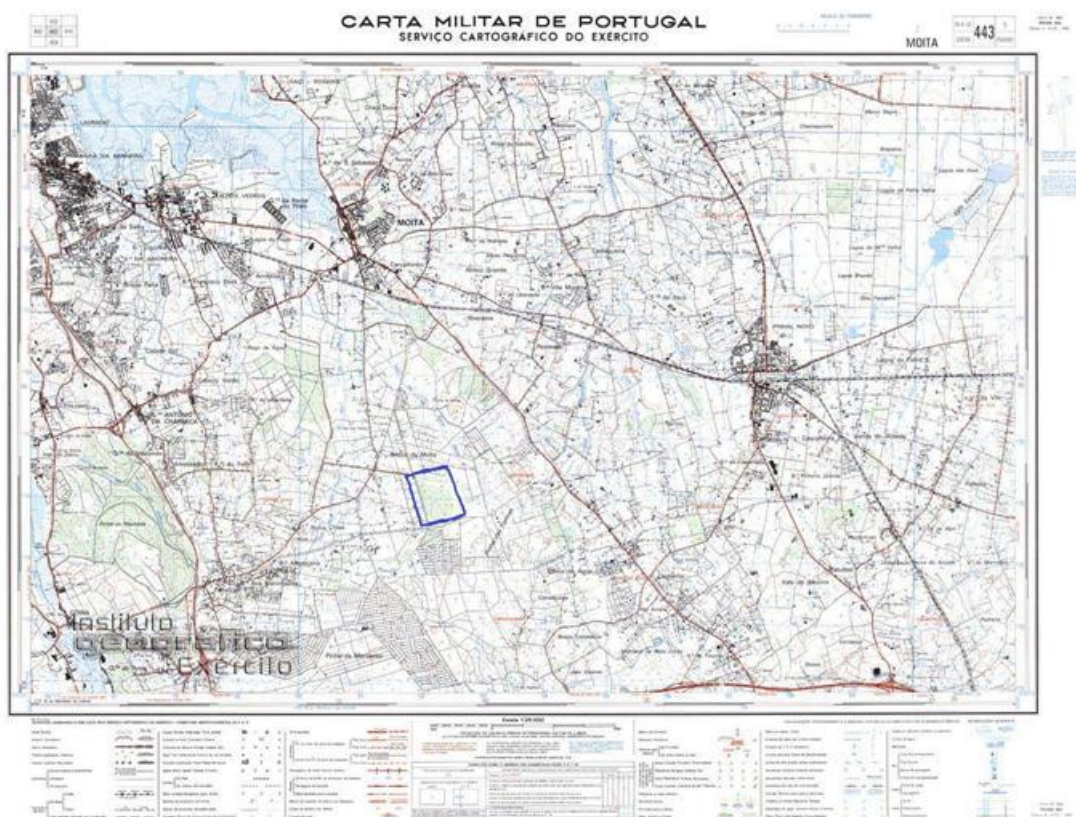


Figura 4.2: Delimitação a azul da localização do CIVTRS de Palmela, na Carta Militar de Portugal, folha 443, do Instituto Geográfico do Exército, modificada.

Na tabela 4.1, estão apresentados os valores das análises realizadas em 2006/2007, na lixeira da Moita, nos piezómetros a montante e a jusante da lixeira, e o valor máximo recomendado e valor máximo admissível segundo o Decreto-lei nº 236/98.

Tabela 4.1: Resultado das análises efectuadas às águas subterrâneas, em 2006/2007 para a AMARSUL.

Parâmetros	Piezómetro Montante	Piezómetro Jusante	VMR	VMA
pH	5,74	7,52	6,5 – 8,5	-
Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)	226	8490	1000	-

Arsénio (mg/L)	<0,001	0,039	0,01	0,05
Bário (mg/L)	0,04	0,5	-	0,1
Crómio (mg/L)	<0,001	0,02	-	0,05
Cobre (mg/L)	<0,002	<0,002	0,02	0,05
Mercúrio (mg/L)	<0,0002	<0,0002	0,0005	0,001
Chumbo (mg/L)	0,005	0,004	-	0,05
Níquel (mg/L)	<0,005	0,014	-	-
Selénio (mg/L)	<0,0004	<0,0004	-	0,01
Zinco (mg/L)	<0,02	<0,02	0,5	3,0
Azoto amoniacal (mg/L)	<0,05	660	0,05	-
Azoto kjeldahl (mg/L)	-		1	-
Nitratos (mg/L)	18	2,3	25	50
Nitritos (mg/L)	<0,01	<0,01	-	-
Carência bioquímica de oxigénio (CBO) (mg/L)	<2	25	3	-
Carência química de oxigénio (CQO) (mg/L)	<5	545	-	-
Cálcio (mg/L)	6,9	30	-	-
Cloretos (mg/L)	49	1800	200	-
Ferro (mg/L)	0,03	4,7	0,1	0,3
Magnésio (mg/L)	6,9	36	-	-
Potássio (mg/L)	1,6	463	-	-
Sódio (mg/L)	27	953	-	-
Sulfatos (mg/L)	8,5	8,9	150	250

Tendo em conta os valores de CBO₅ e CQO, da tabela 4.16, podemos verificar que no piezómetro a montante, na zona mais recente da lixeira, o valor da relação CBO₅/CQO é de 0,4, o que nos indica que a lixeira ainda não atingiu a sua maturação, estando presente matéria orgânica. No piezómetro a jusante, o valor da relação CBO₅/CQO é de 0,04, o que nos indica que neste local, por ser o mais antigo da lixeira, esta já atingiu a maturação.

Os valores das análises realizadas aos restantes piezómetros do CIVTRS de Palmela encontram-se no Anexo I.

4.2. PROTOCOLO ESTABELECIDO ENTRE A AMARSUL E A SECIL

A AMARSUL, no âmbito de uma parceria protocolada com a SECIL, iniciou em 2011 a produção de combustíveis derivados de resíduos (CDR) no Ecoparque de Palmela. O fornecimento deste CDR pela AMARSUL está estimado em cerca de 50 mil toneladas por ano

e permite aproveitar 12,5% do total de resíduos sólidos urbanos recepcionados nas infra-estruturas da empresa que faz o tratamento e valorização dos resíduos sólidos urbanos dos municípios de Alcochete, Almada, Barreiro, Moita, Montijo, Palmela, Seixal, Sesimbra e Setúbal. Além de contribuir para o cumprimento dos objectivos nacionais e europeus em matéria de valorização de resíduos urbanos, nomeadamente no que diz respeito à redução do volume de resíduos que é depositado em aterro, a produção de CDR, enquanto recurso com elevado poder de substituição dos combustíveis convencionais, contribui também para reduzir a dependência energética dos combustíveis fósseis e consequentemente as emissões de gases com efeito de estufa para a atmosfera (Águas de Portugal, 2013).

Tendo em conta esta parceria da SECIL com a AMARSUL no que respeita ao fornecimento e aquisição do CDR produzido com benefício para ambas as empresas relativamente aos objectivos e metas pretendidas, a SECIL demonstrou desde logo interesse em colaborar no tema da presente dissertação. Assim acordou em realizar as análises às amostras recolhidas na lixeira da Moita nos seus laboratórios de controlo da qualidade (no Outão) no âmbito desta dissertação, procurando ser interveniente nesta investigação sobre o CDR proveniente dos resíduos da lixeira da Moita.

As metodologias para o desenvolvimento dos trabalhos de campo e posteriormente em laboratório sobre as amostras recolhidas para o efeito foram as que se descrevem no capítulo seguinte.

5. METODOLOGIA DOS TRABALHOS REALIZADOS

5.1. ENQUADRAMENTO

O caso de estudo – Lixeira da Moita – tem particularidades relevantes que levaram à sua escolha como caso de estudo, tais como:

- A AMARSUL, no âmbito de uma parceria protocolada com a SECIL, ter iniciado em 2011 a produção de combustíveis derivados de resíduos (CDR);
- A lixeira ser parte integrante do CIVTRS de Palmela, pertencente aos terrenos da AMARSUL;
- A necessidade de um novo espaço para aterro sanitário;
- A existência de uma caracterização física da massa de resíduos, e
- A existência de uma caracterização do nível de contaminação dos níveis freáticos.

Tendo em conta os pontos anteriormente referidos, procederam-se os trabalhos de investigação, com os apoios logísticos e financeiros das empresas AMARSUL, SECIL, SGR e TRANSUCTAS, no que concerne à disponibilidade de equipamentos para escavação, processamento de amostras, análise das amostras de CDR e terras, e disponibilidade para acompanhamento de todo o processo em campo, tornaram o presente trabalho exequível.

Salienta-se que neste contexto foi possível:

- Observar as características físicas (observação visual) dos resíduos e respetiva degradação e biodegradabilidade;
- Sobre as amostras preparadas analisar as características químicas das componentes selecionadas bem como o respectivo poder calorífico inferior (PCI) destes resíduos retirados em profundidade;
- Efectuar análises químicas à fracção dos finos e avaliar a sua potencial utilização como terras de cobertura;
- Avaliar o potencial de utilização deste resíduos como CDR (combustível derivado de resíduo) em unidades de cimenteira, neste caso em parceria com a SECIL e, em simultâneo,
- Identificar quais as condições de intervenção a promover para o saneamento dos solos de fundação tendo em vista uma nova ocupação de espaço libertado.

Os resultados obtidos a partir do projecto de caracterização dos resíduos por Anacleto (em 2008), em conjunto com o presente estudo do potencial de utilização de resíduos removidos da lixeira como CDR, traduzem-se em elementos importantes de suporte para uma tomada de decisão, pela empresa AMARSUL. De facto a decisão a tomar, relativamente às acções para a eliminação da eventual contaminação do maior aquífero da Península Ibérica, bem como a utilização do espaço resultante (após retirada dos resíduos e o saneamento dos respectivos

solos), para ocupação por uma nova célula de aterro, são intervenções que terão de ser assumidas.

Para a concretização desta dissertação, os trabalhos realizados ocorreram em várias fases. Assim foram desenvolvidos em primeiro lugar trabalhos de escavação na massa de resíduos da antiga lixeira da Moita, com o apoio da AMARSUL procurando-se desta forma promover a caracterização dos materiais retirados tendo em vista a sua utilização como CDR, bem como avaliar as terras daí provenientes. Em segundo lugar, com o apoio dos equipamentos das empresas SGR e TRANSUCATAS, efectuou-se a separação por crivagem dos resíduos retirados pela escavação da lixeira, efectuada com recurso a equipamento móvel adequado. Por último as análises sobre as terras e amostras recolhidas (que após a separação e crivagem foram preparadas para serem analisadas em termos do potencial CDR) foram realizadas nos laboratórios da SECIL, tendo participado e acompanhada a sua realização dentro do espírito de colaboração manifestado por aquela empresa cimenteira.

Em seguida são descritos os objectivos, os diferentes planeamentos experimentais, as metodologias, procedimentos adoptados e tratamento de resultados, correspondentes a cada uma das fases dos trabalhos práticos efectuados.

5.2. PLANEAMENTO EXPERIMENTAL

5.2.1. Metodologia e procedimento da recolha de amostras

Para avaliar o potencial de utilização de resíduos da lixeira como potencial material a utilizar como CDR torna-se necessário conhecer as suas características. Para tal é fundamental um desenvolver um plano de amostragem de forma a obter-se um número de amostras de resíduos que permitam ser preparados e transformados num material que incorpore características de potencial CDR em conformidade com a definição e condições anteriormente descritas.

Tendo em conta as dificuldades que as empresas que apoiaram este trabalho têm neste momento que o país atravessa (independentemente da sua boa vontade em colaborar com a universidade) e tendo presente os trabalhos de caracterização dos resíduos já realizados anteriormente à lixeira da Moita por uma equipa da FCT, decidiu-se que para a recolha de amostras realizava-se a campanha de terraplenagens, com recurso a escavações, apenas na zona mais antiga da lixeira, considerando-se que a evolução da lixeira se fez no sentido de Noroeste-Sudeste, de acordo com as setas assinaladas na figura 5.1.



Figura 5.1: Sentido da evolução da lixeira e localização do ponto da recolha de amostras de resíduos (adaptado do Google Maps, 2013).

Os trabalhos foram executados com o apoio da AMARSUL, TRANSUCATAS e SGR em termos de logística, disponibilidade de máquinas e financiamentos para a sua execução.

Após uma reunião geral, no dia 14 de Maio de 2012, com a SECIL, foi dado o sinal positivo para os trabalhos serem iniciados, procedendo-se da seguinte forma para a recolha das amostras:

- Entre os dias 21 a 25 de Maio foram realizados ensaios na SGR – Sociedade de Gestão de Resíduos, na qual foram crivadas 36 toneladas (utilizando-se dois camiões de 20 e 16 toneladas) de resíduos provenientes da lixeira da Moita.
- Os resíduos foram separados por um *trommel*, crivo de tambor rotativo (malhas de 120mm e 90 mm) nas seguintes componentes, madeira, plásticos, mistura de resíduos e refugo. Antes de passar pelo *trommel*, os resíduos passaram por um separador magnético, onde são separados os materiais ferrosos.

Os trabalhos elaborados nas instalações da SGR foram de carácter educacional, uma vez que não tinha qualquer experiência técnica sobre uma linha de processo de CDR.

No conjunto de imagens representadas na figura 5.2 é possível observar-se os vários passos da linha adoptada, em funcionamento.





Figura 5.2: Conjunto de imagens retiradas na SGR no dia 22 de Maio de 2012

- No dia 28 de Maio, foram realizados trabalhos de campo na lixeira da Moita, no CIVTRS de Palmela. No mapa, da figura 5.3, está assinalado a vermelho o local da recolha de amostras para CDR e finos.



Figura 5.3: Local da escavação, na Lixeira da Moita, assinalado a vermelho (adaptado Google Maps, 2013).

- As amostras foram recolhidas com o apoio de uma máquina giratória, onde foram retirados duas pás que equivale a 1,2 m³ aproximadamente de resíduos, cada. A extracção das amostras foi realizada entre 4 a 5 metros de profundidade.
- Depois de recolhidas, as amostras foram colocadas numa peneira móvel, concedida pela TRANSUCATAS, o *Powerscreen Chieftain*, utilizada na indústria da reciclagem, agregados, areia e cascalho, e mineração.
- As máquinas *Powerscreen* têm a característica de serem móveis, e o modelo *Chieftain*, utilizado neste trabalho destina-se essencialmente ao processamento de agregados e areias (Powerscreen, 2013).

Após os agregados passarem pela peneira obtiveram-se finos e os restantes resíduos. De seguida fez-se uma triagem manual dos resíduos pelos seguintes grupos:

- Metais ferrosos e não ferrosos;
- Vidro;
- Têxteis;
- Plásticos rígidos e filmes;
- Madeiras;
- Inertes.

Nas figuras seguintes (figura 5.4) estão algumas imagens do dia da recolha das amostras na lixeira da Moita.



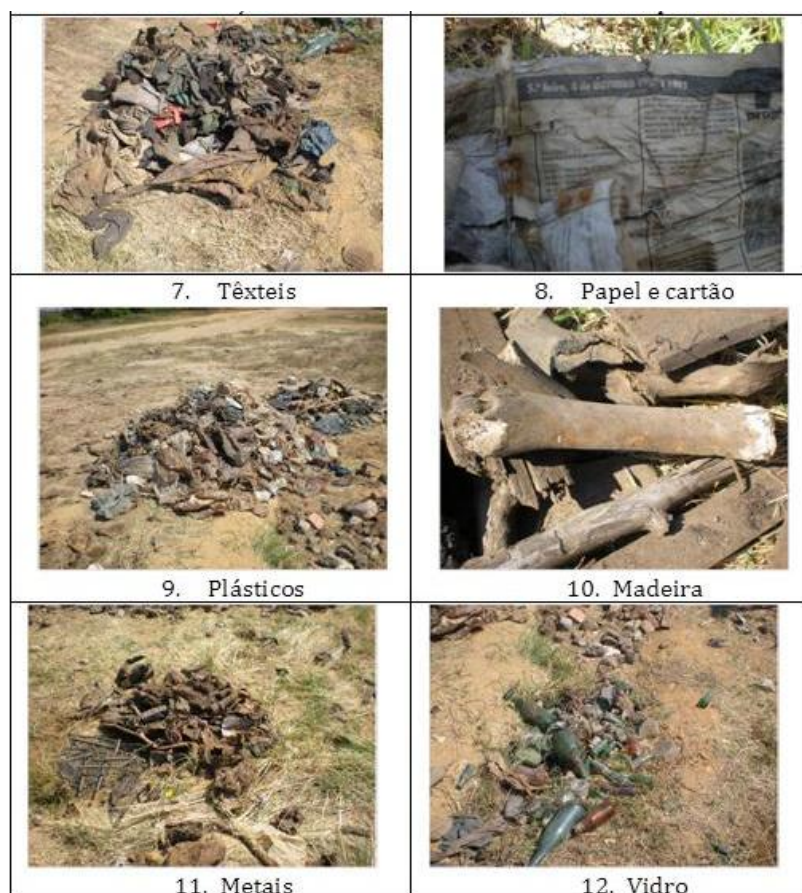


Figura 5.4: Recolha das amostras na lixeira da Moita, dia 28 de Maio de 2012.

5.2.2. Metodologia e procedimentos de amostragens

A preparação das amostras para análise foi executada nos terrenos da lixeira da Moita e posteriormente transportada para os laboratórios da SGR, com base nas normas CEN/TS 15442 (métodos de amostragem) e CEN/TS 15443 e 15413 (métodos de preparação das amostras).

Após a triagem no local, foram recolhidas aleatoriamente, no dia 28 de Maio, os resíduos provenientes da mineração da lixeira. Os resíduos foram colocados em 6 sacos de plástico preto resistente, com capacidade de 120 litros, nas seguintes categorias: 1 saco de plásticos rígidos, 3 sacos de filme e 1 saco de têxteis. Cada saco foi devidamente etiquetado e referenciado. Na tabela 5.1 temos representado os valores mássicos de cada saco, respectivamente.

Tabela 5.1: Amostras recolhidas na lixeira da Moita no dia 28 de Maio de 2012 e respectivos valores mássicos.

Nº da Amostra	Tipo da amostra	Valores mássicos (kg)
1	Filme	1,526
2	Filme	1,799
3	Filme	0,890
4	Plásticos Rígidos	2,833
5	Têxteis	2,513

Depois de ensacados os resíduos foram transportados para os laboratórios da SGR, onde se procedeu à preparação das amostras para análise. Nos laboratórios da SGR, com o apoio do Eng.º Rui Barros, foram trituradas percentagens iguais de cada um dos tipos de material. Depois das amostras trituradas e homogeneizadas foram colocadas em 3 sacos de amostragem, cada um com cerca de 0,400 kg aproximadamente (figura 5.5).



Figura 5.5: Saco de amostra de CDR preparado nos laboratórios da SGR.

Após a preparação das amostras de CDR, estas foram enviadas para a SECIL juntamente com amostras de finos recolhidos na lixeira da Moita, no dia 28 de Maio, onde se procederam as análises.

5.2.3. Metodologia e procedimentos de análises às amostras

As metodologias implementadas pela SECIL nos ensaios das amostras de CDR e finos regem-se pelas normas internacionais em vigor ou instruções técnicas baseadas em normas. Nos Relatórios de Ensaio aplicaram-se os seguintes métodos apresentados na tabela 5.2.

Tabela 5.2: Metodologias implementadas para as análises dos parâmetros.

Parâmetro	Metodologia
Humidade	Secagem em estufa ventilada
Cinzas e voláteis	Analizador termogravimétrico
CHN	Analizador CHN
CO₂/SO₃	Analizador C/S
S	Analizador S
Poder calorífico	Bomba calorimétrica isopenbólica
Análise química	Espectrometria de fluorescência de raio-x

5.2.4. Comparação do CDR de lixeira com a NP 4486 de 2008

A classificação do CDR é demonstrada por comparação dos valores medidos para cada parâmetro (PCI; Cl; Hg) e os valores limites para as classes, definido no sistema de classificação, apresentado no capítulo 2.1, tabela 2.1. Os parâmetros utilizados permitem uma descrição rápida, mas simplificadas, do tipo de CDR. Quanto mais baixas forem as classes melhor é a classificação, ou seja, PCI mais elevado e baixos teores de Cl e Hg. De salientar que a classificação não é suficiente para um utilizador que necessita de uma descrição mais detalhada do combustível (NP 4486, 2008).

5.2.5. Comparação dos boletins de análise dos ensaios realizados na AMARSUL em 2010 com as de CDR de lixeira em 2012

A partir da comparação dos valores de CDR da AMARSUL obtidos em 2010 com os valores de CDR de lixeira obtidos em 2012, é possível analisar quimicamente o tipo de resíduo depositado, ao longo de 16 anos, na lixeira da Moita comparativamente aos RSU de hoje em dia.

5.2.6. Comparação dos valores de PCI dos resíduos de lixeira com os PCI de combustíveis fósseis

O objectivo da comparação dos valores de PCI dos resíduos provenientes da lixeira da Moita com os PCI de combustíveis fósseis é permitir a avaliação da possibilidade da substituição dos combustíveis fósseis por CDR.

Com base nos resultados obtidos nos Relatórios de Ensaio da SECIL relativos à amostra de CDR, comparando com os valores de PCI dos combustíveis fósseis mais utilizados, em conformidade com o Decreto-Lei nº 199/2007 de 18 de Maio.

Os valores de PCI dos combustíveis fósseis são:

- Carvão – PCI = 6250 kcal/kg;
- Fuelóleo – PCI = 9 600 kcal/kg;
- Gasóleo – PCI = 10 200 kcal/kg.

5.2.7. Cenário – Valorização dos materiais resultantes do *Landfill Mining*

O objectivo principal deste cenário é:

1. a obtenção maximizada de finos para serem utilizados como terras de cobertura para as células do aterro sanitário da Moita,
2. a utilização dos materiais resultantes do processamento mecânico para preparação e valorização de resíduos, como combustíveis alternativos, bem como,
3. a valorização do vidro pela SPV, e a valorização dos materiais ferrosos retirados.

Deste modo encaminha-se apenas para o AS (aterro sanitário) a fração resto/refugo na menor percentagem possível.

Uma vez que as unidades de TM e CDR (figura 5.6) se encontram a operar RU, optou-se por se propor um cenário para o processamento em simultâneo de resíduos provenientes da lixeira da Moita com os RU. Esta mistura, além de aumentar o valor de PCI e diminuir o teor de Cl, produzindo um CDR com potencial de substituição do combustível fóssil carvão, permitirá que a linha de CDR não opere exclusivamente com os resíduos da lixeira, não prejudicando o seu funcionamento e evita o reencaminhamento dos RU para outros destinos, como o AS da AMARSUL.



Figura 5.6: Unidade de CDR do CIVTRS de Palmela (EGF, 2013).

Neste cenário é considerado que o material à entrada é constituído por 50% de RU e 50% de resíduos provenientes da lixeira, permitindo que se encontre um cenário de “meio-termo”, onde se processam as duas tipologias de resíduos em quantitativos semelhantes. Este cenário é

uma das propostas constantes no *Estudo do potencial de mineração da lixeira da Moita: Análise técnica e económica*, com a alteração do processo ser realizado na unidade de CDR do próprio CIVTRS de Palmela, em vez de serem encaminhados os resíduos da escavação da lixeira para a TMB de Setúbal.

Na figura 5.7 encontra-se representado o processo utilizado na produção de CDR e respectivas operações unitárias.

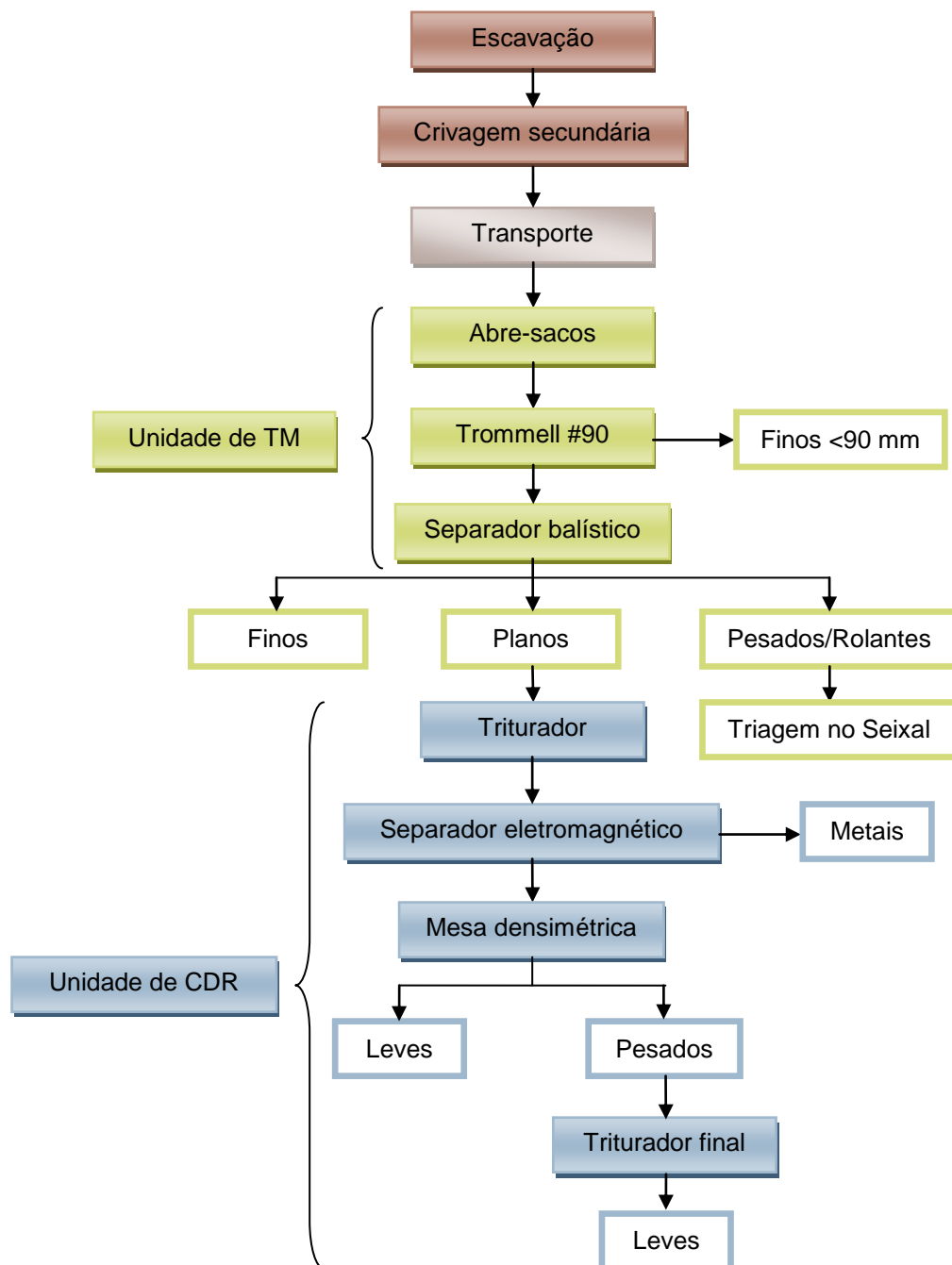


Figura 5.7: Diagrama do processo de produção de CDR e respectivas operações unitárias.

Sublinha-se que os pressupostos técnicos, de operação e económicos, que foram utilizados e que se apresentam nos pontos seguintes têm em consideração os pressupostos do *Estudo do potencial de mineração da lixeira da Moita: Análise técnica e económica*, de Martinho *et al*, 2008, procurando deste modo encontrar a linha comum que permita comparações e uma lógica de continuidade dos trabalhos no mesmo local.

- **Pressupostos técnicos**

A nível técnico são considerados os tipos de equipamentos existentes na linha de TM e de CDR e os equipamentos que serão necessários na mineração da lixeira. Na tabela 5.3 estão representados os equipamentos existentes em cada unidade de tratamento do CIVTRS de Palmela.

Tabela 5.3: Pressupostos técnicos (Martinho *et al*, 2008)

	Equipamentos
Escavação da lixeira	Crivo móvel
Unidade de TM	Abre sacos
	Tela transportadora
	Trommell # 90 mm
	Tela transportadora (rejeitados do trommell)
	Tela transportadora (Trommell para separador balístico)
	Separador balístico
	Tela transportadora (dos finos)
	Tela transportadora dos pesados/rolantes
	Tela transportadora (dos planos para a unidade de CDR)
Unidade de CDR	Pré-Triturador
	Tela transportadora (do triturador para o SE)
	Separador eletromagnético
	Mesa densimétrica
	Tela transportadora
	Tela transportadora (rejeitados do SE)
	Destroçador final

No caso deste novo cenário, o facto de um dos pressupostos ser a mistura à entrada nas unidades de TM e CDR, de 50% de RU e 50% de resíduo da lixeira, foi necessário proceder à obtenção da composição física dos RU da área de actuação da AMARSUL, estando na tabela 5.4, os componentes e respectivas percentagens (Profico, 2005).

Tabela 5.4: Composição física dos RU da AMARSUL (Profico, 2005)

Componentes	Percentagem em peso
Resíduo orgânico	34,9
Papel	21,7
Plástico	13,7
Finos	12,9
Resíduo inorgânico	8,7
Vidro	5,4
Metais ferrosos	1,6
Metais não ferrosos	1,1

- **Pressupostos de operação**

Por forma a serem estimados os custos do processamento dos resíduos da lixeira foram considerados pressupostos de operação, descritos na tabela 5.5.

Tabela 5.5: Pressupostos de operação (Martinho *et al*, 2008).

	Valores unitários
Transporte	
Capacidade de camião (m ³)	25
Capacidade da giratória (m ³)	1,2
Tempo de operação	
Horas por dia	8
Dias por semana	6

Está previsto, neste cenário, o transporte de resíduos da lixeira até à unidade de CDR, considerando a distância de aproximadamente 1,5 km entre os dois locais. O número de operários necessários foram assumidos tendo em conta as diferentes funções no cenário, como é possível verificar na tabela 5.6.

Tabela 5.6: Número de operários (Martinho *et al*, 2008)

Número de operários	Funções
1	Operador de giratória
2	Responsável pelo controlo dos equipamentos de separação finos e resíduos na lixeira
1	Responsável pelo transporte de resíduos da lixeira para a unidade de CDR
2	Responsáveis pela unidade de TM
2	Responsável pela unidade de CDR

A aplicação da técnica de *landfill mining* tem uma maior eficiência, para posterior produção de CDR, se conjugada com uma operação unitária de separação dos diversos componentes dos resíduos da lixeira. Aumentando a quantidade de materiais valorizáveis, tais como o vidro, metais e fracção combustível, e minimizando a deposição dos resíduos removidos da lixeira nas células do AS.

No *Estudo do potencial de mineração da lixeira da Moita: Análise técnica e económica*, o modelo utilizado para calcular a quantidade de resíduos que cada tipo de equipamento unitário consegue separar teve por base a *Recovery Factor Transfer Function* (Rhyner et al, 1995). Este modelo consiste na elaboração de um balanço de massas para cada operação unitária, podendo ser apresentada numa matriz diagonal, cujos elementos especificam a fracção de cada um dos componentes, tais como metais ferrosos, metais não ferrosos, vidro, papel, plásticos, resíduos orgânicos e resíduos inorgânicos, que ficam retidos nas operações unitárias utilizadas, em termos de percentagem, estando esses valores apresentados na tabela 5.7 (Martinho *et al*, 2008).

Tabela 5.7: Factores de recuperação, em %, para cada equipamento unitário (Martinho, 2008).

	Tambor rotativo	Separador electromagnético
Metais ferrosos	0,8	0,2
Metais não ferrosos	0,8	1
Vidro	0,2	1
Papel	0,85	0,98
Plástico	0,9	0,98
Resíduo orgânico	0,25	1
Resíduo inorgânico	0,25	0,95
Finos	0,25	0,95

- **Pressupostos económicos**

Os pressupostos económicos foram determinados considerando os custos de operação, transporte, mineração e pessoal. A nível de equipamentos utilizados não foram contabilizados os custos associados à amortização dos mesmos, uma vez que a unidade de CDR já se encontra em utilização, não sendo um custo adicional a utilização do resíduo da escavação da lixeira. Na tabela 5.8 estão representados os valores de cada custo de operação.

Tabela 5.8: Custos e consumos de operação.

	Valores unitários	Fonte
Custos de operação		
Electricidade (€/kWh)	0,139	EDP, 2013
Custos de transporte		
Preço do combustível (€/litro)	1,364	DGEG, 2013
Consumo do camião (litro/100km)	45	AMARSUL b), 2013
Custos de escavação		
Consumo da giratória (litro/hora)	15,5	AMARSUL b), 2013
Custo de pessoal		
Remuneração anual por funcionário (€/ano)	20 344	AMARSUL b), 2013

Na tabela 5.9 estão presentes as fórmulas utilizadas para caracterizar o cenário do ponto de vista económico.

Tabela 5.9: Fórmulas utilizadas para o cálculo dos custos totais da operação (Martinho, 2008).

Parâmetros	Fórmula	Fonte
Eficiência (%)	$E_{(x,y)} = \left(\frac{x_1}{x_0} - \frac{y_1}{y_0} \right) \times 100\%$	<p>X_0 – Quantidade que entra na componente que se quer separar (kg)</p> <p>X_1 – Quantidade que sai da componente que se quer separar (kg)</p> <p>Y_0 – Quantidade de contaminantes que sai (kg)</p> <p>Tchobanoglous <i>et al.</i>, 1993</p>
Custos de transporte (€)	$C_{tr} = D \times C \times C_c \times \frac{V}{C_{tc}}$	<p>D – Distância percorrida (km)</p> <p>C – Consumo do camião (l/km)</p> <p>C_c – Custo do combustível (€/l)</p> <p>V – volume da lixeira (m^3)</p> <p>C_{tc} – Capacidade de transporte do camião (m^3).</p> <p>Adaptado de Caputo e Pelagagge, 2002</p>
Custos de escavação (€)	$C_e = G \times C_g \times D_e \times \frac{Q_r}{Q_b}$	<p>G – Preço do gásóleo (€/l)</p> <p>C_g – Consumo do gásóleo/hora (l/h)</p> <p>D_e – Duração média da escavação (hora)</p> <p>Q_r – Quantidade de resíduos na lixeira (t)</p> <p>Q_b – Quantidade de resíduos no balde (t)</p> <p>Adaptado de Caputo e Pelagagge, 2002</p>
Custos de pessoal (€/ano)	$C_p = P_o \times O$	<p>P_o – Preço paga a um operador (€/ano)</p> <p>O – número de operadores (unidade)</p> <p>Adaptado de Caputo e Pelagagge, 2002</p>
Custos de produção (€)	$C_{pr} = P \times P_e \times E_f \times t$	<p>P_o – Potência instalada (€/ano)</p> <p>P_e – Preço da electricidade (€/kWh)</p> <p>E_f – Eficiência do equipamento (kg/kg)</p> <p>t – Tempo de funcionamento (hora)</p> <p>Adaptado de Caputo e Pelagagge, 2002</p>

Tempo de operação	$T = \frac{Qr}{\frac{Cpe}{h} \cdot d}$	Cpe – Capacidade de processamento por equipamento (anos) Qr – Quantidade de resíduos da lixeira (t) h – Número de horas por dia (hora) d – Número de dias por ano (dia)	Adaptado de Caputo e Pelagagge, 2002
Volume disponível para AS (%)	$Vd = \frac{(V_T - V_A) \times 100}{V_T}$	V _T – Volume total da lixeira V _A – Volume de resíduos que volta a AS	Adaptado de Caputo e Pelagagge, 2002
Custo total (€)	$CT = Ctr + Ce + (Cp \times T) + Cpr$	(constantes descritas anteriormente)	Adaptado de Caputo e Pelagagge, 2002
Custo anual (€)	$Cta = \frac{CT}{T}$	(constantes descritas anteriormente)	Adaptado de Caputo e Pelagagge, 2002

Na tabela 5.10 encontram-se os valores da construção de um novo aterro sanitário.

Tabela 5.10: Custos de um novo aterro sanitário

Novo A.S. sobre Lixeira			
Barreira activa	Geocompósito bentónico	5,5	€/m ²
	Geomembrana de HDPE	4,5	€/m ²
	Geotêxtil não tecido	1,5	€/m ²
	Camada drenante	7,5	€/m ²
Sistema de drenagem de águas lixiviantes e biogás		2	€/m ²
Total dos custos de um novo aterro sobre a lixeira da Moita		21	€/m²

Os custos referentes à aquisição de terras de cobertura virgens são cerca de 1,8 €/t, os custos referentes à aquisição de um novo terreno na zona de Palmela são cerca de 9 €/m², e os custos fixados pelo Despacho nº 10287/2009, de 20 de Abril de 2009, do MAOTDR e do MEI, para o vidro são de 48€/tonelada, para uma capitação de 32 kg/hab/ano.

6. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

A presente tese tem como principal objectivo avaliar o potencial de utilização dos resíduos provenientes da lixeira da Moita como CDR para cimenteiras. Para tal, foi realizada uma pesquisa sobre o processo *landfill mining* (ou mineração de lixeiras), os processos unitários numa unidade de CDR e sua classificação, as problemáticas inerentes à lixeira da Moita, a caracterização dos resíduos depositados na lixeira da Moita em termos de quantidades e tipos de resíduos e os processos utilizados numa cimenteira, neste caso de estudo, a SECIL.

Para além do objectivo principal existem objectivos subjacentes, tais como, a obtenção de uma nova célula para expandir a capacidade de deposição de RU, com a consequente impermeabilização do solo e drenagem de lixiviados para a ETAL (estação de tratamento de afluentes lixiviados). A recuperação do passivo ambiental, sendo a lixeira da Moita a causa principal da contaminação de um dos maiores e mais produtivos aquíferos da Península Ibérica, e a fonte de abastecimento de água potável da população dos concelhos de margem sul do Tejo, como tal, é fundamental a recuperação e remediação do aquífero. A diminuição dos custos inerentes ao controlo e monitorização da lixeira. A valorização dos resíduos depositados na lixeira da Moita, sendo o vidro entregue à Sociedade Ponto Verde (SPV), a fracção combustível (papel, cartão, ECAL, embalagens de plástico rígida, filme plástico, outros plásticos e têxteis), que representam 22% do total dos materiais depositados, como CDR para a SECIL, e os restantes materiais depositados em aterro.

Após a pesquisa foram planeados e elaborados trabalhos de campo, com o apoio logístico da AMARSUL, SGR, TRANSUCATAS e SECIL. As quatro entidades estiveram envolvidas nos trabalhos de campo e laboratoriais.

6.1. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DOS ENSAIOS ÀS AMOSTRAS DE CDR E FINOS

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos das análises efectuadas às amostras de CDR e finos.

Na tabela 6.1, está apresentado os resultados dos ensaios obtidos às amostras de CDR, solicitadas ao Laboratório de Qualidade do Outão, na tabela 6.2, estão os resultados das amostras de finos, solicitados ao mesmo laboratório. No anexo II, estão apresentados ambos os Relatórios de Ensaio.

Tabela 6.1: Relatório de Ensaio respectivo à amostra de CDR provenientes da lixeira da Moita.

Parâmetro	Resultado	Unidades	
Humidade total	7,1	%	< 20%
Matéria volátil	53,1	%	
Teor em cinza	45,4	%	
C	46,8	%	
H	7,51	%	
N	< 1,21 (LQ)		
S	0,12	%	< 0,5%
Poder calorífico superior	13810	J/g	
Poder calorífico inferior	12260	J/g	Min: 14000 J/g
Análise por fluorescência de raio-x			Máximo admissível
Cl	0,95	%	0,9
Si	2,11	%	
Al	2,40	%	
Fe	1,11	%	
Ca	1,20	%	
Mg	0,07	%	
Na	0,06	%	
K	0,18	%	
P	0,12	%	
Ti	0,64	%	
Mn	ND	%	
S	0,13	%	
Sc	2,3	ppm	
V	4,3	ppm	100
Cr	314,0	ppm	500
Co	7,2	ppm	20
Ni	121,3	ppm	500
Cu	107,1	ppm	500
Zn	305,2	ppm	1500
As	ND	ppm	50
Se	1,4	ppm	60
Br	4,8	ppm	
Rb	13,1	ppm	
Sr	23,2	ppm	
Mo	18,6	ppm	
Cd	4,7	ppm	20
Sn	132,7	ppm	
Sb	3,2	ppm	200
Te	ND	ppm	50
Cs	ND	ppm	
Ba	74,9	ppm	
Ce	3,0	ppm	
Hg	ND	ppm	500
Tl	ND	ppm	30
Pb	227,0	ppm	600

Legenda: ND – Não detectado; LQ – Limite de quantificação

Tabela 6.2: Relatório de Ensaio respectivo à amostra de finos provenientes da lixeira da Moita.

Parâmetro	Resultado	Unidades
Humidade total	11,4	%
Matéria volátil	4,8	%
Teor em cinza	95,2	%
CO ₂	6,38	
SO ₃	0,77	
Análise por fluorescência de raio-x		
SiO ₂ *	71,25	%
Al ₂ O ₃	7,67	%
Fe ₂ O ₃	1,78	%
CaO	4,14	%
MgO	0,37	%
K ₂ O	1,07	%
Na ₂ O	0,28	%
P ₂ O ₅	0,43	%
Cl	0,05	%
TiO ₂	0,44	%
MnO	ND	%
Sc	1,7	ppm
V	14,3	ppm
Cr	124,3	ppm
Co	2,4	ppm
Ni	11,5	ppm
Cu	41,7	ppm
Zn	152,9	ppm
As	4,8	ppm
Se	0,8	ppm
Br	2,5	ppm
Rb	33,2	ppm
Sr	29,1	ppm
Mo	3,8	ppm
Cd	6,1	ppm
Sn	15,7	ppm
Sb	ND	ppm
Te	ND	ppm
Cs	ND	ppm
Ba	156,9	ppm
Ce	15,4	ppm
Hg	ND	ppm
Tl	0,2	ppm
Pb	124,2	ppm

Legenda: ND – Não detectado.

Pela análise dos resultados dos ensaios à amostra de CDR podemos classificar o tipo de CDR proveniente da lixeira da Moita da seguinte forma, PCI 4; Cl 3; Hg 1. É possível observar que o único valor acima do máximo admissível pelo Decreto-Lei nº 178/2006, de 5 de Setembro, é o do cloro.

Uma solução viável para a utilização do resíduo proveniente de lixeira como CDR para a SECIL, é a mistura de 50% de RU com 50% de resíduos da lixeira. O que faria com que os

valores de PCI aumentassem e os valores de CI diminuíssem, o Hg é o único elemento químico que não foi detectado, sendo uma vantagem em termos de emissões de Hg quando o CDR está em combustão.

Em relação à análise obtida dos finos, provenientes da lixeira da Moita, pode-se concluir, através dos valores obtidos, que estes podem ser utilizados como terras de cobertura de aterros sanitários. Uma mais-valia para a AMARSUL, uma vez que este é um investimento inerente à exploração de um aterro sanitário, poupando assim, na aquisição no exterior de terras de cobertura.

6.2. COMPARAÇÃO DOS BOLETINS DE ANÁLISE DOS ENSAIOS REALIZADOS NA AMARSUL EM 2010 COM AS DE CDR DE LIXEIRA EM 2012

Na tabela 6.3 estão representados os valores dos boletins de ensaio da AMARSUL, em 2010, e os valores obtidos às análises de CDR proveniente de resíduos da lixeira da Moita em 2012.

Tabela 6.3: Comparação dos resultados às análises de CDR de RU em 2010 com os de 2012 provenientes de resíduos da lixeira da Moita

Designação	Amostra nº 1	Amostra nº 2	Amostra nº3 de resíduo da lixeira da Moita
Parâmetros (Resultados base seca, excepto*)	23/03/2010	23/03/2010	08/08/2012
H2O* (%)	32,1	33,6	7,1
Cinzas (%)	23,4	14,2	45,4
Voláteis (%)	60,7	50,8	53,1
PCS (J/g)	16 601,3	23 505,7	13 810
PCI (J/g)	15 985,4	22 002,8	12 260
Carbono (%)	41,9	51,8	46,8
Hidrogénio (%)	4,69	7,30	7,51
Azoto (%)	1,32	1,0	< 1,21
Enxofre (%)	0,22	0,33	0,12
Sódio (%)	0,50	0,42	0,06
Potássio (%)	0,41	0,30	0,18
Alumínio (%)	0,61	0,44	2,40
Fósforo (%)	0,23	0,16	0,12
Cloro* (%)	0,54	0,47	0,95
Vanádio (ppm)	7,9	3,1	4,3
Crómio (ppm)	187,2	103,6	314
Cobalto (ppm)	5,2	5,7	7,2
Níquel (ppm)	53,2	37,7	121,3
Cobre (%)	0,1	165,1	107,1
Zinco (ppm)	ND	255,6	305,2
Arsénio (ppm)	1,3	5,4	ND
Selénio (ppm)	2,1	0,7	1,4
Prata (ppm)	2,8	1,8	-
Cádmio (ppm)	2,1	1,9	4,7
Estanho (ppm)	11,9	7,6	132,7
Antimónio (ppm)	2,3	4,1	3,2
Telúrio (ppm)	ND	ND	ND

Bário (ppm)	254,1	143,0	74,9
Mercúrio (ppm)	ND	ND	ND
Tálio (ppm)	ND	ND	ND
Chumbo (ppm)	347,9	103,8	277
Bromo (ppm)	21,0	20,8	4,8

Legenda: (-) parâmetros não analisados; ND – valores não detectados.

Existe uma discrepância nos valores apresentados, entre os parâmetros químicos, das amostras nº 1 e nº 2, em comparação com a amostra nº3, em alguns metais pesados, tais como o Estanho, Zinco, Níquel, Crómio, entre outros, sendo estes valores superiores na amostra de resíduo da lixeira da Moita em relação ao RU da área de Palmela, tal poderá dever-se ao facto de que na amostra nº 3, sendo relativa a resíduos com cerca de 30 anos, era na época utilizados materiais compostos por metais pesados, sendo hoje em dia proibido e mais rigorosa a sua utilização, havendo uma preocupação ambiental no ciclo de vida do produto.

6.3. COMPARAÇÃO DOS VALORES DE PCI DOS RESÍDUOS DE LIXEIRA COM OS PCI DE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS

No gráfico, representado na figura 6.1, estão apresentados os valores de PCI dos combustíveis fósseis mais utilizados (gasóleo, fuelóleo e carvão) e dos combustíveis derivados de resíduos, sendo as duas primeiras amostras referentes ao CDR de RU da AMARSUL, e a amostra nº3 referente ao CDR derivado dos resíduos da lixeira da Moita.

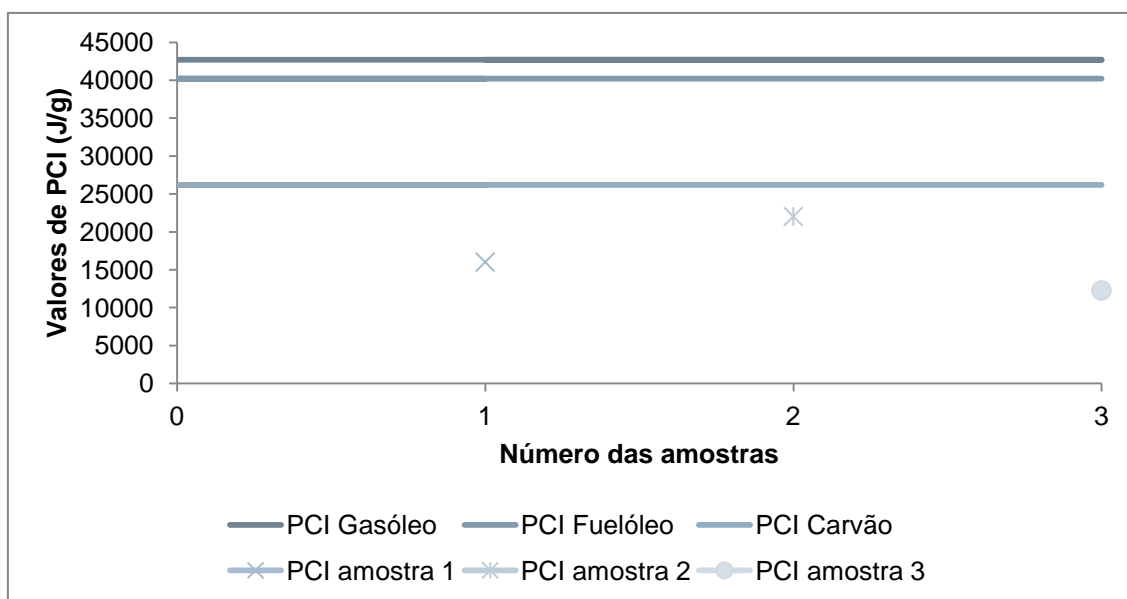


Figura 6.1: Representação gráfica dos PCI de combustíveis fósseis e das amostras da AMARSUL.

Através da análise do gráfico é possível verificar que o CDR da amostra 3 tem potencial para substituir o carvão, apresentando um PCI de 12 260 J/g. O ideal seria o CDR da lixeira da Moita apresentar um PCI superior ao obtido, o que poderá ser possível através da mistura deste tipo de resíduo com o RU que chega à AMARSUL.

Tendo em consideração que a mistura de 50% de RU de Palmela com 50% de resíduos provenientes da lixeira poderá permitir uma maior qualidade do material resultante a ser encaminhado para a instalação de processamento de CDR (correspondente à fracção de planos/leves que se obtêm da mistura efectuada para processamento na TM é que é encaminhada para a instalação de CDR), adopta-se este cenário como aquele que se considera potencialmente mais adequado aos objetivos de valorização pretendidos. Saliente-se que a unidade de TM e a instalação de processamento de CDR estão ambas em linha e localizadas no CIVTRS de Palmela.

Nesta conformidade e de modo a ser obtido os quantitativos dos resíduos à entrada e saída de cada instalação/processo, considerou-se a caracterização dos resíduos provenientes da lixeira e do fluxo de Palmela, conforme representado nas tabelas 6.4 e 6.5.

Tabela 6.4: Caracterização do fluxo proveniente da Lixeira

Componentes	Percentagem em peso
Resíduo orgânico	3
Papel	4
Plástico	25
Finos	30
Resíduo inorgânico	30
Vidro	5
Metais ferrosos	2
Metais não ferrosos	1
Total	100

Tabela 6.5: Caracterização do fluxo de Palmela

Componentes	Percentagem em peso
Resíduo orgânico	34,9
Papel	21,7
Plástico	13,7
Finos	12,9
Resíduo inorgânico	8,7
Vidro	5,4
Metais ferrosos	1,6
Metais não ferrosos	1,1
Total	100

Tendo agora em consideração que a lixeira tem depositada uma massa de 673 233 toneladas de resíduos e terras (Martinho *et al*, 2008), importa avaliar qual o montante de material passível

de se promover na mistura que se pretende à entrada da linha de processo. Como os resíduos escavados na lixeira passam em primeiro lugar por um crivo móvel, onde podem desde logo ser retirados aproximadamente 70% da fracção finos (terras, resíduos orgânico degradados e inorgânicos) resultante da degradação dos resíduos biodegradáveis, a quantidade de material dos resíduos da lixeira que é retido será de 296 566 toneladas. Assim, após aquela crivagem o valor a encaminhar para a mistura que dará entrada na unidade de TM será de 376 667 toneladas.

Considerando agora igual quantidade de RU de Palmela e ponderando ambas as quantidades com as componentes percentuais resultantes da respetiva caracterização apresentada anteriormente, os quantitativos por componente são os que se apresentam nas tabelas 6.6 e 6.7.

Tabela 6.6: Composição (em toneladas) face à caracterização percentual dos resíduos da lixeira da Moita.

Componentes	Composição (toneladas)	Composição (%)
Resíduo orgânico	13050	3
Papel	13342	4
Plástico	93416	25
Finos	114049,8	30
Resíduo inorgânico	112566	30
Vidro	18146	5
Metais ferrosos	9410	2
Metais não ferrosos	2687	1
Total	376667	100

Tabela 6.7: Composição (em toneladas) face à caracterização percentual dos RU de Palmela.

Componentes	Composição (toneladas)	Composição (%)
Resíduo orgânico	131457	34,9
Papel	81737	21,7
Plástico	51603	13,7
Finos	48590	12,9
Resíduo inorgânico	32770	8,7
Vidro	20340	5,4
Metais ferrosos	6027	1,6
Metais não ferrosos	4143	1,1
Total	376667	100

Perante os valores obtidos ponderaram-se agora os valores expectáveis de CDR (apenas nas componentes papel e plástico) bem como as outras componentes, como é possível observar-se nas tabelas 6.8 e 6.9.

Tabela 6.8: Ponderação de valores expectáveis de resíduos provenientes da Lixeira da Moita.

Componentes	%	Toneladas
Finos	34	127100
Metais (ferrosos e não ferrosos)	3	12097
Vidro	5	18146
CDR	28	106758
A.S. - refugo	30	112566
Total	100	376667

Tabela 6.9: Ponderação de valores expectáveis dos RU de Palmela

Componentes	%	Toneladas
Finos	12,9	180047
Metais	2,7	10170
Vidro	5,4	20340
CDR	70,3	133340
A.S. - refugo	8,7	32770
Total	100	376667

Na figura 6.2 apresenta-se a quantidade total de material processado, por componente, à entrada da unidade TM, isto é já a mistura do RU de Palmela acrescido de igual quantidade de resíduos da lixeira depois de crivado.

A mistura é realizada à entrada da unidade de TM e não na instalação de CDR, pelo facto de ainda existir uma quantidade significativa de resíduos da lixeira que ainda se observam ensacados, necessitando assim de passar pelo abre-sacos, localizado à entrada da unidade de TM.

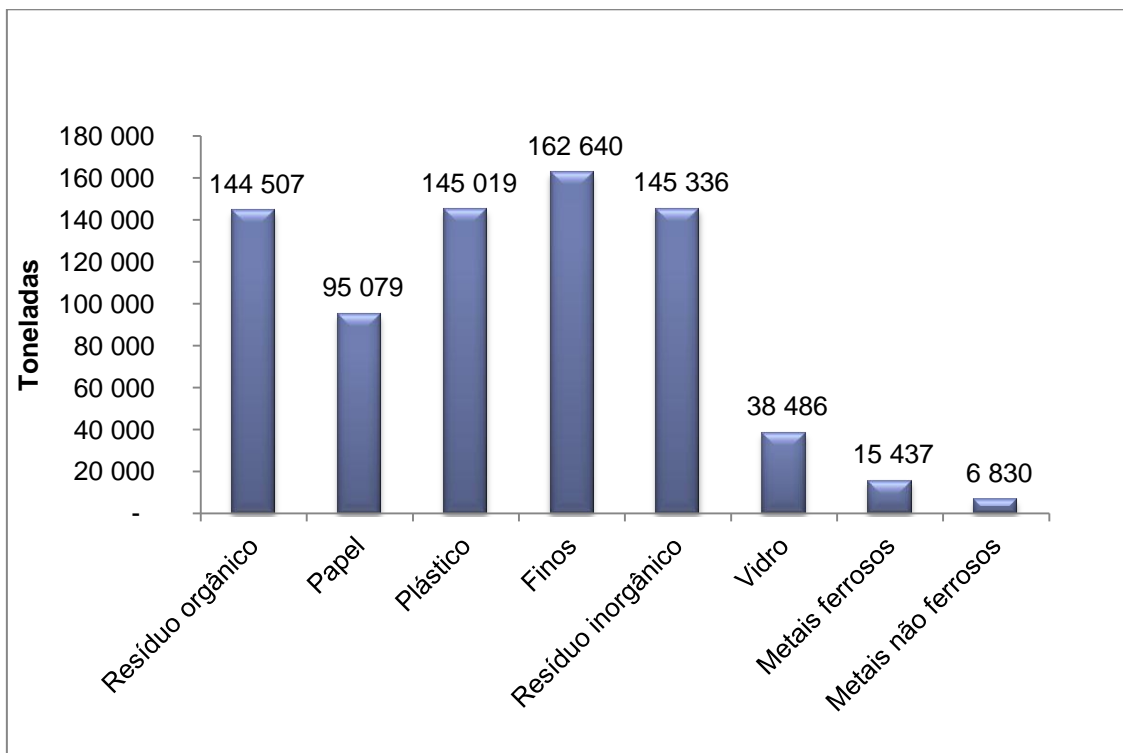


Figura 6.2: Quantidade total de resíduos à entrada da unidade de TM, do CIVTRS de Palmela.

Neste contexto, e seguindo a linha de processo descrita na figura 5.7, procedeu-se à obtenção (estimativa) dos valores de entrada e saída em cada processo unitário, quer na unidade de TM quer na instalação de processamento de CDR, conforme representadas no anexo III, na tabela III.1. Nas figuras 6.3 e 6.4 estão representadas graficamente as quantidades de cada componente à saída de cada processo unitário.

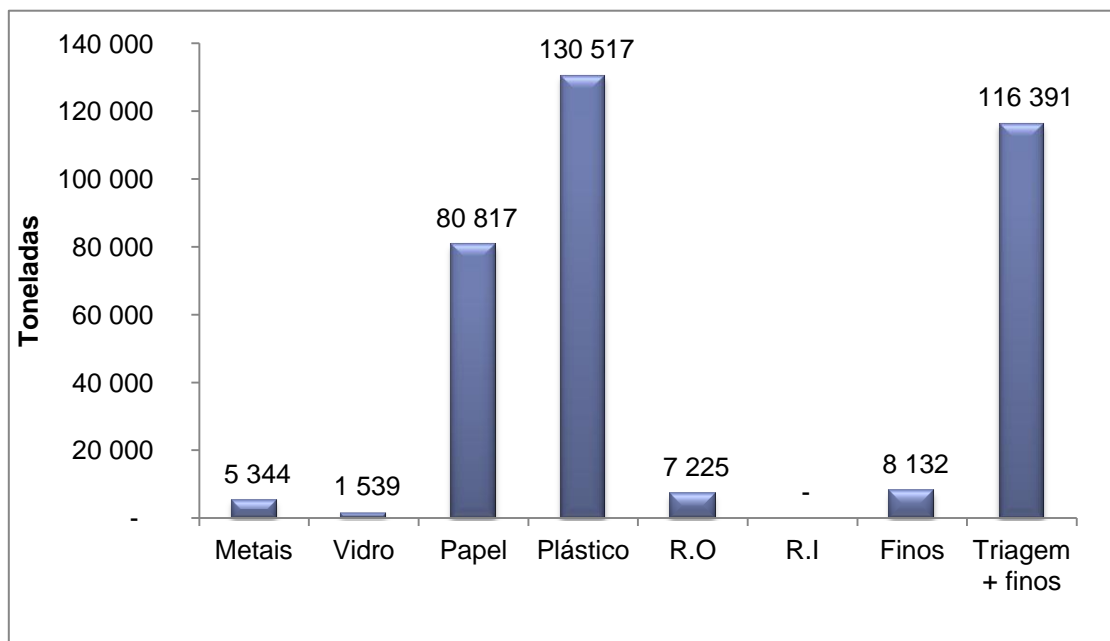


Figura 6.3: Saída dos materiais relativo ao processo de TM

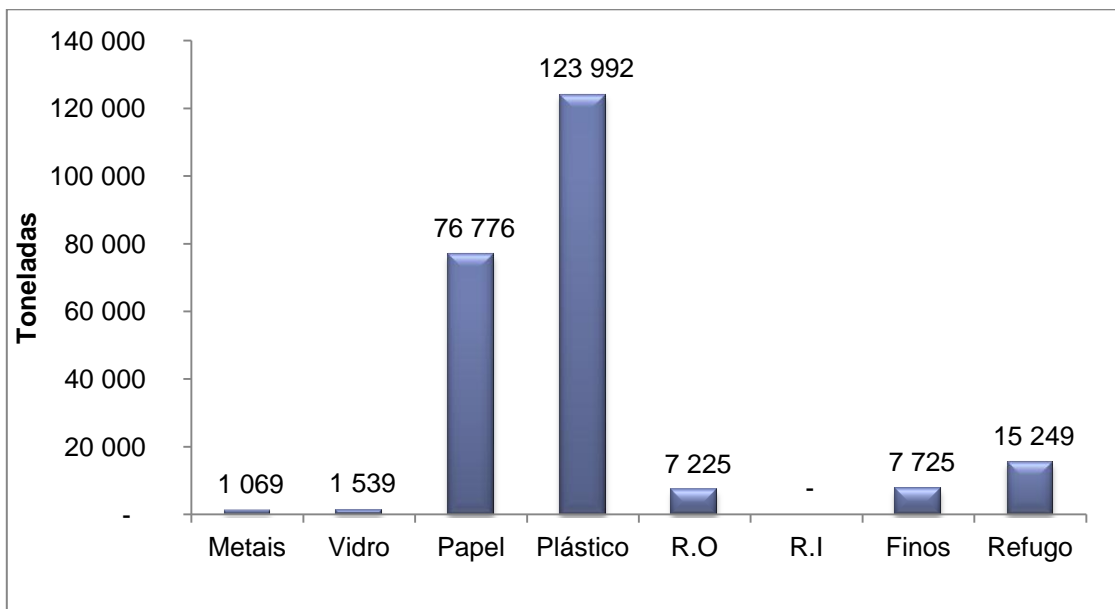


Figura 6.4: Saída dos materiais relativo ao processo de CDR

- **Análise operacional** – síntese do processamento expectável para o cenário considerado

- Na unidade de tratamento mecânico dá-se a entrada da mistura dos materiais provenientes da lixeira da Moita com os RU da área de Palmela, passando esta mistura inicialmente pelo abre-sacos.
- De seguida, os resíduos (753 334 toneladas) dão entrada num crivo (*Trommel*), com malha de 90 mm, onde é realizada uma separação da componente finos e resíduos orgânicos (53% a 54% ou seja, cerca de 403 368 toneladas) e da fracção com dimensões superiores a 90 mm, que constitui cerca de 349 966 toneladas.
- A fracção com dimensões superiores a 90 mm é encaminhada, por um tapete transportadora, até ao separador balístico.
- No separador balístico as componentes são separadas até três fracções (planos/leves, finos e rolantes/pesados). Aqui são recuperados; 61 429 toneladas de finos, 54 961 toneladas de rolantes/pesados (esta, fracção é encaminhada para o centro de triagem do Seixal), e 233 567 toneladas de planos/leves, que são na sua maioria constituídos por plásticos e papel, sendo estes encaminhados para a instalação de CDR

Na instalação de CDR processa-se então;

- Após passagem por um pré-triturador, com uma malha de 200 a 300 mm, à entrada, os materiais triturados seguem por tapete transportador passando por um separador electromagnético onde se retiram cerca de 15 249 toneladas de metais e, outros contaminantes;
- A restante fracção de 218 327 toneladas prossegue para uma mesa densimétrica;
- Na mesa densimétrica, efetua-se nova separação em duas fracções, uma de leves e outra de pesados.

- A fracção de pesados é encaminhada para o triturador final, sendo assim obtido o CDR.

Saliente-se que da experiência de operação acompanhada na AMARSUL na mesa densimétrica, cerca de 80% correspondem à fracção de finos, obtendo-se assim 215 718 toneladas, e cerca de 20% correspondem à fracção pesados, obtendo-se 2 608 toneladas

Exposta a avaliação que resultaria da operação na linha de processo em conformidade com o cenário considerado, apresenta-se em seguida uma análise económica, abordando os gastos comparativos deste cenário em confronto com os investimentos necessários para construção de nova célula para deposição de resíduos, conforme cenário equacionado pela AMARSUL.

- **Análise económica - gastos comparativos**

Para à análise económica comparativa foram consideradas duas fases de trabalho distintas;

1. A primeira onde se contabilizam os gastos da mineração por Landfill mining, nomeadamente gastos de escavação, de pessoal e de transporte e,
2. A segunda onde são contabilizados os gastos de operação na linha de processo, ou sejam os gastos de produção/exploração e de pessoal associado a este método de intervenção.

Para a primeira foi estimado um período total de escavação e retirada de resíduos da lixeira de 24 meses, com uma capacidade de escavação média de 1300 toneladas/dia. Assim para a retirada dos materiais confinados na lixeira e para o respectivo transporte dos resíduos para a unidade de TM, a estimativa do total dos gastos para esta mineração consta na síntese que se apresenta na tabela 6.10.

Tabela 6.10: Gastos estimados para a mineração da lixeira (a preços constantes).

Estimativa dos Gastos da mineração da Lixeira (*)	
Custo de transporte (€)	33 062,84 €
Custo de escavação (€)	1 779 186,51 €
Custo de pessoal (€)	113 926,40 €
Mineração por <i>Landfill mining</i> da lixeira (em 24 meses)	1 926 175,75 €

(*) Os pressupostos de cálculo estão em anexo

Na segunda e tendo em consideração que a linha de processamento da TM da AMARSUL é de 100.000 toneladas/ano e de 60.000 toneladas/ano para a instalação de processamento de CDR, o período necessário para processar todos os materiais provenientes da lixeira da Moita na instalação de CDR (atendendo ao valor anteriormente determinado para o CDR expectável) seria de 6 anos, com uma eficiência de processo da ordem de 85% a 90%. Assim apresentam-se na tabela 6.11 os valores (a preços constantes) obtidos para esta operação.

Tabela 6.11: Gastos associados à operação (a preços constantes)

Estimativa de gastos com a produção/operação (*)	
Gastos com a produção/operação	1 701 391,00 €
Gastos com pessoal	687 697,00 €
Total de gastos com a produção/operação (em 6 anos)	2 389 088,00€

(*) Os pressupostos de cálculo estão em anexo

Na estimativa efectuada a preços constantes, os gastos globais associados à mineração e operação viria assim num valor estimado de cerca de $[1\ 926\ 175,75\ € + 2\ 389\ 088,00\ €] = \underline{4\ 315\ 263,75€}$.

Tendo presente este valor pode ponderar-se agora os benefícios obtidos com esta intervenção em confronto com o investimento que seria necessário realizar, nomeadamente, na aquisição de terreno para novo aterro sanitário, na execução da nova célula e na aquisição de terras de cobertura. Os proveitos provenientes da valorização de materiais retirados da lixeira junto da SPV serão um benefício/proveito a crescer.

Considerando que a área de terreno a adquirir para o novo aterro é idêntico à área da lixeira (13 ha), o investimento necessário seria de 1.170.000€ considerando o preço de mercado na zona da AMARSUL de 9,0 €/m².

A este investimento acresce agora o montante associado à construção do novo aterro sanitário em outro local onde se têm de considerar todas as infraestruturas de apoio e a ETAL. Com base em valores de investimento em aterros do grupo Empresa Geral do Fomento que nos foram fornecidos e para uma dimensão semelhante com uma área de 13 ha e volume de enchimento de 1,0 milhão de m³ (caso do aterro sanitário de Bigorne) o investimento global situar-se-á em cerca de 6.500.000,00€ considerando o preço médio de 50 €/m² (instalações de apoio, sistemas de proteção ambiental, escavação média de 3,0 m, taludes cénicos de 3,0 m, infraestruturas e redes técnicas e ETAL).

Na tabela 6.12 apresenta-se o resultado obtido para o cenário [de aquisição de novo terreno e construção de novo aterro sanitário], e para a [construção de novo aterro sanitário no terreno libertado pela mineração, “Landfill mining”, da lixeira] sem aquisição de terreno mas incluindo o saneamento de 0,50 m de solo de fundação, reposição solo novo compactado em toda a área libertada, sistemas de proteção ambiental e sistemas de drenagem complementares.

Tabela 6.12: Cenário Comparativo - valores obtidos

Aquisição de terreno + Novo aterro sanitário	6 670 000,00 €
Novo aterro sanitário nos terrenos libertados pela mineração " Landfill mining" da lixeira	2 709 000,00 €

Por outro lado, a aquisição de terras de cobertura para utilizar na cobertura dos resíduos a depositar no novo aterro sanitário implicará um gasto a considerar, pois não existe mancha de empréstimo na envolvente da AMARSUL.

Como a quantidade de terras a dispor (a reservar) corresponde a 10% do volume total de aterro e, que o volume do novo aterro sanitário tem a mesma capacidade da lixeira da Moita, seriam necessárias, considerando que o peso específico dos resíduos na lixeira já dispõem de um valor de cerca de 1,0 t/m³, cerca de 70.000 toneladas de terras de cobertura.

Assim seria este o valor a adquirir para a gestão do aterro. Sabendo que o preço unitário por m³ das terras de cobertura nesta região se situa em 1,8€/m³, deixariam de ser gastos 126.000€ para aquisição das terras de cobertura.

Uma vez que da crivagem inicial dos resíduos da lixeira da Moita se podem obter 296 566 toneladas de finos, aquela necessidade seria absorvida a custo marginal.

Se ainda se considerar que da caracterização e do processamento da mistura se podem obter ainda mais finos com potencial de utilização como terras de cobertura, da ordem das 450.000 toneladas ter-se-ia ainda mais terras de cobertura que poderiam ser alocadas a outras actividades que necessitassem.

No que se refere à valorização de materiais na SPV e apenas contabilizando o vidro, os proveitos diretos no âmbito desta mineração traduziria para a AMARSUL um montante de 295.572€ a preços atuais do valor de contrapartida.

No que se refere á valorização energética do CDR junto da SECIL, considerou-se por segurança um proveito conservador de 1,0 € /t e um rendimento de 75% a 80% após processamento do montante apresentado na tabela 6.8, ou seja cerca de 86 000 t.

Na tabela 6.13 e 6.14 apresentam-se os resultados da função económica para os cenários possíveis de intervenção, com e sem a mineração da lixeira da Moita.

Tabela 6.13: Landfill mining – resultados económicos

Cenário - Lanfill mining – Função económica (€)	
Gastos globais com o Landfill mining da lixeira	(+) 4 315 263,75
Construção da célula de A.S sobre terreno libertado pela mineração-” Landfill mining” da lixeira	(+) 2 709 000,00
Terras de cobertura (€)	(-) 126 000,00
Valorização por VC do vidro pela SPV	(-) 295 572,00
Valorização energética do CDR proveniente da lixeira	(-) 86 000,00
Resultado	6 516 691,75

Tabela 6.14: Novo aterro – resultados económicos

Cenário – novo aterro – Função económica (€)	
Aquisição de terreno + Novo aterro sanitário	(+) 6 670 000,00
Terras de cobertura	(+) 126 000,00
Resultado	6 796 000,00

Neste contexto a solução do Landfill mining torna-se economicamente mais favorável relativamente à implementação de novo aterro sanitário. Saliente-se não se entrou em linha de conta nesta análise o impacto social e outros fatores ambientais positivos que esta solução permite traduzir com a libertação de espaço e saneamento ambiental do solo de fundação.

7. CONCLUSÕES

O estudo do potencial de utilização de resíduos depositados em antigas lixeiras como combustível derivado de resíduos (CDR) permitiu concluir que o CDR, proveniente da Lixeira da Moita, tem potencial para substituir o combustível fóssil carvão, nas cimenteiras. Assim como, os finos retirados da Lixeira da Moita, poderão ser utilizados como terras de cobertura nas células do aterro sanitário (AS).

O trabalho em campo foi realizado apenas na zona mais antiga da lixeira, uma vez que não houve disponibilidade financeira para se efectuarem mais recolhas de amostras. Após a escavação e remoção dos resíduos procedeu-se à separação dos finos dos restantes materiais, recorrendo a uma peneira móvel, instalada junto à escavação, disponibilizada pela TRANSUCATAS. De seguida, fez-se uma separação manual dos materiais nas seguintes categorias, vidro, metais ferrosos e não ferrosos, têxteis, plástico filme, todos os outros tipos de plásticos, madeira e inertes.

Os materiais recolhidos foram encaminhados para os laboratórios da Sociedade Gestora de Resíduos (SGR), onde procedeu-se à preparação das amostras para depois serem reencaminhadas para análise nos laboratórios da SECIL.

A partir dos resultados obtidos às análises de CDR e terras, removidas da Lixeira da Moita, foi possível retirarem-se as conclusões acerca da potencialidade destes, assim como, elaborar um cenário do ponto de vista técnico, de operação e económico para a futura aplicabilidade deste trabalho teórico.

Durante o processo de escavação foi possível observar o estado de degradação dos resíduos, concluindo-se que o seu estado de degradação não é tão rápido como seria de se esperar. O papel, como um bom indicador de biodegradabilidade, ainda é reconhecido nas amostras retiradas da lixeira, sendo mesmo possível encontrar jornais legíveis, datados de 1981 (figura 7.1).



Figura 7.1: Imagem retirada a um jornal, removido da Lixeira da Moita, datado de 1981.

Assim como seria expectável que não existisse papel na zona mais antiga da lixeira, também era de se esperar que o vidro existente, apesar de não se degradar nesta escala temporal, encontrasse-se partido, devido às pressões exercidas pelos resíduos depositados. No entanto, foram retiradas muitas garrafas intactas, demonstrando a resistência destas embalagens (figura 7.2).



Figura 7.2: Imagem retirada às embalagens de vidro, ainda intactas, na Lixeira da Moita.

Após a obtenção dos resultados das amostras de CDR, escavado na Lixeira da Moita, estes foram comparados com as análises ao CDR dos resíduos urbanos (RU) da área de Palmela, com o objectivo de verificar-se a disparidade entre estes dois tipos de resíduos, verificando-se que há pouca divergência entre ambos.

O valor do Poder Calorífico Inferior (PCI) das amostras de CDR da lixeira da Moita foi comparado com os valores dos PCI dos combustíveis fósseis mais utilizados (carvão, fuelóleo e gásóleo), legislados pelo Decreto-Lei nº 199/2007 de 18 de Maio. Conclui-se que o CDR tem PCI suficiente para ser substituto do carvão, nos fornos das cimenteiras.

No entanto, para potenciar e aumentar o valor de PCI do CDR a obter-se na instalação de CDR que se encontra após a unidade de TM, propôs-se um cenário de mistura [de 50% de CDR proveniente dos resíduos retirados da lixeira] com [50% de RU da área de Palmela]. Para se evitarem complicações nas operações unitárias da linha de processo da TM e posteriormente na do CDR, a mistura a realizar será descarregada na entrada da unidade de tratamento mecânico (TM) do CIVTRS de Palmela.

Conclui-se também que da remoção dos resíduos da lixeira da Moita torna-se possível a valorização do vidro (junto da Sociedade Ponto Verde ou no mercado aberto) bem como de metais e ferrosos e, com base numa mistura de resíduos (com o papel e embalagens retiradas da lixeira) potenciar o CDR na respectiva linha de processamento da AMARSUL.

No total são retiradas 6 156 toneladas de vidro para valorização, e 218 327 toneladas de papel e embalagens a serem encaminhados para processamento na instalação de CDR e posterior valorização energética na unidade da SECIL.

Outro material que se traduz com valor como recurso a utilizar são os finos removidos dos resíduos da lixeira, permitindo a sua utilização como terras de cobertura no aterro sanitário. Deste modo evita-se que a AMARSUL tenha de despende avultada quantia para aquisição de terras que se tornam fundamentais na cobertura das camadas de resíduos depositados nas células do aterro sanitário.

Na tabela 7.1 apresenta-se uma síntese económica com a realização do cenário *Landfill mining* e processamento dos resíduos através da solução e cenário considerado e a construção de novo aterro sanitário.

Tabela 7.1: Síntese dos gastos totais dos cenários equacionados

Cenários (€) – gastos associados	
Cenário - <i>Landfill mining</i> + processamento do CDR	6 516 691,75
Cenário – Construção de novo aterro sanitário	6 796 000,00

No que se refere às vantagens da remoção total dos resíduos da lixeira- *landfill mining*- estas traduzem-se a nível social e ambiental acrescido de benefícios económicos resultantes da valorização das frações do vidro e metais bem como da valorização energética do CDR.

A nível social evita-se a síndrome NIMBY "*not in my back yard*" que sempre se manifesta com a construção de um novo aterro sanitário, sendo difícil a sua implementação pois nunca é vista de uma forma positiva e aceitável. Com efeito a remoção dos resíduos da lixeira para a criação de novas células de aterro evitará aquele impacto negativo junto da população e evita a pesquisa e expropriação/compra de novos terrenos para a construção do aterro sanitário. Seria o caso da AMARSUL, que teria de recorrer à expropriação de terrenos de pessoas que habitam na vizinhança desta lixeira, caso se decida pela construção de novas células e desista de recorrer ao *landfill mining* da lixeira da Moita. Por fim, a remoção total da lixeira, também traduziria como consequência positiva a eliminação do risco de contaminação das águas subterrâneas e em paralelo, a nível ambiental, a recuperação do passivo ambiental e o saneamento dos solos contaminados de toda a zona de fundação da lixeira da Moita e respectivos terrenos adjacentes.

No que respeita ao nível económico, a valorização energética do CDR traduz-se como um objectivo essencial junto da SECIL como principal receptora do CDR, resultando em proveitos directos para a AMARSUL. Paralelamente e a nível ambiental, a valorização do CDR permite a diminuir a emissão dos gases com efeito de estufa (GEE) e evita-se a utilização de combustível fóssil na unidade cimenteira e deste modo a utilização de um recurso natural esgotável.

Em síntese, a valorização do vidro e dos metais proveniente dos resíduos retirados da lixeira da Moita traduz-se em proveitos para a AMARSUL bem como o papel e embalagens que apresentam características passíveis de serem utilizadas e valorizados como CDR na empresa cimenteira SECIL. Tendo disponível o espaço libertado e saneado ambientalmente, este pode agora servir de fundação a novas células de resíduos após a correta construção no cumprimento de todas as exigências constantes da legislação em vigor, evitando-se assim preocupações, problemas e elevados investimentos à AMARSUL para a construção de um aterro sanitário, bem como custos associados á compra de terras de cobertura para as recobrimento dos resíduos depositados neste novo aterro.

No quadro está representado uma síntese das vantagens e desvantagens na elaboração deste trabalho (tabela 7.2).

Tabela 7.2: Síntese das vantagens e desvantagens desta dissertação.

	Factores	Vantagens	Desvantagens
SUSTENTABILIDADE	Ambientais	Recuperação do passivo ambiental; Saneamento dos solos contaminados; Diminuição dos níveis de contaminação dos lençóis freáticos. Não utiliza novo terreno para A.S.	Eventual libertação de gases e odores. Há que controlar e monitorizar durante a retirada dos resíduos.
	Sociais	Não introduz <i>stress</i> na população; Não há a introdução de novas rotas das viaturas.	Eventual ruído promovido pelo equipamento de escavação
	Económicos	Licenciamentos já obtidos; Aumento da vida útil do A.S.; Valorização dos resíduos; Valorização dos finos; Existência de todas as infraestruturas de um A.S.: - Infraestruturas de apoio; - ETAL; - Sistemas de drenagens. Eliminação dos gastos de monitorização da lixeira.	Gastos associados à movimentação, escavação, transporte e processamento e preparação dos resíduos em CDR de operação e escavação

Em suma, a partir dos resultados dos ensaios obtidos às amostras de CDR solicitados ao Laboratório de Qualidade do Outão (anexo II, figura II.51), foi possível classificar o tipo de CDR proveniente da lixeira da Moita da seguinte forma, PCI 4; CI 3; Hg 1, de acordo com a NP 44806 de 2008. Verificando-se que o resíduo proveniente da lixeira da Moita tem características que vão de encontro a uma solução viável para possível substituição de um combustível fóssil (carvão) por este combustível alternativo, em unidades de cimenteira.

Neste contexto, a partir dos valores do PCI dos combustíveis fósseis mais utilizados (gasóleo, fuelóleo e carvão), que constam no Decreto-Lei nº 199/2007 de 18 de Maio, e dos valores obtidos às análises efectuadas ao CDR de RU da AMARSUL, foi possível proceder-se a uma comparação entre estes valores e o valor de PCI obtido à amostra de CDR, de 2928 kcal/kg (12 260 J/g). Foi possível verificar que o CDR tem potencial para substituir o carvão, pelo facto de este último apresentar um PCI de 6250 kcal/kg, mas o ideal seria o CDR da lixeira da Moita apresentar um PCI superior ao obtido, o que é possível através da mistura deste tipo de resíduo com o RU que chega à AMARSUL.

8. RECOMENDAÇÕES FUTURAS E LIMITAÇÕES

A maior limitação deste trabalho consistiu na impossibilidade de realizar um maior número de recolha de amostras para análise. Devido a esta limitação a zona seleccionada para recolha de amostras foi a que se localiza na parte mais antiga da lixeira da Moita. Porquê? Para permitir verificar se existiria uma grande disparidade de resultados nas características obtidas nas análises efectuadas ao material retirado da lixeira em comparação com o RU provenientes da área de Palmela devido á grande a diferença de idades do resíduo e, a tipologia de resíduos de cada época. Pretendia-se assim estudar e comparar as condições que os resíduos mais antigos provenientes da lixeira possuíam ainda viabilidade de serem processados como CDR, ou seja, à época não existia ECAL (embalagens de cartão para líquidos alimentares) na zona mais antiga da lixeira, pois naquele período ainda não se utilizavam esse tipo de embalagens, e nos RU de hoje em dia é comum a existência de ECAL.

Outra limitação que saliento foram as condições climatéricas durante a realização do trabalho de campo, pois estava dependente das condições meteorológicas, bem como a disponibilidade de máquinas para as manobras de execução das escavações e o período de funcionamento e da unidade de tratamento mecânico e da linha de processo de CDR. Contudo com todas estas limitações considera-se que o trabalho realizado permite abrir novas janelas de oportunidade face aos resultados positivos que se obtiveram. Contudo para outros estudos de continuidade será necessário realizar um maior número de amostras, procurando obter-se uma maior representatividade em termos de quantidade e composição de resíduos depositados em diferentes zonas acompanhadas das respectivas análises químicas.

Assim e para estudos posteriores dentro deste tema associado ao método de *Landfill mining* e valorização de resíduos provenientes de lixeira como CDR, sugerem-se as seguintes premissas:

- Identificar a extensão da possível contaminação subjacente á lixeira através de ensaios geosísmicos e de resistividade eléctrica;
- Recolher e trabalhar um maior número de amostras que sejam representativas de uma maior área de intervenção, permitindo “zonar no tempo” a área da lixeira;
- Recolher amostras em diferentes profundidades para estudar, com maior rigor a viabilidade de processamento destes resíduos em CDR bem como as suas características de biodegradabilidade;
- O estudo das percentagens de mistura de CDR de RU com o CDR proveniente de resíduos depositados na lixeira da Moita, de forma a obter a melhor classificação do CDR, de acordo com a norma NP 4486 de 2008;
- O estudo de outros cenários, onde exista uma maior eficiência e um menor custo de execução;
- Enquadrar legalmente o combustível obtido de materiais provenientes de lixeiras.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AdP, Águas de Portugal. Disponível em www.adp.pt/content/index.php?action=detail&rec=&=3010&t=AMARSUL-produz-combustiveis-derivados-de-residuos-em-Palmela-, acedido em Dezembro de 2012.
- Allgaier, G., Stengman, S. (2003). *Remediation of old landfills*. Proceedings Sardinia 03, Ninth International Landfill Symposium. Cagliari, 314 – 315.
- AMARSUL a), 2012. *Empresa Gestão do Fomento. AMARSUL – Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos, S.A.* Disponível em: <http://www.egf.pt/content/index.php?action=detailfo&rec=1801&t=AMARSUL>, acedido a 15 de Novembro de 2012.
- AMARSUL b), 2013. *Relatório de contas de 2012*. Disponível em <http://www.AMARSUL.pt/public/documents/e53fb1d44af8b60bd5bce13dc7e92f9d.pdf>, acedido a 20 de Março de 2013.
- Anacleto, S. (2008). *Técnicas para recuperação de resíduos depositados em antigas lixeiras. Caso de estudo: Lixeira da Moita*. Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa.
- Bicudo, J. R. (1996). *Tratamento e destino final das águas lixiviantes*. Curso sobre Valorização e Tratamento de Resíduos. Prevenção, Recolha Selectiva, Compostagem e Confinamento em Aterro. LNEC/APESB, Lisboa, 10 – 12 de Dezembro.
- Bilitewski, H., Conrad, H., Grischek, H. (1995). *Transposition and reconstruction of old landfill sites in East Germany*. Proceedings Sardinia '95, 5th International Landfill Symposium. Cagliari, Vol III, 807 – 818.
- Cabeças, A. J. (2000). *Concepção, exploração e gestão de sistemas integrados de tratamento, valorização e destino final de resíduos sólidos urbanos*. IX Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- Cabeças, A. J. (s.a.). *Encerramento e selagem de lixeiras – Aspectos práticos*.
- Carvalho, I., 2011. *CDR, um resíduo ou um produto, e sua viabilidade técnico-económica: análise do caso de estudo*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2011.
- CEN/TS 15359, *Comité Européen de Normalisation, Technical Specification, Solid recovered fuels – Specifications and Classes*. Outubro 2006.

CIGA, 2008. Avaliação das opções de remediação para a antiga lixeira Moita-Barreiro. Centro de Investigação em Geociências Aplicadas. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Março de 2008.

Decreto-Lei nº 152/2002 de 23 de Maio de 2002, Diário da República nº 119, Série I, Parte A, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Lisboa.

Decreto-Lei nº 178/2006 de 5 de Setembro de 2006. Diário da República nº 171, Série I, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto de 1998. Diário da República nº 176. Série I, Parte A, Ministério do Ambiente.

Decreto-Lei nº 310/95 de 20 de Novembro de 1995. Diário da República nº268, Série I, Parte A, Ministério do Ambiente e Recursos Naturais.

Decreto-Lei nº 85/2005 de 28 de Abril de 2005. Diário da República nº 82, Série I, Parte A, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território.

Despacho nº 10287/2009, de 20 de Abril de 2009, Diário da República, 2ª série – N.º 76. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional e da Economia e da Inovação.

Despacho nº 21295/2009, de 26 de Agosto de 2009. Diário da República, 2ª série – N.º 184 – 22 de Setembro de 2009. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional e da Economia e da Inovação.

Dias, S. M., Silva, R. B., Barreiro, F., Costa, M., Julho de 2006. *Avaliação do Potencial de Produção e Utilização de CDR em Portugal Continental*, Instituto Superior Técnico, Centro de Engenharia Biológica e Química.

Direcção Geral da Energia e Geologia (2013). *Preço dos combustíveis online*. Disponível em <http://www.precoscombustiveis.dgeg.pt/>, acedido a 28 de Março de 2013.

Directiva 2008/98/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Novembro de 2008, relativa aos resíduos e que revoga certas directivas.

EDP (2013). *Tarifário da energia eléctrica*. Disponível em <https://energia.edp.pt/negocios/eletricidade/negocios/tarifarios-2013.aspx>, acedido a 5 de Janeiro de 2013.

EGF – Empresa Geral do Fomento. Instalações de CDR. Disponível em: <http://www.egf.pt/content/index.php?action=detailfo&rec=1886&t=Infrastructures>, acedido em Março de 2013.

EGSRA. CDR em pellets. Disponível em: <http://www.egsra.pt/internacional/visita-tecnica-a-tres-unidades-de-producao-de-cdr-na-alemanha/>, acessado em Março de 2013.

Google Maps (2013). Google Maps – Palmela, Quinta do Anjo, Estrada Luís de Camões. Disponível em: <https://maps.google.pt/>, acessado em Maio de 2012.

Heyer, K. (2010). *Toolkit Landfill Technology - Operational Tasks of Aftercare*. Technical Committee on Geotechnics of Landfill Engineering (DGGT); Technical Committee Sanitary Landfills (DWA-VKS in the VKU). *Technical Committee "Landfill Technology"*. Capítulo 6.2. Hamburgo, Alemanha.

Hogland, W. (1996). *Workshop on Landfill Mining*. AFR-report 127. Swedish Waste Research Council, Swedish Environmental Technologies Agency.

Hogland, W., Marques, M., Nimmermark, S. (2003). *Landfill mining and waste characterization: a strategy for remediation of contaminated areas*. *J. Mater Cycles Waste Management* **6**, 119 – 124.

Itrimpianti. CDR em fluff. Disponível em: <http://www.itrimpianti.com/eng/--refuse-derived-fuel-rdf-production-plant-377.asp?idPage=281&id=377>, acessado em Março de 2013.

Krogmann U., Qu M (1997). *Landfill mining in the United States*. Proceedings, Sardinia '97, 6th International Landfill Symposium, Cagliari, vol IV, 543 – 552.

Krook, J.; Svensson, N.; Eklund, M. (2011). *Landfill mining: A critical review of two decades of research*. *Waste Management* **32**, 513 – 520.

Levy, J. Q., Cabeças, A. J., 2006. *Resíduos Sólidos Urbanos, Princípios e Processos*. AEPSA – Associação das Empresas Portuguesas para o Sector Ambiente.

MAOTDR (1996). PERSU. *Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 1996*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

MAOTDR (2007). PERSU II. *Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2007 – 2016*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.

Martinho, G., Pires, A. L., Anacleto, S., Silveira, A. I., 2008. *Estudo do potencial de mineração da lixeira da Moita: Análise técnica e económica*. Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Abril 2008.

NP 4486. *Projecto de Norma Portuguesa para os combustíveis derivados de resíduos*. Enquadramento para a produção, classificação e gestão de qualidade. Outubro de 2008.

OLX. Imagem de Camião. Disponível em: <http://batalha-leiria.olx.pt/camiao-erf-ec-8x4-2-unidades-iid-106270482>, acessado em Abril de 2013.

Paços, A. T. (2006). *Ambiente – Manual técnico do formador*. Núcleo de Formação, Estudos e Consultoria. Departamento de Recursos Didáticos e Departamento de Formação. 1ª Edição, pp. 111 – 174.

Portaria nº 209/2004 de 3 de Março de 2004. Diário da República nº 53, Série I, Parte B, Ministério da Economia, da Agricultura, Desenvolvimento Rural e Pescas, da Saúde e das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente.

Powerscreen (2013). *Máquinas de peneiramento*. Disponível em: <http://www.powerscreen.com/pt/produtos/2/peneiramento/>, acessado a 15 de Janeiro de 2013.

Profico (2005). *Monitorização da implementação de planos e estratégias – Plano Estratégico de Resíduos Sólidos*. Relatório realizado pelo Profico Ambiente para o Instituto de Resíduos. Maio de 2005.

RICTEC. CDR em briquete. Disponível em: <http://www.rictec.com.sg/briquetting/>, acessado em Março de 2013.

Savage, G.M., Golueke, C.G., von Stein, E.L. (1993). *Landfill mining: past and present*. BioCycle **34**, 58 – 61.

SECIL a) (2013). Disponível em: <http://www.secil.pt/default.asp?pag=outao>, acessado a 17 de Janeiro de 2013

SECIL, 2011. *Declaração Ambiental*. Fábrica Secil – Outão.

Spencer, R. (1991). *Mining landfills for recyclables*. BioCycle, 34 – 36.

Tchobanoglous, G.; Theisen, H.; Vigil, S. A. (1993). *Integrated Solid Waste Management. Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill International Editions.

TWRF (The World Resource Foundation) (1995). *Landfill mining*. Bridge House, Tonbridge, UK.

Valorizar (2006). *Co-incineração com segurança*. Secil – Companhia Geral de Cal e Cimento, SA. Fábrica Secil-Outão, Novembro 2006.

van der Zee, D.J.; Achterkamp, M.C.; de Visser, B.J. (2004). *Assessing the market opportunities of landfill mining*. Waste Management **24**, 795 – 804.

Vistas do Sado, Blogspot. Porto da Secil. Disponível em: <http://vistasdorioso.blogspot.pt/2010/01/outao-6503.html>, acessado em Janeiro de 2013.

ANEXOS

Anexo I – Tabelas do resultado das análises às amostras das águas subterrâneas.

Anexo II – Relatório de Ensaio às amostras de CDR e Terras da Lixeira da Moita – AMARSUL

Anexo III – Tabelas do resultado obtido das entradas e saídas da linha de tratamento – cenário de 50% de RU 50% de resíduos escavados da lixeira

Tabela I.1: Resultados analíticos – Legislação Holandesa

Parâmetros	Unid.	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	Poço01	Poço02	Poço03	Poço04	Duplicado (P16)	Legislação Holandesa		
																							Target value	Intervention value	
pH		6.73	6.89	6.45	5.74	7.52	6.16	7.21	10.8	11.9	7.5	-	7.9	7.3	7.5	7.5	7.6	-	-	-	8.3	7.1	7.6	-	-
Condutividade elétrica	mS/m	98.3	52.8	19.0	22.6	849	87.6	96.1	65	240	790	-	750	770	790	590	880	-	-	-	580	39	880	-	-
Alcalinidade total	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	527000	1.9e7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Potencial redox	V	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.9	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dureza	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	501000	475000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arsenio	µg/L	1.5	11	<1	<1	39	1.1	<1	<4	<4	20	-	35	24	37	35	23	-	-	-	5	<4	28	10	60
Bário	µg/L	50	110	30	40	500	40	60	55	84	150	-	230	520	240	830	240	-	-	-	190	100	240	50	625
Crômio	µg/L	<1	5	<1	<1	20	<1	1.1	5	3	8	-	25	5	12	3	9	-	-	-	4	<2	9	1	30
Cobalto	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	<1	<1	41	-	54	40	8	6	13	-	-	-	3	5	12	20	100
Cobre	µg/L	<2	5	<2	<2	<2	<2	5	5	17	6	-	7	4	<3	<3	5	-	-	9	<3	4	4	15	75
Mercurio	µg/L	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.04	<0.04	<0.04	-	<0.04	<0.04	0.09	<0.04	<0.04	-	-	0.04	<0.04	0.04	0.05	0.3	
Chumbo	µg/L	3	20	6	5	4	5	7	5	<3	<3	-	3	3	<3	<3	<3	-	-	<3	<3	<3	15	75	
Molibdênio	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	3	91	4	-	7	3	<2	3	5	-	-	<2	<2	4	4	5	300
Níquel	µg/L	<5	<5	<5	<5	14	<5	<5	7	<2	27	-	46	39	26	13	30	-	-	9	<2	<2	29	15	75
Selênio	µg/L	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<5	<5	23	-	23	23	<5	<5	18	-	-	<5	<5	7	7	160	
Estanho	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	<5	<5	9	-	15	12	<5	<5	8	-	-	<5	<5	<5	<5	50	
Vanádio	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	7	8	3	-	5	2	5	<2	2	-	-	<2	<2	3	3	70	
Zinco	µg/L	<20	120	<20	<20	<20	40	<20	29	<5	13	-	32	9	20	10	18	-	-	9	39	21	65	800	
Azoto amoniacal	mg/L	0.1	<0.05	<0.05	<0.05	660	0.66	0.26	31	0.27	422	0.7	404	310	337	208	298	0.31	3.6	44	0.09	274	-	-	
Azoto Kjeldahl	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	26	0.8	364	-	325	308	-	165	336	-	-	53	0.4	370	-	-	
Nitritos	mg/L	3.9	45	18	18	2.3	12	5	-	14	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Nitritos	mg/L	0.029	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.26	0.2	-	0.57	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Carência bioquímica oxigênio (CBO)	mg/L	<2	<2	<2	<2	25	<2	3	<2	<2	<2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Carência química oxigênio (CQO)	mg/L	31	36	14	<5	545	26	33	35	23	353	32	532	447	-	264	431	-	-	235	16	416	-	-	
Cálcio	mg/L	84	53	8.6	6.9	30	29	132	-	201	88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cloretos	mg/L	145	35	19	49	1800	158	84	87	44	1200	27	1000	1400	-	1300	1900	-	155	1400	-	1900	-	-	
Ferro	mg/L	1.2	6.1	0.04	0.03	4.7	0.87	0.76	<0.03	0.12	4.8	0.05	3	1.9	14	7.4	3.9	0.31	0.07	0.15	<0.03	4.1	-	-	
Magnésio	mg/L	34	19	7.1	6.9	36	13.2	22	-	<0.1	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Potássio	mg/L	1.9	7.9	3.4	1.6	463	19	0.023	25	16	240	21	304	249	377	175	338	19	37	244	8.2	338	-	-	
Sódio	mg/L	67	31	17	27	953	132	56	57	31	609	25	607	797	845	688	1000	54	95	734	27	1000	-	-	
Sulfatos	mg/L	95	44	14	8.5	8.9	125	158	-	7.2	116	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Benzeno	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.1	<0.1	0.9	-	0.4	0.6	1.5	0.5	0.7	-	-	<0.1	<0.1	0.6	0.2	30	
Etilbenzeno	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.2	0.3	0.8	-	2.4	1.4	1.4	1.3	1.7	-	-	0.4	0.4	3.2	4	150	
Tolueno	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.4	0.4	0.7	-	0.9	<0.1	0.8	0.8	1.1	-	-	0.5	0.5	1.5	7	1000	
Xilenos	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.2	0.1	1.0	-	8.6	4.6	1.8	0.9	2.8	-	-	0.2	0.2	1.5	0.2	70	
Estireno	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.1	0.2	0.5	-	<0.1	0.5	0.7	0.5	0.4	-	-	0.4	0.6	4.2	6	300	
Trimetilbenzenos	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.2	<0.1	0.2	-	1.5	2.4	0.7	<0.1	0.5	-	-	<0.1	<0.1	0.4	-	-	
n-Propilbenzeno	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.1	<0.1	<0.1	-	0.2	0.1	0.3	<0.1	0.1	-	-	<0.1	<0.1	0.3	-	-	
Isopropilbenzeno	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.1	<0.1	0.1	-	0.2	0.4	0.3	0.1	0.2	-	-	<0.1	<0.1	0.3	-	-	
p-Isopropiltolueno	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.1	<0.1	<0.1	-	0.7	43	<0.1	<0.1	<0.1	-	-	<0.1	<0.1	0.3	-	-	
Fenol	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	1.4	<0.5	<0.5	-	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	-	-	<0.5	<0.5	<0.5	2000	-	
2,4-Dimetilfenol	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.24	<0.02	<0.02	-	<0.02	<0.02	0.2	<0.02	0.26	-	-	<0.02	<0.02	<0.02	-	-	
3,4-Dimetilfenol	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.05	<0.02	<0.02	-	0.94	<0.02	0.42	0.12	0.24	-	-	<0.02	<0.02	<0.02	0.21	-	

Parâmetros	Unid.	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	Poço1	Poço2	Poço3	Poço4	Duplicado (P16)	Legislação Holandesa	
																							Target value	Intervention value
m-Etilfenol	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.10	<0.02	<0.02	-	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	-	-	<0.02	<0.02	<0.02	-	-
2,3,5-Dimetilfenol+4-Etil	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.02	0.02	<0.02	-	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	-	-	<0.02	<0.02	<0.02	-	-
Naftaleno	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.4	<0.4	<0.4	-	0.6	<0.4	<0.4	0.9	0.9	-	-	<0.4	<0.4	<0.4	0.01	70
PAH 10 VROM (soma)	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	-	-	0.9	0.9	-	-	-	-	0.7	-	-
PAH 16 EPA (soma)	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	-	-	0.9	0.9	-	-	-	-	0.7	-	-
Cloroto de vinilo	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.2	<0.2	<0.2	-	<0.2	0.56	0.56	<0.2	<0.2	-	-	<0.2	<0.2	<0.2	0.01	5
cis 1,2-Dicloroetileno	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.05	<0.05	0.66	-	0.79	<0.05	<0.05	0.52	<0.05	-	-	<0.05	<0.05	<0.05	0.01	20
Clorobenzenos	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Monoclorobenzeno	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.05	<0.05	<0.05	-	0.1	<0.05	0.2	0.1	<0.05	-	-	<0.05	<0.05	0.2	7	180
Diclorobenzenos	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.1	<0.1	0.7	-	2.6	<0.1	1.8	1.2	1.7	-	-	<0.1	<0.1	1.1	3	50
Diclorofenóis	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.005	<0.005	0.48	-	0.13	<0.005	0.33	<0.005	0.34	-	-	<0.005	<0.005	0.11	0.2	30
Triclorofenóis	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.01	<0.01	0.03	-	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	-	-	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	10
4-Cloro-3-metilfenol	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.02	<0.02	<0.02	-	1.3	<0.02	0.35	<0.02	0.31	-	-	<0.02	<0.02	0.28	-	-
Isodrin	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.3	<0.1	<0.1	-	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	-	-	<0.1	<0.1	<0.1	-	-
TPH C10-C16	µg/L	-	-	-	-	-	-	<25	<25	<25	100	-	350	300	220	190	380	-	-	<25	<25	270	-	-
TPH C16-C22	µg/L	-	-	-	-	-	-	<25	<25	<25	60	-	140	190	62	67	140	-	-	<25	<25	120	-	-
TPH C22-C30	µg/L	-	-	-	-	-	-	<25	<25	<25	<25	-	60	110	<25	<25	35	-	-	<25	<25	<25	-	-
TPH C30-C40	µg/L	-	-	-	-	-	-	<25	<25	<25	<25	-	<25	180	<25	<25	<25	-	-	<25	<25	<25	-	-
TPH C10-C40	µg/L	-	-	-	-	-	-	<25	<25	<25	180	-	550	780	290	270	530	-	-	<25	<25	410	-	-
TPH SUM	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	340	-	340	-	1100	1560	572	527	1065	-	-	-	-	800	50	600

Tabela I.2: Resultados analíticos – Legislação Portuguesa (Decreto-Lei nº 236/98)

Parâmetros	Unid.	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	Poço1	Poço2	Poço3	Poço4	Duplicado (P16)	Anexo I	
		6.73	6.89	6.45	5.74	7.52	6.16	7.21	10.8	11.9	7.5	7.9	7.3	7.5	7.5	7.5	7.6	7.6	-	-	8.3	7.1	7.6	VMR
pH		6.73	6.89	6.45	5.74	7.52	6.16	7.21	10.8	11.9	7.5	7.9	7.3	7.5	7.5	7.6	7.6	-	-	8.3	7.1	7.6	6.5-8.5	-
Condutividade elétrica	µS/cm	833	528	190	226	8490	876	961	660	2400	7900	7500	7700	7900	5900	8800	8800	-	-	5600	390	8800	1000	-
Alcalinidade total	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	527	1900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Potencial redox	V	-	-	-	-	-	-	-	-	-0.9	0.06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dureza	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	501	475	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arsénio	mg/L	0.0015	0.011	<0.001	<0.001	0.039	0.0011	<0.001	<0.004	<0.004	0.02	0.035	0.024	0.037	0.035	0.023	0.023	-	-	0.005	<0.004	0.028	0.01	0.05
Bário	mg/L	0.05	0.11	0.03	0.04	0.5	0.04	0.06	0.055	0.084	0.15	0.23	0.52	0.24	0.83	0.24	0.24	-	-	0.19	0.10	0.24	-	0.1
Crómio	mg/L	<0.001	0.005	<0.001	<0.001	0.02	<0.001	0.0011	0.005	<0.001	0.041	0.054	0.040	0.008	0.006	0.013	0.009	-	-	0.004	<0.002	0.009	-	0.05
Cobalto	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	<0.001	0.006	0.007	0.004	<0.003	<0.003	0.005	0.005	-	-	0.009	<0.003	0.004	0.02	0.05
Cobre	mg/L	<0.002	0.005	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	<4e-5	<4e-5	<4e-5	<4e-5	0.00009	<4e-5	<4e-5	<4e-5	-	-	0.00004	<4e-5	0.00004	0.00005	0.001
Mercurio	mg/L	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.0002	<0.003	<0.003	0.003	0.003	<0.003	<0.003	<0.003	<0.003	-	-	<0.003	<0.003	<0.003	-	0.05
Chumbo	mg/L	0.003	0.02	0.006	0.005	0.004	0.005	0.007	0.005	<0.003	<0.004	0.007	0.003	<0.002	0.003	0.005	0.005	-	-	<0.002	<0.002	0.004	-	-
Molibdénio	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.003	0.091	0.004	0.046	0.039	0.026	0.013	0.030	0.030	-	-	0.009	<0.002	0.009	-	-
Níquel	mg/L	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.014	<0.005	0.007	<0.005	<0.002	0.027	0.023	0.023	<0.005	<0.005	0.018	0.018	-	-	<0.005	<0.005	0.007	-	0.01
Selenio	mg/L	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.0004	<0.005	<0.005	0.003	0.015	0.012	<0.005	<0.005	0.008	0.008	-	-	<0.005	<0.005	<0.005	-	-
Estanho	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.007	0.008	0.003	0.005	0.002	0.005	<0.002	0.002	0.002	-	-	<0.002	<0.002	0.003	-	-
Zinco	mg/L	<0.02	0.12	<0.02	<0.02	<0.02	0.04	<0.02	0.029	<0.005	0.013	0.032	0.009	0.020	0.010	0.018	0.018	-	-	0.009	0.039	0.021	0.5	3.0
Azoto amoniacal	mg/L	0.1	<0.05	<0.05	<0.05	660	0.66	0.26	31	0.27	422	0.7	404	310	337	208	298	3.6	3.6	44	0.09	274	0.05	-
Azoto Kjeldahl	mg/L	-	-	-	-	-	-	26	0.8	364	325	308	308	308	165	336	336	-	-	53	0.4	370	1	-
Nitritos	mg/L	3.9	45	18	18	2.3	12	5	-	14	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	50
Nitros	mg/L	0.029	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.26	0.2	-	0.57	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carência bioquímica oxigénio (CBO)	mg/L	<2	<2	<2	<2	25	<2	3	<2	<2	<2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-
Carência química oxigénio (CCO)	mg/L	31	36	14	<5	545	26	33	35	23	363	532	447	-	264	431	431	-	-	235	16	416	-	-
Cálcio	mg/L	84	53	8.6	6.9	30	29	132	-	201	88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloretos	mg/L	145	35	19	49	1800	158	84	87	44	1200	1000	1400	-	1300	1900	1900	155	1400	1400	1900	200	-	-
Ferro	mg/L	1.2	6.1	0.04	0.03	4.7	0.87	0.76	<0.03	0.12	4.8	3	1.9	14	7.4	3.9	3.9	0.31	0.07	0.15	<0.03	4.1	0.1	0.3
Magnésio	mg/L	34	19	7.1	6.9	36	13.2	22	-	<0.1	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Potássio	mg/L	1.9	7.9	3.4	1.6	463	19	0.023	25	16	240	304	249	377	175	338	338	19	37	244	8.2	338	-	-
Sódio	mg/L	67	31	17	27	953	132	56	57	31	609	25	607	797	668	1000	1000	54	95	734	27	1000	-	-
Sulfatos	mg/L	95	44	14	8.5	8.9	125	158	-	7.2	116	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	150	250
Benzeno	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.0001	<0.0001	0.0009	0.0004	0.0006	0.0015	0.0005	0.0007	0.0007	-	-	<0.0001	<0.0001	0.0006	-	-
Etilbenzeno	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.0002	0.0003	0.0008	0.0024	0.0014	0.0014	0.0013	0.0017	0.0017	-	-	0.0004	0.0004	0.0032	-	-
Tolueno	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.0004	0.0004	0.0007	0.0009	<0.0001	0.0008	0.0008	0.0011	0.0011	-	-	0.0005	0.0005	0.0015	-	-
Xilenos	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.0002	0.0001	0.0010	0.0086	0.0046	0.0018	0.0009	0.0028	0.0028	-	-	0.0002	0.0002	0.0015	-	-
Estireno	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.0001	0.0002	0.0005	<0.0001	0.0005	0.0007	0.0005	0.0004	0.0004	-	-	0.0004	0.0006	0.0042	-	-
Trimetilbenzenos	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.0002	<0.0001	0.0002	0.0015	0.0024	0.0007	<0.0001	0.0005	0.0005	-	-	<0.0001	<0.0001	0.0004	-	-
n-Propilbenzeno	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0002	0.0001	0.0003	<0.0001	0.0001	0.0001	-	-	<0.0001	<0.0001	0.0003	-	-
Isopropilbenzeno	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.0001	<0.0001	0.0001	0.0002	0.0004	0.0003	0.0001	0.0002	0.0002	-	-	<0.0001	<0.0001	0.0003	-	-
p-Isopropiltolueno	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0007	0.0043	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	-	-	<0.0001	<0.0001	0.0003	-	-
Fenol	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.0014	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	<0.0005	-	-	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.001	-
2,4-Dimetilfenol	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.00024	<2e-5	<2e-5	<2e-5	<2e-5	<2e-5	0.0002	<2e-5	0.00026	-	-	<2e-5	<2e-5	<2e-5	-	-

Parâmetros	Unid.	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	Poço1	Poço2	Poço3	Poço4	Duplicado (P16)	Anexo I	
																							VMR	VMA
3,4-Dimetilfenol	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.00005	<2e ⁻⁵	<2e ⁻⁵	-	0.00094	<2e ⁻⁵	0.00042	0.00012	0.00024	-	-	<2e ⁻⁵	<2e ⁻⁵	0.00021	-	-
m-Etilfenol	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.0001	<2e ⁻⁵	<2e ⁻⁵	-	<2e ⁻⁵	<2e ⁻⁵	<2e ⁻⁵	<2e ⁻⁵	<2e ⁻⁵	-	-	<2e ⁻⁵	<2e ⁻⁵	<2e ⁻⁵	-	-
2,3,5-Dimetilfenol	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	<2e ⁻⁵	0.00002	<2e ⁻⁵	-	<2e ⁻⁵	<2e ⁻⁵	<2e ⁻⁵	<2e ⁻⁵	<2e ⁻⁵	-	-	<2e ⁻⁵	<2e ⁻⁵	<2e ⁻⁵	-	-
Naftaleno	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.0004	<0.0004	<0.0004	-	0.0006	<0.0004	<0.0004	0.0009	0.0009	-	-	<0.0004	<0.0004	0.0007	-	-
PAH 10 (VROM (soma))	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0006	-	-	0.0009	0.0009	-	-	-	-	0.0007	-	-
PAH 16 EPA (soma)	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0006	-	-	0.0009	0.0009	-	-	-	-	0.0007	-	-
Cloreto de vinilo	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.0002	<0.0002	<0.0002	-	<0.0002	<0.0002	0.00056	0.00056	<0.0002	-	-	<0.0002	<0.0002	<2e ⁻⁵	-	-
cis-1,2-Dicloroetileno	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	<5e ⁻⁵	<5e ⁻⁵	0.00066	-	0.00079	<5e ⁻⁵	<5e ⁻⁵	0.00052	<5e ⁻⁵	-	-	<5e ⁻⁵	<5e ⁻⁵	<5e ⁻⁵	-	-
Monoclorobenzeno	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	<5e ⁻⁵	<5e ⁻⁵	<5e ⁻⁵	-	0.0001	<5e ⁻⁵	0.0002	0.0001	<5e ⁻⁵	-	-	<5e ⁻⁵	<5e ⁻⁵	0.0002	-	-
Diclorobenzenos	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	<0.0001	<0.0001	0.0007	-	0.0026	<0.0001	0.0018	0.0012	0.0017	-	-	<0.0001	<0.0001	0.0011	-	-
Diclorofenóis	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	<5e ⁻⁵	<5e ⁻⁵	0.00048	-	0.00013	<5e ⁻⁵	0.00033	<5e ⁻⁵	0.00034	-	-	<5e ⁻⁵	<5e ⁻⁵	<5e ⁻⁵	-	-
Triclorofenóis	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	<1e ⁻⁵	<1e ⁻⁵	0.00003	-	<1e ⁻⁵	<1e ⁻⁵	<1e ⁻⁵	<1e ⁻⁵	<1e ⁻⁵	-	-	<1e ⁻⁵	<1e ⁻⁵	<1e ⁻⁵	-	-
4-Cloro-3metilfenol	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	<2e ⁻⁵	<2e ⁻⁵	<2e ⁻⁵	-	0.0013	<0.00002	0.00035	<2e ⁻⁵	0.00031	-	-	<2e ⁻⁵	<2e ⁻⁵	0.00028	-	-
Isodrin	µg/L	-	-	-	-	-	-	-	0.3	<0.1	<0.1	-	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	-	-	<0.1	<0.1	<0.1	-	1
TPH C10-C16	mg/L	-	-	-	-	-	-	<0.025	<0.025	<0.025	0.1	-	0.35	0.3	0.22	0.19	0.36	-	-	<0.025	<0.025	0.27	-	-
TPH C16-C22	mg/L	-	-	-	-	-	-	<0.025	<0.025	<0.025	0.06	-	0.14	0.19	0.062	0.067	0.14	-	-	<0.025	<0.025	0.12	-	-
TPH C22-C30	mg/L	-	-	-	-	-	-	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	-	0.06	0.11	<0.025	<0.025	0.035	-	-	<0.025	<0.025	<0.025	-	-
TPH C30-C40	mg/L	-	-	-	-	-	-	<0.025	<0.025	<0.025	<0.025	-	<0.025	0.18	<0.025	<0.025	<0.025	-	-	<0.025	<0.025	<0.025	-	-
TPH C10-C40	mg/L	-	-	-	-	-	-	<0.025	<0.025	<0.025	0.18	-	0.55	0.78	0.29	0.27	0.53	-	-	<0.025	<0.025	0.41	-	-
TPH SUM	mg/L	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.34	-	1.1	1.56	0.572	0.527	1.065	-	-	-	-	0.8	-	-

Tabela I.3: Comparação entre os resultados analíticos obtidos em 2003 e 2006/2007 (Legislação Holandesa)

Parâmetros	Unid.	2003						2006/2007						Legislação Holandesa	
		P3	P5	P6	Poço2	Poço3		P3	P5	P6	Poço2	Poço3	Target value	Intervention value	
pH		-	7.5	-	-	7.1	-	6.45	7.52	6.16	-	8.3	-	-	
Condutividade eléctrica	mS/m	-	500	-	-	390	-	19.0	849	87.6	-	560	-	-	
Arsénio	µg/L	-	24	-	-	<4	-	<1	39	1.1	-	5	10	60	
Bário	µg/L	-	310	-	-	260	-	30	500	40	-	190	50	625	
Crómio	µg/L	-	14	-	-	<2	-	<1	20	<1	-	4	1	30	
Cobalto	µg/L	-	6	-	-	<1	-	-	-	-	-	3	20	100	
Cobre	µg/L	-	<3	-	-	8	-	<2	<2	<2	-	9	15	75	
Mercurio	µg/L	-	<0.04	-	-	<0.04	-	<0.2	<0.2	<0.2	-	0.04	0.05	0.3	
Chumbo	µg/L	-	<3	-	-	<3	-	6	4	5	-	<3	15	75	
Níquel	µg/L	-	14	-	-	<2	-	<5	14	<5	-	9	15	75	
Zinco	µg/L	-	10	-	-	9	-	<20	<20	40	-	9	65	800	
Azoto amoniacal	µg/L	<500	330000	540000	680	68000	<50	660000	660	660000	3600	44000	-	-	
Azoto kjeldahl	µg/L	5500	266000	450000	13900	69000	-	-	-	-	-	53000	-	-	
Nitratos	µg/L	26800	300	4500	16200	14500	18000	2300	2300	12000	-	-	-	-	
Nitritos	µg/L	16	16	16	126	1130	<10	<10	<10	260	-	-	-	-	
Carência bioquímica oxigénio (CBO)	µg/L	-	-	-	-	-	<2000	25000	25000	<2000	-	-	-	-	
Carência química oxigénio (CQO)	µg/L	<7500	157000	162000	<7500	25800	14000	545000	26000	26000	-	235000	-	-	
Cálcio	µg/L	4600	17200	7800	93000	69000	8600	30000	29000	29000	-	-	-	-	
Cloretos	µg/L	67000	1120000	125000	95000	80000	19000	1800000	1580000	1580000	1550000	1400000	-	-	
Ferro	µg/L	376	20700	11600	1840	1560	40	4700	870	870	70	150	-	-	
Magnésio	µg/L	14800	48000	28500	11700	56000	7100	36000	13200	13200	-	-	-	-	
Potássio	µg/L	<5000	205000	349000	5800	231000	3400	463000	19000	19000	37000	244000	-	-	
Sódio	µg/L	38000	582000	530000	41000	630000	17000	953000	132000	132000	95000	734000	-	-	
Sulfatos	µg/L	48000	52000	43000	160000	210000	14000	8900	125000	125000	-	-	-	-	
Benzeno	µg/L	-	0.6	-	-	<0.1	-	-	-	-	-	<0.1	0.2	30	
Etilbenzeno	µg/L	-	0.5	-	-	<0.1	-	-	-	-	-	0.4	4	150	
Tolueno	µg/L	-	<0.1	-	-	<0.1	-	-	-	-	-	0.5	7	1000	

Parâmetros	Unid.	2003						2006/2007						Legislação Holandesa	
		P3	P5	P6	Poço2	Poço3	P3	P5	P6	Poço2	Poço3	Target value	Intervention value		
Xilenos	µg/L	-	1.2	-	-	<0.1	-	-	-	-	0.2	0.2	70		
Estireno	µg/L	-	<0.1	-	-	<0.1	-	-	-	0.4	6	6	300		
2,4-Dimetilfenol	µg/L	-	0.37	-	-	<0.02	-	-	-	<0.02	-	-	-		
PAH 10 VROM (soma)	µg/L	-	0.31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Diclorobenzenos	µg/L	-	1.1	-	-	<0.1	-	-	-	<0.1	3	3	50		
Triclorobenzenos	µg/L	-	0.03	-	-	0.02	-	-	-	-	-	-	-		
Diclorofenóis	µg/L	-	0.20	-	-	0.05	-	-	-	<0.005	0.2	0.2	30		
Triclorofenóis	µg/L	-	0.02	-	-	<0.01	-	-	-	<0.01	0.03	0.03	10		

Tabela I.4: Comparação entre os resultados analíticos obtidos em 2003 e 2006/2007 (Decreto-Lei nº 236/98)

Parâmetros	Unid.	2003						2006/2007						Anexo I	
		P3	P5	P6	Poço2	Poço3		P3	P5	P6	Poço2	Poço3	VMR	VMA	
pH		-	7.5	-	-	-	7.1	6.45	7.52	6.16	-	8.3	6.5-8.5	-	
Condutividade eléctrica	µS/cm	-	5000	-	-	3900	190	8490	876	-	5600	1000	-	-	
Arsénio	mg/L	-	0.024	-	-	<0.004	<0.001	0.039	0.0011	-	0.005	0.01	0.05	0.05	
Bário	mg/L	-	0.31	-	-	0.26	0.03	0.5	0.04	-	0.19	-	0.1	0.1	
Crómio	mg/L	-	0.014	-	-	<0.002	<0.001	0.02	<0.001	-	0.004	-	0.05	0.05	
Cobalto	mg/L	-	0.006	-	-	<0.001	-	-	-	-	0.003	-	-	-	
Cobre	mg/L	-	<0.003	-	-	0.008	<0.002	<0.002	<0.002	-	0.009	0.02	0.05	0.05	
Mercurio	mg/L	-	<4e ⁻⁶	-	-	<4e ⁻⁶	<0.0002	<0.0002	<0.0002	-	0.00004	0.0005	0.001	0.001	
Chumbo	mg/L	-	<0.003	-	-	<0.003	0.006	0.004	0.005	-	<0.003	-	0.05	0.05	
Níquel	mg/L	-	0.014	-	-	<0.002	<0.005	0.014	<0.005	-	0.009	-	-	-	
Zinco	mg/L	-	0.010	-	-	0.009	<0.02	<0.02	0.04	-	0.009	0.5	3.0	3.0	
Azoto amoniacal	mg/L	<0.5	330	540	0.68	68	<0.05	660	0.66	3.6	44	0.05	-	-	
Azoto kjeldahl	mg/L	5.5	266	450	13.9	69	-	-	-	-	53	1	-	-	
Nitratos	mg/L	26.8	0.3	4.5	16.2	14.5	18	2.3	12	-	-	25	50	50	
Nitritos	mg/L	<0.016	<0.016	<0.016	0.126	1.13	<0.01	<0.01	0.26	-	-	-	-	-	
Carência bioquímica oxigénio (CBO)	mg/L	-	-	-	-	-	<2	25	<2	-	-	3	-	-	
Carência química oxigénio (CQO)	mg/L	<7.5	157	162	<7.5	25.8	14	545	26	-	235	-	-	-	
Cálcio	mg/L	4.6	17.2	7.8	93	69	8.6	30	29	-	-	-	-	-	
Cloreto	mg/L	67	1120	125	95	80	19	1800	158	155	1400	200	-	-	
Ferro	mg/L	0.376	20.7	11.6	1.56	1.84	0.04	4.7	0.87	0.07	0.15	0.1	0.3	0.3	
Magnésio	mg/L	14.8	48	28.5	11.7	56	7.1	36	13.2	-	-	-	-	-	
Potássio	mg/L	-	-	-	-	-	3.4	463	19	37	244	-	-	-	
Sódio	mg/L	-	-	-	-	-	17	953	132	95	734	-	-	-	
Sulfatos	mg/L	48	52	43	160	210	14	8.9	125	-	-	150	250	250	
Benzeno	mg/L	-	0.0006	-	-	<0.0001	-	-	-	-	<0.0001	-	-	-	
Etilbenzeno	mg/L	-	0.0005	-	-	<0.0001	-	-	-	-	0.0004	-	-	-	

Parâmetros	Unid.	2003						2006/2007						Anexo I	
		P3	P5	P6	Poço2	Poço3	P3	P5	P6	Poço2	Poço3	VMR	VMA		
Tolueno	mg/L	-	<0.0001	-	-	-	<0.0001	-	-	-	-	-	0.0005	-	-
Xilenos	mg/L	-	0.0012	-	-	-	<0.0001	-	-	-	-	-	0.0002	-	-
Estireno	mg/L	-	<0.0001	-	-	-	<0.0001	-	-	-	-	-	0.0004	-	-
2,4-Dimetilfenol	mg/L	-	0.00037	-	-	-	<2e ⁻⁵	-	-	-	-	-	<2e ⁻⁵	-	-
PAH 10 VROM (soma)	mg/L	-	0.31	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Diclorobenzenos	mg/L	-	0.0011	-	-	-	<0.0001	-	-	-	-	-	<0.0001	-	-
Triclorobenzenos	mg/L	-	3e ⁻⁶	-	-	-	2e ⁻⁵	-	-	-	-	-	<2e ⁻⁵	-	-
Diclorofenois	mg/L	-	0.0002	-	-	-	0.00005	-	-	-	-	-	<5e ⁻⁶	-	-
Triclorofenois	mg/L	-	0.00002	-	-	-	<1e ⁻⁵	-	-	-	-	-	<1e ⁻⁵	-	-

Solicitado por:
 Centro Técnico Corporativo
 Secil S.A.
 Outão

Relatório nº 1066/2012
Data de emissão 25-03-2013

Identificação da amostra

Amostra nº 24 627
Data de amostragem 03-08-2012
Designação da amostra CDR
Proveniência Amarsul

Data de recepção 07-08-2012
Data de início dos ensaios 08-08-2012
Data de fim dos ensaios 03-10-2012

Resultado(s) do(s) ensaio(s)

Parâmetro	Resultado	Unidades	Método
Ensaio(s) químicos			
Humidade total	7,1	%	CEN/TS 15414-2:2010
Matéria volátil *	53,1	%	IT L 04 70 04 (vs. 03)
Teor em cinza *	45,4	%	IT L 04 69 04 (vs. 03)
C	46,8	%	EN 15407:2011
H	7,51	%	EN 15407:2011
N	<1,21(LQ)	%	EN 15407:2011
S	0,12	%	EN 15408:2011
Poder calorífico superior	13810	J/g	EN 15400:2011
Poder calorífico inferior	12260	J/g	EN 15400:2011
Análise por fluorescência de raio-x			
Cl *	0,95	%	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Si *	2,11	%	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Al *	2,40	%	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Fe *	1,11	%	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Ca *	1,20	%	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Mg *	0,07	%	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Na *	0,06	%	IT L 04 74 03 (vs. 01)
K *	0,18	%	IT L 04 74 03 (vs. 01)
P *	0,12	%	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Ti *	0,64	%	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Mn *	ND	%	IT L 04 74 03 (vs. 01)
S *	0,13	%	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Sc *	2,3	ppm	IT L 04 74 03 (vs. 01)
V *	4,3	ppm	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Cr *	314,0	ppm	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Co *	7,2	ppm	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Ni *	121,3	ppm	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Cu *	107,1	ppm	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Zn *	305,2	ppm	IT L 04 74 03 (vs. 01)
As *	ND	ppm	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Se *	1,4	ppm	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Br *	4,8	ppm	IT L 04 74 03 (vs. 01)

IT L - Instrução técnica
 LQ - Limite de quantificação; ND - Não detectado
 (s) - Base seca
 * - Ensaio não acreditado

Este relatório só pode ser reproduzido na íntegra.
 Os resultados referem-se exclusivamente à amostra acima identificada.
 A amostragem e os dados de identificação da amostra não são da responsabilidade do laboratório.

Figura II.1: Relatório de Ensaio às amostras de CDR proveniente da Lixeira da Moita

Resultado(s) do(s) ensaio(s)

Parâmetro	Resultado	Unidades	Método
Análise por fluorescência de raio-x			
Rb *	13,1	ppm	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Sr *	23,2	ppm	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Mo *	18,6	ppm	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Cd *	4,7	ppm	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Sn *	132,7	ppm	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Sb *	3,2	ppm	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Te *	ND	ppm	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Cs *	ND	ppm	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Ba *	74,9	ppm	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Ce *	3,0	ppm	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Hg *	ND	ppm	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Tl *	ND	ppm	IT L 04 74 03 (vs. 01)
Pb *	227,0	ppm	IT L 04 74 03 (vs. 01)

Responsável Técnico


 Cláudia Neto

IT L - Instrução técnica
 LQ - Limite de quantificação; ND - Não detectado
 (s) - Base seca
 * - Ensaio não acreditado

Este relatório só pode ser reproduzido na íntegra.
 Os resultados referem-se exclusivamente à amostra acima identificada.
 A amostragem e os dados de identificação da amostra não são da responsabilidade do laboratório.



Página 2 de 2
 PT L 04 07/06 G



Laboratório de Controlo de Qualidade do Outão
Apartado 71
2901-864 Setúbal PORTUGAL
tel. +351 212 199 100 / fax +351 289234629
e-mail: lcoq@secil.pt / site: www.secil.pt
Contribuinte PT 500 243 500

Relatório de Ensaio

Solicitado por:
Centro Técnico Corporativo
Secil S.A.
Outão

Relatório nº 0960/2012
Data de emissão 03-09-2012

Identificação da amostra

Amostra nº 24 626
Data de amostragem 03-08-2012
Designação da amostra Terras
Proveniência Amarsul

Data de recepção 07-08-2012
Data de início dos ensaios 08-08-2012
Data de fim dos ensaios 31-08-2012

Resultado(s) do(s) ensaio(s)

Parâmetro	Resultado	Unidades	Método
Ensaio químicos			
Humidade total	11,4	%	CENTS 15414-2:2010
Matéria volátil *	4,8	%	IT L 04 70 04
Teor em cinza *	95,2	%	IT L 04 69 04
CO ₂ *	6,38	%	IT L 04 45 03
SO ₃ *	0,77	%	IT L 04 45 03
Análise por fluorescência de ralo-x			
SiO ₂ *	71,25	%	IT L 04 74 03
Al ₂ O ₃ *	7,67	%	IT L 04 74 03
Fe ₂ O ₃ *	1,78	%	IT L 04 74 03
CaO *	4,14	%	IT L 04 74 03
MgO *	0,37	%	IT L 04 74 03
K ₂ O *	1,07	%	IT L 04 74 03
Na ₂ O *	0,28	%	IT L 04 74 03
P ₂ O ₅ *	0,43	%	IT L 04 74 03
Cl *	0,05	%	IT L 04 74 03
TiO ₂ *	0,44	%	IT L 04 74 03
MnO *	ND	%	IT L 04 74 03
Sc *	1,7	ppm	IT L 04 74 03
V *	14,3	ppm	IT L 04 74 03
Cr *	124,3	ppm	IT L 04 74 03
Co *	2,4	ppm	IT L 04 74 03
Ni *	11,5	ppm	IT L 04 74 03
Cu *	41,7	ppm	IT L 04 74 03
Zn *	152,9	ppm	IT L 04 74 03
As *	4,8	ppm	IT L 04 74 03
Se *	0,8	ppm	IT L 04 74 03
Br *	2,5	ppm	IT L 04 74 03
Rb *	33,2	ppm	IT L 04 74 03
Sr *	29,1	ppm	IT L 04 74 03
Mo *	3,8	ppm	IT L 04 74 03
Cd *	6,1	ppm	IT L 04 74 03
Sn *	15,7	ppm	IT L 04 74 03
Sb *	ND	ppm	IT L 04 74 03

ND - Não detectado
IT L - Instrução Técnica
* - Ensaio não acreditado

Este relatório só pode ser reproduzido na íntegra.
Os resultados referem-se exclusivamente à amostra acima identificada.
A amostragem e os dados de identificação da amostra não são de responsabilidade do laboratório.



Figura II.2: Relatório de Ensaio às amostras de terras proveniente da Lixeira da Moita



Laboratório de Controlo de Qualidade do Outilho
Apartado 71
2901-864 Salsabal PORTUGAL
tel. +351 212 198 100 / fax +351265234629
e-mail: lcao@secil.pt / site: www.secil.pt
Contribuinte PT 500 243 590

Relatório de Ensaio

Relatório nº
Data de emissão

0960/2012
03-09-2012

Resultado(s) do(s) ensaio(s)

Parâmetro	Resultado	Unidades	Método
Análise por fluorescência de raio-x			
Te *	ND	ppm	IT L 04 74 03
Cs *	ND	ppm	IT L 04 74 03
Ba *	156,9	ppm	IT L 04 74 03
Ce *	15,4	ppm	IT L 04 74 03
Hg *	ND	ppm	IT L 04 74 03
Tl *	0,2	ppm	IT L 04 74 03
Pb *	124,2	ppm	IT L 04 74 03

Responsável Técnico


Cláudia Neto

ND - Não detectado
IT L - Instrução Técnica
* - Ensaio não acreditado

Este relatório só pode ser reproduzido na íntegra.
Os resultados referem-se exclusivamente à amostra acima identificada.
A amostragem e os dados de identificação da amostra não são da responsabilidade do laboratório.

IFAC
acreditação

L0556
Ensaio

Página 2 de 2
PT L 04 07/06 E

Anexo III – Tabelas do resultado obtido das entradas e saídas da linha de tratamento
– cenário de 50% de RU 50% de resíduos escavados da lixeira

Tabela III.1: Valores de entrada e saída de cada processo nas unidades de TM e de CDR, no cenário “meio-termo”

	Valores em toneladas		Metais	Vidro	Papel	Plástico	RO	RI	Finos	TOTAL
Lixeira	Crivagem	Refugo	12 097	18 146	13 342	93 416	13 050	112 566	114 050	376 667
		Finos	-	-	-	-	30 450	-	266 116	296 566
TM	Abre-sacos	Refugo	22 267	38 486	95 079	145 019	144 507	145 336	162 640	753 334
	Trommell	Refugo	17 814	7 697	80 817	130 517	36 127	36 334	40 660	349 966
		Finos	4 453	30 789	14 262	14 502	108 380	109 002	121 980	403 368
	Separador balístico	Plástico e papel	5 344	1 539	80 817	130 517	7 225	-	8 132	233 575
		Finos	-	-	-	-	28 901	-	32 528	61 429
		Pesados/Rolantes	12 470	6 158	-	-	-	36 334	-	54 961
CDR	Triturador	Refugo	5 344	1 539	80 817	130 517	7 225	-	8 132	233 575
	Separador electromagnético	Refugo	1 069	1 539	76 776	123 992	7 225	-	7 725	218 327
		Metais	4 275	-	4 041	6 526	-	-	407	15 249
	Mesa densimétrica	Leves	-	-	76 776	123 992	7 225	-	7 725	215 718
		Pesados	1 069	1 539	-	-	-	-	-	2 608
Triturador final	Pesados	1 069	1 539	-	-	-	-	-	2 608	