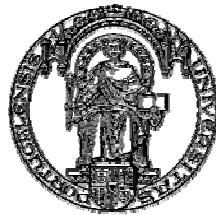


FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

ESTRATÉGIAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Sílvia Cláudia Mesquita Teixeira

Licenciada em Engenharia Química
pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Dissertação submetida para satisfação parcial
dos requisitos do grau de mestre
em
Engenharia do Ambiente
(Ramo: Gestão e Tratamento de Resíduos Industriais)

Dissertação realizada sob a supervisão de
Professor Doutor Manuel Afonso de Fonseca Almeida,
do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Porto, Março de 2004

Resumo

As tendências da Sociedade actual impõem a necessidade de implementar processos de discussão elaborados e eficazes, muitas vezes traduzindo a ruptura de velhos hábitos sociais e definindo novos padrões de comportamento ambiental. Na prática, esta “nova” orientação filosófica é acompanhada da atribuição de mais responsabilidades individuais e colectivas, por forma a garantir um adequado desenvolvimento social, económico e ambiental. Uma das principais questões actualmente colocadas é a escassa disponibilidade de matérias-primas, resultado da exploração efectuada ao longo dos anos, bem como a da dispersão de materiais em locais de deposição não apropriados. Este facto obriga à imposição de várias medidas com vista à limitação desses desmandos e ao aproveitamento dos materiais ainda existentes.

O desenvolvimento económico mundial traduz-se por um incremento na produção de bens de consumo, cujos resíduos exigem a implementação de complexas soluções de gestão. Actualmente, os resíduos sólidos urbanos constituem cerca de 40% dos resíduos produzidos anualmente em todo o planeta, pelo que para enfrentar problemas desta dimensão os sistemas de gestão integrada de resíduos e as unidades de tratamento são normalmente precedidos de cada vez mais rigorosas avaliações que permitem ter em consideração os impactes sobre a saúde pública e o ambiente.

Este documento apresenta de forma sumária o conjunto de regras e tecnologias mais utilizadas na gestão de resíduos sólidos urbanos, e, complementarmente, propicia um sistema de ajuda à sua gestão que lança mão de diferentes critérios, constituindo uma ferramenta de apoio à decisão nessa matéria.

Na primeira parte deste documento apresenta-se uma perspectiva histórica sobre a evolução da gestão de resíduos e das preocupações ambientais inerentes, não deixando de os classificar segundo a sua origem e características. Faz-se ainda referência a diversos documentos regulamentares que orientam a gestão de resíduos. Numa segunda parte, incide-se sobre a recolha e transporte de resíduos e o seu posterior tratamento e eliminação, listando-se e caracterizando-se, de uma forma geral, as principais tecnologias disponíveis. Na terceira parte deste trabalho apresenta-se sumariamente a gestão de resíduos urbanos nos vários continentes e em Portugal, sendo também enumerados alguns aspectos da estratégia de gestão integrada de resíduos. Na quarta parte apresentam-se dados sobre os custos económicos associados às principais tecnologias disponíveis em Portugal e as bases do *software* elaborado para servir de apoio à gestão de resíduos urbanos. Este programa pretende incidir sobre as várias opções de gestão que existem ou

vão existir brevemente em Portugal e permite focar alguns aspectos importantes de optimização dos destinos existentes, recursos legislativos, minimização de impactes ambientais e minimização de custos.

Pretende-se que esta ferramenta sirva de apoio na escolha e implementação de estratégias de gestão de resíduos com maior rigor e seriedade, contribuindo para a aplicação da melhor solução numa determinada região, mas sem descurar uma declarada finalidade pedagógica.

Abstract

The current Society's trends analysis impose the necessity to implement elaborated and efficient processes of discussion, many times translating the rupture of old social habits and defining new standards of environment behaviour. In practical, this new philosophical orientation must be followed by the attribution of more individual and collective responsibilities, in order to guarantee an adequate social, economic and environmental development. One of the main questions currently placed is the scarce availability of raw material, as a result of the excessive exploration of resources, as well as the dispersion of materials in inappropriate places of deposition. This fact compels to the imposition of some measures with a view to the limitation of these disobediences and the efficient exploitation of the remaining materials.

World-wide the economic development is translated by an increase in the production of consumption goods, whose wastes demand the implementation of complex solutions of management. Currently, the municipal solid waste constitute about 40% of the waste produced annually in the whole planet, for that, to stop facing problems of this dimension the systems of integrated waste management and the treatment units are each time preceded by more rigorous evaluations that have in account public health and the environment impacts.

This document presents, in a summary form, a set of rules and the most used technologies in the municipal solid waste management, and, complementarily, it propitiates a system of aid to waste management that launches hand of different criteria, constituting a support tool to the decision in this matter.

In the first part of this document, a historical perspective on the evolution of waste management and the inherent environment concerns are presented, not leaving them to classify according to its origin and characteristics. Reference is still done to the diverse legal documents that guide the waste management. In the second part, one refers to the waste collection and transport and its posterior treatment and elimination, listing and characterizing, in a general form, the main available technologies. In the third part of this work, the municipal solid waste management in the some continents and in Portugal is presented, being some aspects of the strategy of integrated waste management also enumerated. In the fourth part, it presentes some data on the economic costs associated to the main available technologies in Portugal and the bases of the elaborated software to help the municipal solid waste management. This program intends to focus on some options of management that exist or are going to exist briefly in Portugal and it allows to focus some important aspects of optimization of the existing destinations, legislative resources, environmental impacts

minimization and costs minimization. It is intended that this tool serves as support in the choice and implementation of strategies of waste management with bigger severity and seriousness, contributing for the application of the best solution in one determined region, but without relinquishing the declared pedagogical purpose.

Aos Meus Pais
e ao
Rui

Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que colaboraram directa ou indirectamente na elaboração desta tese. Neste sentido, gostaria de agradecer em especial:

- , Ao meu orientador, Professor Manuel Afonso de Fonseca Almeida, pela sua disponibilidade, paciência e pelo empenho e apoio durante a realização deste trabalho;
- , Ao Professor Paulo Tenreiro dos Santos Monteiro pela sua compreensão, ajuda e incentivo para a concretização desta tese, o meu grande e reconhecido obrigado;
- , Às câmaras municipais que responderam aos inquéritos elaborados;
- , À Lipor, na pessoa do Dr. Fernando Leite e da Dra. Mónica Monteiro, pela sua prestação na cedência dos dados necessários para esta tese;
- , À Célia pelo apoio que me deu nos momentos mais complicados;
- , Aos meus amigos, pela compreensão na minha ausência durante a elaboração desta tese;
- , Ao Rui pelo amor, carinho, compreensão e pela sua preciosa ajuda na realização desta tese.
- , Aos meus Pais, Eugénia e Joaquim, por tudo...

Nomenclatura

- CBO₅ – Carência Bioquímica de Oxigénio ao fim de 5 dias a 20 °C
- CE – Comissão Europeia
- CEE – Comunidade Económica Europeia
- CER – Catálogo Europeu dos Resíduos
- CQO – Carência Química de Oxigénio
- BAT – Best Available Technologies
- BREF – Best Available Technologies Reference Document
- DGE – Direcção Geral de Energia
- DGQA – Direcção Geral de Qualidade e Ambiente
- EPA – Environmental Protection Agency
- EUA – Estados Unidos da América
- LER – Lista Europeia dos Resíduos
- Lipor – Serviço Intermunicipalizado de Tratamento de Lixos da Região do Porto
- MARN – Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais
- MTD – Melhores Tecnologias Disponíveis
- OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico
- PEAD – Polietileno de Alta Densidade
- PEBD – Polietileno de Baixa Densidade
- PERSU – Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos
- PET – Polietileno Tereftalato
- PP – Polipropileno
- PS - Poliestireno
- PVC – Policloreto de vinilo
- RAN – Reserva Agrícola Nacional
- REN – Reserva Ecológica Nacional
- REEE – Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

RUB – Resíduos Urbanos Biodegradáveis

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SPV – Sociedade Ponto Verde

UE – União Europeia

VCU – Vertical Composting Unit

VFG – Vegetables, Fruits and Gardens

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	ix
Nomenclatura	xi
Índice	xiii
Índice de Figuras.....	xvii
Índice de Tabelas	xxiii
1 Introdução	1
1.1 Evolução das Preocupações Ambientais.....	1
1.2 Classificação dos Resíduos Sólidos	2
1.2.1 Classificação dos Resíduos Segundo a sua Origem	3
1.2.2 Classificação dos Resíduos Segundo as suas Características	6
1.3 Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos.....	8
2 Legislação Ambiental Aplicável aos Resíduos Urbanos	13
2.1 Plano Estratégico dos RSU	13
2.2 Directiva Embalagens e Resíduos de Embalagens	16
2.3 Directiva 1999/31/CE.....	18
2.4 Estratégia Nacional para a Redução dos Resíduos Biodegradáveis destinados a Aterros.....	19
3 Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos	23
3.1 Tipos de Materiais Envolvidos	24
3.1.1 Propriedades Físicas	24
3.1.2 Propriedades Químicas	26
3.1.3 Propriedades Biológicas	27
3.2 Aplicação da Política dos 3R.....	27
3.3 Recolha dos Resíduos	28
3.3.1 Recolha Indiferenciada	33
3.3.2 Recolha Selectiva de Resíduos Sólidos Urbanos	34
3.3.3 Equipamentos de Deposição.....	35
3.3.4 Viaturas de Recolha	43
3.3.5 Transporte dos Resíduos	46
3.3.6 Estações de Transferência	48
3.4 Campanhas de sensibilização.....	51
3.5 Triagem.....	56
3.6 Caracterização de Resíduos	58
3.6.1 Metodologia de Caracterização	60

3.6.2	Procedimento.....	62
3.6.3	Apresentação de Resultados.....	66
3.7	Valorização/Eliminação de RSU	66
4	Valorização/Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos	69
4.1	Valorização Física.....	69
4.1.1	Reutilização	70
4.1.2	Reciclagem Material	70
4.2	Valorização Orgânica	76
4.2.1	Compostagem.....	77
4.2.2	Digestão Anaeróbia	103
4.2.3	Vermicultura.....	108
4.2.4	Produção de Glucose por Hidrólise Ácida e Enzimática	109
4.3	Valorização Energética	110
4.3.1	Incineração com Recuperação Energética.....	110
4.3.2	Pirólise	115
4.3.3	Gaseificação	118
5	Eliminação de Resíduos Sólidos Urbanos.....	121
5.1	Deposição em Aterro.....	121
5.1.1	Critérios de Localização de Aterros.....	124
5.1.2	Mecanismos de Produção do Biogás	129
5.1.3	Produção de Lixiviados.....	137
5.1.4	Encerramento do Aterro Sanitário após a Exploração	140
5.1.5	Vantagens e Desvantagens dos Aterros	143
6	Gestão dos RSU nos vários Continentes	145
6.1	Países Desenvolvidos	150
6.2	Países em Desenvolvimento	153
7	Gestão de RSU em Portugal	161
7.1	Evolução da Produção de Resíduos.....	161
7.2	Evolução da Gestão de Resíduos	166
7.3	Sistemas de Gestão de Resíduos	171
7.3.1	Entidades Gestoras	174
7.3.2	Câmaras Municipais	175
8	Estratégias de Gestão Integrada de Resíduos	185
9	Aspectos Económico-Financeiros.....	193
9.1	Custos de Recolha	195
9.1.1	Estações de Triagem.....	202
9.2	Custos de Processamento de RSU.....	203
9.2.1	Compostagem.....	204
9.2.2	Incineração	207

9.2.3	Digestão Anaeróbia	209
9.2.4	Deposição em Aterro	211
10	Formulação de Cenários de Gestão	215
10.1	Pressupostos	216
10.2	Variáveis utilizadas.....	217
10.3	Expressões Algébricas Obtidas	218
10.3.1	Balanços Mássicos.....	219
10.3.2	Restrições Mássicas	219
10.3.3	Restrições Legislativas.....	219
10.3.4	Valores Adoptados	222
10.3.5	Funções Objectivo.....	225
11	<i>Software de Gestão</i>	233
11.1	Âmbito de Aplicação	233
11.2	Ferramentas Utilizadas	233
11.3	Requisitos do Programa	233
11.4	Estrutura de Construção.....	234
11.4.1	Pressupostos.....	234
11.4.2	Exemplos de Aplicação	235
11.4.3	Entrada de dados	235
11.4.4	Método de Optimização de Sistemas Lineares.....	238
11.4.5	Apresentação de Resultados	241
11.5	Exemplo de Aplicação.....	241
11.6	Considerações Finais.....	252
12	Conclusões	255
13	Referências	257
14	Bibliografia	261
Anexo A	265	
Anexo B	281	
Anexo C	285	
Anexo D	289	

Índice de Figuras

Figura 1.1 Fluxo de materiais de uma Sociedade [1].....	9
Figura 1.2 Hierarquia de gestão de resíduos nos EUA [4]	11
Figura 2.1 Quantificação das metas segundo os horizontes temporais estabelecidos [7].....	15
Figura 3.1 Percursos padronizados para os circuitos de recolha [1]	31
Figura 3.2 Exemplo de um trajecto para recolha de RSU [1].....	32
Figura 3.3 Exemplo do transporte de RSU das habitações para o local de processamento [12]	36
Figura 3.4 Condutas de transporte vertical dos resíduos [12].....	37
Figura 3.5 Esquema do transporte pneumático dos RSU [12].....	37
Figura 3.6 Sacos de recolha selectiva de RSU [13].....	38
Figura 3.7 Contentores pequenos para recolha selectiva de RSU [13]	38
Figura 3.8 Contentores de média dimensão para recolha de RSU [14].....	39
Figura 3.9 Contentores de 770 litros para recolha indiferenciada [15].....	39
Figura 3.10 Contentor <i>molok</i> [15].....	40
Figura 3.11 Contentores “ <i>igloo</i> ” para vidro e papel, respectivamente [16]	40
Figura 3.12 Contentores para veículo multibenne e polibenne, respectivamente [17]	41
Figura 3.13 Pilhómetro [18]	41
Figura 3.14 Ecopontos para papel/cartão, vidro e embalagens [19]	42
Figura 3.15 Ecocentro [19]	42
Figura 3.16 Veículo de recolha traseira [15]	44
Figura 3.17 Veículo equipado para recolha lateral [20].....	44
Figura 3.18 Veículo com carregamento frontal [1]	45
Figura 3.19 Veículo de recolha tipo <i>ampliroll</i> [21]	46
Figura 3.20 Relação entre os custos de transporte e a distância percorrida [3]	48
Figura 3.21 Exemplos de tipologias para estações de transferência de resíduos [1]	49
Figura 3.22 Transportador de cintas de borracha [1]	50

Figura 3.23 Transportador de corrente [1]	51
Figura 3.24 Fluxograma de implementação de um sistema de sensibilização ambiental	52
Figura 3.25 Actividades desportivas de sensibilização [8]	54
Figura 3.26 Spots publicitários alusivos à separação dos materiais [8].....	54
Figura 3.27 Estação de triagem [7]	57
Figura 3.28 Esquema dos processos de triagem [7].....	58
Figura 3.29 Representação de uma estação de triagem [7]	58
Figura 3.30 Procedimentos de caracterização manual de resíduos [3]	65
Figura 3.31 Composição média dos RSU em 1989 [6]	66
Figura 3.32 Taxa de recuperação e utilização do papel/cartão e taxa de reciclagem do vidro até 2001 [23].....	67
Figura 4.1 Quantidades retomadas por cada tipo de material [23]	72
Figura 4.2 Reciclagem de plásticos [7]	73
Figura 4.3 Reciclagem de metais [7].....	74
Figura 4.4 Fluxograma de reciclagem para alguns REEE [7]	75
Figura 4.5 Esquema geral do processo de compostagem [7]	78
Figura 4.6 Cobertura de um biofiltro [7].....	80
Figura 4.7 Camadas existentes num biofiltro [7]	81
Figura 4.8 Triagem manual [26]	84
Figura 4.9 Separador por corrente de <i>Eddy</i> [1].....	86
Figura 4.10 Exemplos de separadores por corrente de ar [1].....	87
Figura 4.11 Exemplo de um separador balístico [12].....	88
Figura 4.12 Esquema de um separador de vidro [12]	89
Figura 4.13 Principais fases de um processo de compostagem [7].....	90
Figura 4.14 Perfil de temperaturas numa pilha de compostagem [22].....	91
Figura 4.15 Técnicas de compostagem [7]	95
Figura 4.16 Balanço mássico da compostagem para recolha indiferenciada e diferenciada, respectivamente [7]	96
Figura 4.17 Sistema <i>Beccari</i> [22]	97

Figura 4.18 Sistema <i>Fairfield-Hardy</i> [22].....	98
Figura 4.19 Processo <i>Dano</i> [22].....	98
Figura 4.20 Sistema <i>Metro-Waste</i> [22].....	99
Figura 4.21 Exemplo de uma pilha estática arejada por insuflação [22].....	99
Figura 4.22 Exemplo de uma pilha estática arejada por sucção [22].....	100
Figura 4.23 Montagem de uma pilha de materiais orgânicos em meios rurais [22].....	101
Figura 4.24 Esquema geral do processo de digestão anaeróbia [7].....	103
Figura 4.25 Vermes utilizados na vermicultura [27]	108
Figura 4.26 Esquema de uma central de incineração [13].....	111
Figura 4.27 Efeitos ambientais da incineração [25]	115
Figura 4.28 Esquema de um sistema de pirólise [28]	116
Figura 4.29 Efeito da temperatura e do tempo na formação de produtos da pirólise [1]	117
Figura 4.30 Exemplo de um sistema de pirólise para tratamento de RSU [25]	118
Figura 4.31 Exemplo de uma tecnologia de gaseificação e pirólise de RSU [25].....	120
Figura 5.1 Imagem de uma lixeira com libertação de fumos [7].....	121
Figura 5.2 Vista lateral de um aterro [12]	124
Figura 5.3 Fluxograma para a selecção de locais de instalação de Aterros Sanitários [22]	126
Figura 5.4 Fases de decisão de locais para deposição [7]	127
Figura 5.5 Variação da composição dos gases em aterro [25]	132
Figura 5.6 Poço de extracção e sua representação esquemática [22]	135
Figura 5.7 Vista de corte de um poço com tubagem de condensados [22]	137
Figura 5.8 Ciclo de água num aterro [25].....	138
Figura 5.9 Composição do lixiviado no aterro ao longo do tempo [25]	140
Figura 5.10 Configurações das camadas de um aterro [29]	142
Figura 5.11 Efeitos ambientais da deposição em aterro [25]	144
Figura 6.1 Evolução da composição dos resíduos no Reino Unido de 1879 a 1990 [25]....	145
Figura 6.2 Composição de RSU na UE em 1995 [25].....	146
Figura 6.3 Comparação da gestão de RSU em dois tipos de países [31]	150

Figura 6.4 Pequena instalação de reciclagem de papel [31]	154
Figura 6.5 Produção de sandálias a partir de plásticos [31]	155
Figura 6.6 Recolha de resíduos por mulheres na América Latina [31]	157
Figura 7.1 Composição média dos RSU, em 1993 [6]	163
Figura 7.2 Composição dos materiais de embalagem dos RSU em 1993 [6].....	163
Figura 7.3 Previsão da evolução da produção de RSU [6]	164
Figura 7.4 Produção de RSU, <i>per capita</i> , na UE [23]	165
Figura 7.5 Comparação entre a produção de RSU em Portugal e as metas definidas no PERSU [23]	165
Figura 7.6 Destino final dos RSU em 1994 [6]	166
Figura 7.7 Tratamento e destino final dos RSU em Portugal continental [23]	169
Figura 7.8 Evolução da cobertura territorial da SPV [34]	172
Figura 7.9 Resíduos de embalagens retomados e encaminhados pela SPV [34]	173
Figura 7.10 Sistemas de gestão de resíduos em 2002 [adaptado de 35].....	175
Figura 7.11 Tipo de recolha nos 112 municípios inquiridos	180
Figura 7.12 Número de ecopontos nos municípios inquiridos	180
Figura 7.13 Distribuição do n.º de habitantes por ecoponto nos 112 municípios.....	181
Figura 7.14 Número de ecocentros existentes nos 112 municípios.....	181
Figura 7.15 Distância percorrida por percurso efectuado em cada município	182
Figura 7.16 Frequência de recolha nos 112 municípios	182
Figura 7.17 Número de deslocações diárias dos veículos de recolha	183
Figura 7.18 Custos de sensibilização nos municípios inquiridos	183
Figura 7.19 Distâncias entre as câmaras e as unidades de processamento dos RSU	184
Figura 8.1 Produção de RSU por tipologia de habitação [1]	185
Figura 11.1 Interface principal do programa de gestão.....	234
Figura 11.2 Forma de resolução gráfica do método <i>simplex</i> [44]	240
Figura 11.3 Interface principal de entrada de dados.....	242
Figura 11.4 Janela para entrada de dados sobre a composição dos RSU.....	243

Figura 11.5 Janela de opção para escolha de destinos	243
Figura 11.6 Entrada de dados relativos ao destino actual dos resíduos.....	244
Figura 11.7 Desempenho dos processos de reciclagem por material	245
Figura 11.8 Desempenho dos processos para a digestão anaeróbia.....	245
Figura 11.9 Desempenho dos processos para a compostagem.....	246
Figura 11.10 Desempenho dos processos para a incineração	246
Figura 11.11 Entrada de dados relativos ao sistema de recolha	247
Figura 11.12 Janela de preenchimento de dados relativos aos coeficientes ambientais	247
Figura 11.13 Janela de preenchimento de dados relativos aos coeficientes económicos... <td>248</td>	248
Figura 11.14 Janela de apresentação de resultados relativos aos destinos dos RSU no Cenário 1	249
Figura 11.15 Janela de apresentação de resultados relativos aos destinos dos RSU no Cenário 1 após triagem	250
Figura 11.16 Janela de apresentação de resultados relativos à reciclagem para o Cenário 1	250
Figura 11.17 Janela de apresentação dos resultados para o desempenho ambiental no Cenário 1	251
Figura 11.18 Janela de apresentação de resultados para o desempenho económico no Cenário 1	252

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 Metas para a valorização e reciclagem de embalagens e resíduos de embalagens	16
Tabela 4.1 Classificação dos processos de compostagem em função da temperatura [22] .	97
Tabela 4.2 Taxa de aquecimento para a pirólise [1]	116
Tabela 5.1 Constituição dos gases de aterro ao longo do tempo (%) [25]	133
Tabela 5.2 Constituição do biogás [25]	133
Tabela 5.3 Comparaçao entre a composição do biogás e o gás natural [7]	136
Tabela 5.4 Composição dos lixiviados para duas fases de exploração do aterro [22]	139
Tabela 6.1 Destino dos resíduos em alguns países (%) [25].....	147
Tabela 7.1 Estimativa da produção de RSU (g/hab/dia) [22]	162
Tabela 7.2 Taxa de reciclagem dos vários componentes de embalagens [6]	163
Tabela 9.1 Custos de recolha dos materiais putrescíveis dos RSU [38]	196
Tabela 9.2 Custos de recolha de resíduos indiferenciados	197
Tabela 9.3 Custos de recolha de resíduos recicláveis [38].....	199
Tabela 9.4 Custos unitários de triagem de RSU (€/t) [38].....	202
Tabela 9.5 Custos de acções de sensibilização (€/hab) [38]	203
Tabela 9.6 Rendimentos com a reciclagem (€/t) [7].....	203
Tabela 9.7 Custos unitários para a compostagem (€/t) [38]	205
Tabela 9.8 Rendimentos obtidos com a compostagem [38]	207
Tabela 9.9 Custos de exploração de unidades de incineração [38].....	209
Tabela 9.10 Custos de exploração de unidades de digestão anaeróbia [38]	210
Tabela 9.11 Estudo de custos para a localização de um aterro [22]	212
Tabela 9.12 Custos de investimento associados à deposição num aterro projectado para 10 anos [38].....	212
Tabela 9.13 Custos de exploração dos aterros para países da UE [38].....	213
Tabela 10.1 Definição da nomenclatura usada nas variáveis consideradas	218

Tabela 10.2 Destino dos resíduos e valor do índice j	218
Tabela 10.3 Quantidade de RUB a enviar para aterro.....	220
Tabela 10.4 Cumprimento da Directiva Embalagens.....	220
Tabela 10.5 Fracção de rejeição de materiais para reciclagem durante a triagem	222
Tabela 10.6 Refugos obtidos em cada tecnologia de tratamento	222
Tabela 10.7 Perspectiva ambiental e económica.....	223
Tabela 10.8 Factores de rejeição de materiais segundo as diferentes tecnologias.....	224
Tabela 11.1 Composição dos RSU produzidos a adoptar por defeito	253
Tabela 11.2 Emissões de gases com efeito de estufa no transporte de RSU [42]	253

1 Introdução

Desde os tempos mais remotos o Homem sempre teve a necessidade de se desfazer de objectos e materiais quando estes se revelavam inapropriados para o seu uso. Tais coisas, vulgarmente conhecidas por lixo, são os resíduos que na sua maior parte resultam da actividade humana e têm um valor nulo para o seu detentor. Contudo, podem, ainda, possuir potenciais capacidades de valorização.

1.1 Evolução das Preocupações Ambientais

Sendo que a maioria dos resíduos não possui qualquer valor para o seu produtor, isso fez com que fossem sendo depositados sem qualquer cuidado no meio ambiente. Nos primórdios da Humanidade isso não constituiu problema, coabitando o Homem com os seus resíduos, pois havia muito espaço para efectuar a sua deposição, sendo a quantidade produzida muito baixa e quase todos eles eram facilmente degradáveis.

Quando o Homem abandonou a vida nómada, aproximadamente em 10000 AC, principiou a viver em comunidade, formando tribos, vilas e cidades, pelo que a produção de resíduos começou também a ser concentrada. Então, salvo raras excepções, os resíduos eram empilhados de tal forma que as pessoas viviam rodeadas deles e de sujidade, acabando por dar origem a problemas de saúde pública e de degradação ambiental de difícil resolução. De facto, a deposição incontrolada de resíduos deve ser considerada como originando uma forte probabilidade de transmissão de contaminantes e doenças de um meio receptor para outro.

Nesses tempos, só quando surgiam problemas de carácter social é que era tomada alguma acção. No caso de Atenas e Roma, por exemplo, as pilhas de entulho situadas na proximidade das muralhas das cidades facilitavam o acesso a possíveis invasores, pelo que por isso tinham de ser contidas.

No século XIX as condições de vida eram ainda muito fracas. Nos primórdios da revolução industrial, o crescimento da população e as condições humanas em que as populações viviam detinham um papel secundário. A reciclagem era feita por indivíduos que vasculhavam as ruas e as pilhas de resíduos à procura de material com algum valor económico de forma a garantirem a sua própria subsistência [1].

Com a mudança das condições de vida e hábitos da população, os resíduos que ainda detinham algum poder de valorização foram deixados ao acaso devido ao seu baixo valor económico face às necessidades da Sociedade.

Desta forma, atingiu-se uma situação em que as massas de água estão poluídas com esgotos e resíduos, há emissões de poluentes para a atmosfera através de gases resultantes da degradação e queima dos resíduos e tem-se verificado que a permanência de detritos em decomposição em locais abertos pode provocar graves problemas de saúde.

Como exemplo deste problema, aponta-se uma doença que no século XIV dizimou metade da população europeia, ficando conhecida como Peste Negra (ou Peste Bubónica) e que foi causada pela proliferação de doenças através de animais que viviam nos aglomerados populacionais onde não havia preocupações com a deposição de resíduos. Estes animais, como os ratos, alimentavam-se dos resíduos em decomposição que a população colocava nas ruas e terrenos vagos, sem qualquer tipo de cuidado adicional, levando a que constituíssem um excelente veículo transportador de doenças para as populações.

Em resumo, tem-se verificado que nas últimas décadas o crescimento demográfico acompanhado de alterações na concentração populacional, nos hábitos de consumo e o desenvolvimento industrial conduziram a um aumento da produção de resíduos, e, consequentemente, a uma proliferação de doenças. Esta situação levou a que a Sociedade tivesse necessidade de criar soluções adequadas para resolver este problema.

Embora ainda se verifique uma grande deposição de resíduos no solo e nos restantes meios receptores, actualmente a gestão de resíduos é efectuada segundo a adopção de políticas de gestão integrada que permitem actuar na fonte, incidindo maioritariamente na reutilização, na reciclagem ou transformação de materiais, no tratamento e na eliminação dos resíduos produzidos.

1.2 Classificação dos Resíduos Sólidos

Segundo o Decreto-Lei n.º 239/97, de 9 de Setembro, um resíduo é um material, qualquer substância ou objecto, que o detentor se desfaz ou tem intenção ou a obrigação de se desfazer, nomeadamente os previstos em Portaria dos Ministros da Economia, da Saúde, da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas e do Ambiente, em conformidade com o Catálogo Europeu de Resíduos (CER), o qual foi posteriormente substituído pela

Lista Europeia de Resíduos (LER), aprovada por Decisão do Conselho da União Europeia.

Os resíduos podem ser classificados consoante as suas origens e características.

A classificação dos resíduos é feita com base nas propriedades físicas, químicas, biológicas ou infecto-contagiosas. Na realidade, não é fácil efectuar essa classificação, uma vez que a identificação de certos materiais, é na maior parte das vezes, muito complexa (como exemplo aponta-se a diferença existente na triagem dos plásticos de região para região), pelo que é fácil compreender que se encontrem variações consoante o país, o que dificulta a uniformização das iniciativas de formulação e aplicação de medidas estratégicas na resolução de questões ambientais.

No entanto, face à urgente necessidade de esclarecer melhor a perspectiva de gestão de resíduos, a União Europeia (UE) publicou a Lista Europeia de Resíduos, distribuindo-os por 20 grupos principais, distinguindo os resíduos perigosos e não perigosos. Por sua vez, cada grupo está também dividido em subgrupos, de acordo com a categoria a que pertencem.

A Directiva n.º 91/689/CEE, do Conselho, de 12 de Setembro, já apresentava a classificação dos resíduos de acordo com a sua origem e as suas características, uma perspectiva que foi adoptada neste documento para efectuar uma breve apresentação das várias tipologias de resíduos.

Embora o objecto deste trabalho seja a gestão dos RSU, pretende-se também apresentar, ainda que de forma sumária, a sua contextualização face aos outros tipos de resíduos existentes.

1.2.1 Classificação dos Resíduos Segundo a sua Origem

A classificação dos resíduos por origem é importante pois permite determinar de uma forma mais específica o conjunto de medidas a adoptar para melhorar a sua gestão.

A proveniência da produção de resíduos determina a sua origem, ou seja, nesta classificação pretende-se apresentar o tipo de resíduo produzido tendo em consideração apenas a base da sua produção. São exemplos deste tipo de classificação os resíduos sólidos urbanos, os resíduos hospitalares e os resíduos industriais.

No entanto, esta classificação é, na maior parte dos casos, muito complexa, o que implica a necessidade de efectuar uma abordagem por fileiras e por fluxos de resíduos.

1.2.1.1 Resíduos Sólidos Urbanos

Segundo a definição apresentada pelo Decreto-Lei n.º 239/97, de 9 de Setembro, como resíduos urbanos são considerados os resíduos domésticos e semelhantes, considerando a sua natureza ou composição, incluindo os resíduos provenientes do sector de serviços, de estabelecimentos comerciais, industriais ou de unidades prestadoras de cuidados de saúde, desde que a sua produção diária não exceda 1100 litros por produtor. Estes resíduos são classificados com o código 20 da Lista Europeia dos Resíduos, segundo a decisão publicada a 3 de Maio de 2000, em vigor a partir de Janeiro de 2001.

Nos RSU podem ser integrados os seguintes tipos de resíduos:

- , *Resíduos Sólidos Domésticos*: resíduos provenientes de unidades e conjuntos habitacionais;
- , *Resíduos Sólidos Públicos*: resíduos resultantes das operações de limpeza dos espaços públicos;
- , *Resíduos Sólidos Comerciais*: resíduos obtidos no exercício de actividade em estabelecimentos comerciais, do sector de serviços, da hotelaria ou de estabelecimentos similares, e de estabelecimentos de utilização colectiva que pela sua natureza ou composição, se possam considerar semelhantes aos resíduos domésticos;
- , *Resíduos Sólidos Industriais Equiparáveis a Domésticos*: resíduos resultantes da actividade industrial que, pela sua natureza ou composição, se possam considerar semelhantes aos resíduos domésticos;
- , *Resíduos Sólidos Hospitalares Equiparáveis a Domésticos*: resíduos sólidos resultantes das variadas actividades hospitalares, centros de saúde, clínicas veterinárias, laboratórios de análises clínicas e outros estabelecimentos similares que, pela sua natureza ou composição, se encontrem abrangidos pela definição de resíduos do grupo B, conforme constante do n.º 4 do Despacho 16/90 do Ministro da Saúde, e se possam considerar semelhantes aos resíduos domésticos;

- , *Resíduos Sólidos Especiais*: resíduos domésticos, comerciais, industriais e hospitalares equiparáveis a urbanos que, pelo seu volume, forma, dimensões, outras características físicas ou quaisquer outros motivos pertinentes necessitem de ser objecto de remoção especial;
- , *Resíduos de Obras*: resíduos como os escombros, terras, restos de demolições e materiais de construção resultantes da execução de obras públicas ou particulares.

1.2.1.2 Resíduos Hospitalares

Os resíduos hospitalares são todos os resíduos produzidos em unidades de prestação de cuidados de saúde, incluindo as actividades médicas de diagnóstico, prevenção e tratamento da doença, em seres humanos ou em animais, e ainda os resíduos provenientes de actividades de investigação relacionadas que não estejam abrangidos pela definição de resíduos urbanos.

Os resíduos hospitalares encontram-se divididos em 2 grandes grupos:

- Resíduos não perigosos (Grupos I e II);
- Resíduos perigosos (Grupos III e IV).

Conforme referido previamente, estes resíduos encontram-se subdivididos em 4 grupos cujos códigos correspondentes à LER em vigor são os seguintes [2]:

- , Grupo I – Resíduos equiparados a urbanos: não apresentam exigências especiais no seu tratamento (correspondentes à classe 20 da LER);
- , Grupo II – Resíduos hospitalares não perigosos: não sujeitos a tratamentos específicos, podendo ser equiparados a urbanos (correspondentes ao código 18 01 04 da LER);
- , Grupo III – Resíduos hospitalares de risco biológico: resíduos contaminados ou sujeitos a contaminação, susceptíveis de incineração ou de outro pré-tratamento eficaz, permitindo posterior eliminação como resíduo urbano (correspondentes ao código 18 01 03* da LER);
- , Grupo IV – Resíduos hospitalares específicos: resíduos de vários tipos, de incineração obrigatória (correspondentes ao código 18 01 01, 18 01 03*, 18 01

02, 18 01 06*, 18 01 07, 18 01 08*, 18 01 09, 18 01 10*, 18 02 01, 18 02 02*, 18 02 05*, 18 02 07* da LER).

1.2.1.3 Resíduos Industriais

Denominam-se por resíduos industriais aqueles que são gerados em actividades industriais, bem como os que resultem das actividades de produção e distribuição de electricidade, gás e água.

1.2.2 Classificação dos Resíduos Segundo as suas Características

Os resíduos podem ser considerados como perigosos, não perigosos ou inertes, consoante as suas características de composição e comportamento face ao meio envolvente.

Em seguida tecem-se alguns comentários à sua classificação.

1.2.2.1 Resíduos Perigosos

As características relacionadas com a atribuição do grau de perigosidade a qualquer material prendem-se com os efeitos que estas potencialmente têm sobre o ambiente e sobre a saúde pública.

Desta forma consideram-se como perigosos todos aqueles resíduos que apresentam características de perigosidade para a saúde ou para o ambiente, concretamente os definidos na Portaria dos Ministros da Economia, da Saúde, da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas e do Ambiente, em conformidade com a Lista de Resíduos Perigosos, aprovada por Decisão do Conselho da União Europeia.

As principais propriedades que conferem perigosidade a um resíduo são, entre outras:

- facilidade de explosão;
- combustibilidade;
- inflamabilidade;

- irritabilidade;
- nocividade para a saúde por inalação, ingestão ou penetração cutânea;
- toxicidade;
- carcinogenicidade;
- corrosividade;
- potencial infeccioso;
- teratogenicidade;
- mutagenicidade.

1.2.2.2 Resíduos Não Perigosos

Estes resíduos, entre nós também denominados como banais, são resíduos que não apresentam as características de perigosidade antes referidas, sendo incorporados neste grupo a maior parte dos resíduos sólidos urbanos.

Normalmente, para a sua caracterização, considera-se que o valor de alguns parâmetros do eluato¹ se situa numa gama entre o valor estipulado para os resíduos inertes e o valor mínimo fixado para os resíduos perigosos.

1.2.2.3 Resíduos Inertes

Consideram-se resíduos inertes aqueles que, quando depositados em aterro, não sofrem qualquer transformação física, química ou biológica importante, e que satisfazem as características exigidas ao respectivo eluato dum ensaio de lixiviação.

Estes resíduos não podem ser solúveis nem inflamáveis, nem possuir propriedades capazes de dar origem a outro tipo de reacção física ou química e não podem ser biodegradáveis nem reagir com outras substâncias presentes no meio de uma forma susceptível de aumentar a poluição ambiente ou prejudicar a saúde humana. A lixiviabilidade total, o conteúdo poluente dos resíduos e a ecotoxicidade do lixiviado devem ser insignificantes e, em especial, não pôr em perigo a qualidade das águas superficiais e/ou subterrâneas.

¹ Solução obtida no laboratório durante o ensaio de lixiviação

1.3 Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos

Nos últimos tempos, a gestão de resíduos passou a constituir uma das maiores preocupações da Sociedade, transformando-se num assunto com especial atenção por parte das entidades locais e governamentais competentes.

A Agenda 21, objecto de um acordo celebrado entre as nações participantes da Conferência das Nações Unidas para o Ambiente e Desenvolvimento, realizado no Rio de Janeiro em 1992, sublinhou que a redução, a maximização da reutilização e reciclagem devem constituir as primeiras fases da gestão de resíduos.

Esta Agenda acentua também a atribuição de uma maior prioridade à investigação, desenvolvimento, transferência tecnológica e educação pública, referindo igualmente a necessidade de realizar investimentos nos sectores público e privado com vista a atingir uma adequada gestão dos resíduos.

A Figura 1.1 caracteriza o fluxo de materiais de uma Sociedade. Este diagrama consiste num sistema fechado onde se verifica que não há consumo de produtos mas sim uma utilização, baseada numa entrada e saída de materiais, ou seja, em estado estacionário poderá dizer-se que os materiais injectados no processo são os mesmos que são rejeitados pelo mesmo. Nesta figura constam como opções de gestão de resíduos a deposição final, a recolha de material para produção de energia e a re-incorporação do produto no processo de fabrico. Verifica-se que, o início do ciclo é caracterizado pela utilização de vários tipos de materiais: as matérias primas, os produtos secundários resultantes da ineficiência do processo de fabrico e os materiais provenientes do uso doméstico, para recuperação ou reciclagem [1].

Numa abordagem geral, pode afirmar-se que a gestão de resíduos consiste na utilização de um conjunto de regras e aplicações tecnológicas associadas às fases de produção, recolha, transferência, transporte, armazenamento, controlo, valorização e eliminação dos resíduos sólidos.

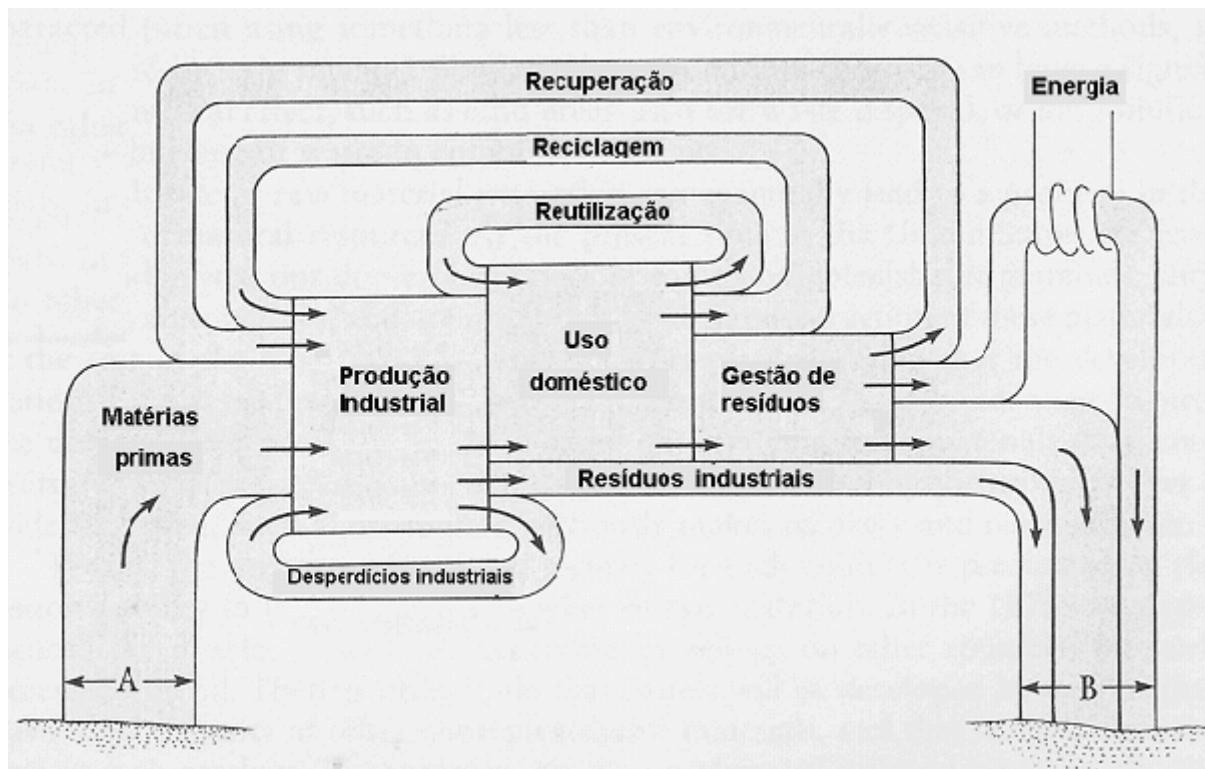


Figura 1.1 Fluxo de materiais de uma Sociedade [1]

É fácil pensar na gestão de resíduos como uma redução na fonte, através da diminuição das matérias-primas envolvidas nos processos fabris e no aumento da recuperação e reciclagem dos resíduos. No entanto, estas regras dificilmente poderiam ser aplicadas, uma vez que dependem de factores económico-financeiros, administrativos, legais, sociais, entre outros, o que implica a realização de uma análise mais complexa destes aspectos antes de tomar qualquer tipo de decisão em matéria de gestão de resíduos.

Os parâmetros que intervêm mais directamente na resolução de problemas de gestão de resíduos são:

- quantidades produzidas;
- densidade;
- composição qualitativa;
- taxa de variação da produção.

Por outro lado, a produção de resíduos depende de variados factores, como o nível de vida e hábitos da população, o clima e estação do ano, a comercialização e utilização de novas metodologias de embalagem, o tipo de aglomeração populacional, características socio-económicas e a eficiência dos sistemas de recolha.

A adopção de sistemas integrados de gestão, com a redução, reutilização, reciclagem, compostagem, incineração com aproveitamento energético, entre outros, permite delinear soluções diferenciadas de acordo com as características dos resíduos. Como tal, é imprescindível realizar um programa ou plano de gestão de resíduos, tendo em conta as respectivas soluções de tratamento, valorização e destino final.

A formulação de tal programa deve considerar soluções diferentes consoante as características dos resíduos a gerir, bem como as disponibilidades tecnológicas e económico-financeiras existentes. É igualmente de salientar que um dos principais factores para a gestão de resíduos é a intervenção da população, através da sua participação activa na defesa do ambiente.

Actualmente, a gestão de resíduos é ainda um assunto muito complexo cuja problemática envolve os seguintes pressupostos [3]:

- aumento da taxa de produção de resíduos *per capita* e diminuição dos locais de possível eliminação;
- disfunções e riscos ambientais associados aos tecnossistemas de gestão, cujas medidas de prevenção e minimização representam elevados custos;
- dificuldades inerentes a mudanças de filosofia e de estrutura dos sistemas de gestão de resíduos;
- necessidade de obtenção de consensos e envolvimento dos vários agentes nos processos de participação em planos de gestão de resíduos urbanos;
- dificuldades na aplicação de medidas complementares efectivas que incutam comportamentos eficientes de conservação dos recursos, redução e valorização dos resíduos, por parte dos agentes económicos e dos consumidores.

A estratégia da União Europeia defende uma hierarquia de princípios que incentiva a redução, reutilização, valorização e a deposição final em último lugar.

Como exemplo, é apresentado na Figura 1.2 a hierarquia da gestão de resíduos nos Estados Unidos da América.

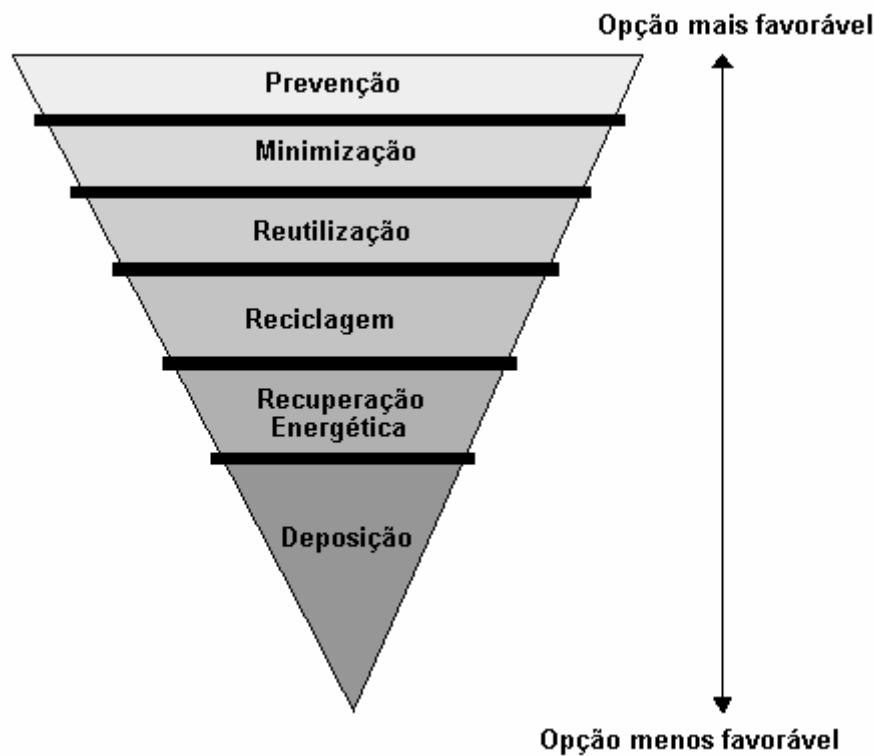


Figura 1.2 Hierarquia de gestão de resíduos nos EUA [4]

2 Legislação Ambiental Aplicável aos Resíduos Urbanos

A criação de instrumentos legais que permitem proceder ao estabelecimento efectivo de regras na gestão de resíduos tem sido cada vez mais utilizada.

A legislação ambiental em Portugal é um pouco ambígua, mas têm sido efectuados esforços no sentido de abranger as situações de maior carência ambiental. Esta apresenta-se de uma forma dispersa e extensa, dificultando por vezes a sua consulta, além de que pode, em diversos casos, adquirir interpretações secundárias sobre um determinado ponto de vista. De uma forma geral, pode ser considerada como abrangente, encontrando-se em permanente actualização.

No Anexo A são apresentadas as Portarias, Decretos-Lei, Directivas e Decisões Comunitárias que mais se destacam na imposição de regras de gestão de resíduos no âmbito dos RSU, apresentada segundo os temas principais [5].

2.1 Plano Estratégico dos RSU

O Plano Estratégico dos Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU) [6] foi aprovado pelo Governo português a 13 de Novembro de 1997 (tendo em consideração as análises a que foi sujeito pelo Conselho de Acompanhamento, em Dezembro de 1998 e Janeiro de 1999) e constitui um elemento importante para o planeamento e tomada de decisões nesta área. O seu objectivo foi fornecer aos responsáveis políticos um conjunto de sugestões que apoiassem a tomada de decisões mais correctas na gestão de RSU.

As linhas de acção principais deste documento foram as seguintes:

- dotar o país de infra-estruturas adequadas para a gestão de resíduos urbanos;
- iniciar o programa de recolha selectiva;
- encerrar as lixeiras municipais existentes.

O PERSU surge no contexto da Directiva Quadro dos Resíduos (Directiva n.º 75/442/CEE, do Conselho, de 15 de Julho) que preconiza a elaboração de um ou mais planos de gestão de resíduos, os quais deveriam apresentar como objectivos prioritários o cumprimento de estratégias relativas à prevenção e valorização, o respeito pela saúde e pelo ambiente, incluindo a proibição ao abandono, descarga em lixeiras e outros destinos

finais não controlados, estabelecendo uma rede integrada e adequada de unidades de tratamento e destino final.

De uma forma geral, o estudo efectuado no âmbito do PERSU permitiu retratar a gestão de resíduos em Portugal, no ano de 1995, realizando um diagnóstico da situação, defendendo a erradicação das lixeiras e apontando como princípios fundamentais a criação de sistemas adequados de gestão de RSU e o alcance dos seguintes objectivos e metas [6]:

- prevenção, através da diminuição da taxa de crescimento de RSU;
- valorização, adoptando 20% de reciclagem, 15% de compostagem e 30% de incineração com recuperação de energia;
- eliminação até 35% para deposição em aterro.

A gestão estratégica proposta pelo PERSU assenta num modelo económico, no qual devem ser suportados por aplicação de taxas os custos de recolha, transporte, tratamento e destino final, penalizando as opções de fim de linha. Por outro lado, os ganhos relacionados com a valorização de resíduos foram considerados como factores secundários positivos do sistema de gestão.

Em 1996, a gestão dos resíduos sólidos urbanos baseava-se na distribuição de 275 sistemas existentes nos municípios que procediam à deposição dos resíduos em mais de 300 lixeiras, que prejudicavam a paisagem e o solo, constituindo veículos de proliferação de doenças para a população circundante.

A excepção a este cenário consistia em 13 locais onde era efectuada a deposição controlada e 5 unidades de valorização orgânica, encontrando-se a maior parte em péssimo estado de exploração. Pode destacar-se a existência de algumas iniciativas de recolha selectiva, caracterizada pela implantação de vidrões e papelões, bem como a construção de uma estação de triagem de materiais e de unidades de reciclagem, o que permitia apontar um encaminhamento de cerca de 26% dos RSU para um destino final aceitável. A previsão anual do crescimento na produção de RSU estimava-se em 3%, pelo que era imprevisível actuar drasticamente de modo a inverter o alcance previsível de um panorama tão degradante.

O PERSU preconizava um nível de atendimento da população com recolha de 98%, sendo que apenas 46% da população se encontrava servida por sistemas de tratamento de resíduos. No entanto, uma avaliação mais rigorosa permitiu verificar que esse valor era de apenas 23% [7].

As falhas mais significativas até então identificadas consistiam em:

- desconfiança da população na aplicação de novas soluções técnicas;

- ausência de aplicação de taxas relativas ao serviço de recolha e tratamento de resíduos;
- carência de educação e sensibilização ambiental;
- ausência de legislação;
- regulação do sistema de gestão de RSU.

Face a este panorama foram definidas bases estratégicas para horizontes temporais de curto e médio prazo (2000 e 2005). Este plano permitiu realizar a tomada de decisões rápidas por forma a inverter o sentido de degradação em que o País se encontrava.

Foram hierarquizadas as prioridades estratégicas em matéria de gestão de resíduos que consistiu em prevenção, tratamento, sensibilização/educação, reciclagem, exploração e monitorização, para as quais foram definidas metas por tecnologia utilizada segundo os horizontes estabelecidos, conforme pode ser visualizado na Figura 2.1.

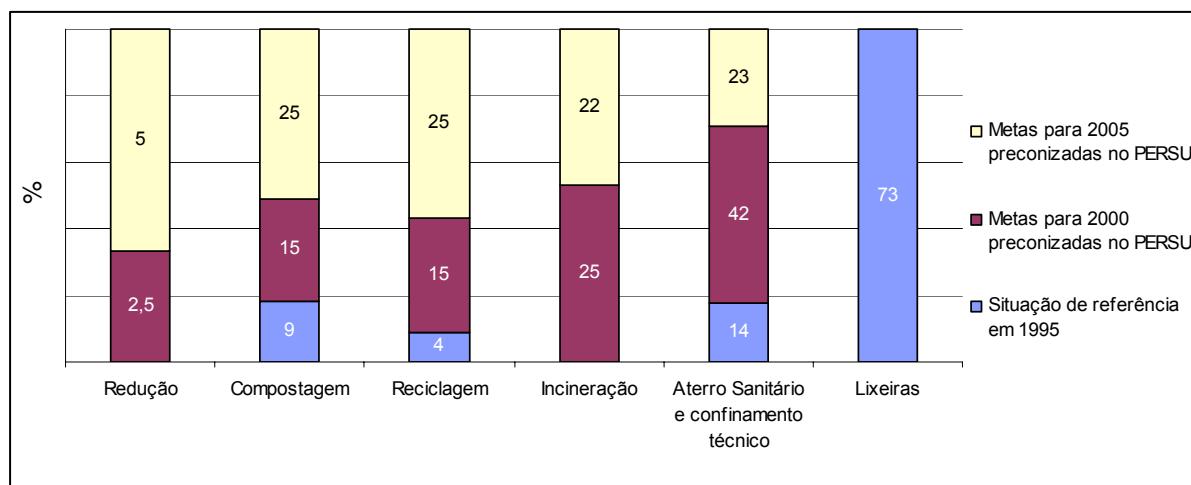


Figura 2.1 Quantificação das metas segundo os horizontes temporais estabelecidos [7]

Com base nesta figura, há que evidenciar o facto do PERSU pressupor a redução de 2,5% dos RSU em 2000, colocando a possibilidade de atingir os 5% em 2005. Para 2005 foi previsto o tratamento de cerca de 25% dos RSU produzidos por cada tecnologia, como a valorização orgânica, reciclagem multmaterial, valorização energética e confinamento técnico.

Neste plano, a deposição em aterros foi considerada como uma solução de último recurso, podendo ser utilizada em situações de paragem de funcionamento das unidades de tratamento existentes a montante, bem como para a deposição de refugos não valorizáveis resultantes das unidades de tratamento.

2.2 Directiva Embalagens e Resíduos de Embalagens

A Directiva n.º 94/62/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 20 de Dezembro de 1994, relativa a embalagens e resíduos de embalagens, foi transposta para o Direito Nacional através do Decreto-Lei n.º 366-A/97, de 20 de Dezembro, do Decreto-Lei n.º 407/98, de 21 de Dezembro e da Portaria n.º 29-B/98, de 5 de Janeiro [5]. Esta legislação permite adoptar uma política integrada de gestão de resíduos de embalagens através da aplicação de medidas preventivas que visem a minimização do seu peso e volume e o aumento do seu potencial de reutilização e valorização.

A legislação nacional apresenta como sistemas de gestão e destino final das embalagens e resíduos o Sistema Integrado (aplicável apenas a embalagens não-reutilizáveis) e o Sistema de Consignação (aplicável às embalagens reutilizáveis e não-reutilizáveis), sendo este conceito alargado, em alguns países, a outros fluxos de resíduos (como pilhas, baterias, pneus, veículos e electrodomésticos).

Este tipo de valorização encontra-se directamente dependente dos produtores de RSU que separaram os resíduos por tipo de material nas suas habitações ou instalações comerciais, para depositarem posteriormente nos equipamentos disponibilizados pelas entidades responsáveis pela recolha municipal.

Estes documentos legais estipulam como objectivo a valorização de 50% em peso dos resíduos de embalagens não-reutilizáveis e o cumprimento da reciclagem de resíduos de embalagem para 2005 de cerca de 25%, com um objectivo mínimo de reciclagem por material de 15%.

As metas de valorização e reciclagem de embalagens usadas para 2001 e 2005 foram delineadas pela Directiva n.º 94/62/CE, traduzidas pela informação apresentada na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 Metas para a valorização e reciclagem de embalagens e resíduos de embalagens

Metas até 31 de Dezembro de 2001	Metas até 31 de Dezembro de 2005
- Valorização de um mínimo de 25% em peso dos resíduos de embalagens	- Valorização de 50% em peso dos resíduos de embalagens não-reutilizáveis colocados anualmente no mercado nacional; - Reciclagem de um mínimo de 25% em peso do total dos materiais de embalagens contidos nos resíduos de embalagens; - Reciclagem de um mínimo de 15% para cada material de embalagem.

Actualmente, podem encontrar-se trabalhos de revisão desta Directiva, como o que é apresentado na Posição Comum (CE) n.º 18/2003, adoptada pelo Conselho em 6 de Março de 2003, que fixa para Portugal um objectivo mínimo de reciclagem de resíduos de embalagem de papel e cartão da ordem de 60%, a atingir em 2012.

Já existem propostas concretas de revisão a esta directiva e sabe-se, por exemplo, que a Comissão Europeia e o Parlamento Europeu estabeleceram novas metas de valorização e reciclagem para 2008 e 2011 numa nova Directiva a publicar no primeiro semestre de 2004. Esta directiva prevê um mínimo de valorização de 60%, não impondo limites máximos de valorização e um mínimo de reciclagem de 55%, impondo um máximo de 80%. A meta de reciclagem a estabelecer por material consiste em [8]:

- 60% para o vidro;
- 60% para o papel/cartão;
- 50% para os metais;
- 22,5% para os plásticos;
- 15% para a madeira.

Neste momento, encontra-se também em preparação pela Comissão Europeia, a Estratégia temática sobre Prevenção e Reciclagem de Resíduos, que permitirá adoptar instrumentos de planeamento associado à prevenção de RSU e à promoção da reciclagem.

Por outro lado, é de acrescentar que, salvo algumas excepções, a Portaria n.º 29-B/98, de 15 de Janeiro, em vigor a partir de 1 de Janeiro de 1999, obriga os estabelecimentos de hotelaria, restauração e bebidas a comercializar bebidas refrigerantes, cervejas e águas minerais naturais, de nascente ou outras águas embaladas destinadas a consumo no estabelecimento, se acondicionadas em embalagens reutilizáveis, ou seja, embaladas com tara recuperável. No entanto, para auxiliar os estabelecimentos no cumprimento da legislação foi criado, pela Sociedade Ponto Verde (SPV), o Sistema Verdoreca que permite possibilitar a venda destes produtos em embalagens não-reutilizáveis (de tara perdida), desde que estas sejam encaminhadas para um sistema de recolha selectiva que garanta a reciclagem dos resíduos em que aquelas embalagens se tornam após consumo [8].

2.3 Directiva 1999/31/CE

O Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, transpõe para o Direito Interno a Directiva 1999/31/CE do Conselho, de 26 de Abril, relativa à deposição de resíduos em aterros e estabelece a necessidade de definição de uma estratégia que permita efectuar a redução de Resíduos Urbanos Biodegradáveis (RUB) destinados a aterros, impondo metas a alcançar para os anos de 2006, 2009 e 2016.

Segundo este documento, é permitido depositar em aterro as seguintes quantidades de RUB:

- No ano de 2006 é admissível depositar em aterro até 75% da quantidade de RUB produzidos em 1995;
- No ano de 2009 é admissível depositar em aterro até 50% da quantidade de RUB produzidos em 1995;
- No ano de 2016 é admissível depositar em aterro até 35% da quantidade de RUB produzidos em 1995.

Para a determinação da quantidade de resíduos a depositar em aterro, é importante salientar que, em Portugal, no ano de referência desta directiva, houve uma produção de cerca de 3884000 toneladas de RSU, dos quais 2252720 toneladas de RUB.

Esta Directiva foi elaborada com o objectivo de prever medidas, processos e orientações que evitem ou reduzem os efeitos negativos sobre o ambiente, tendo em consideração a protecção da saúde humana. A Directiva foca a necessidade de prestar maior atenção às questões de valorização orgânica, pelo que aconselha os Estados Membros a elaborar um documento estratégico nacional para a redução de resíduos biodegradáveis.

A mesma Directiva impõe como objectivos a garantir para a deposição em aterro:

- redução dos efeitos cumulativos provocados pelos materiais orgânicos biodegradáveis;
- redução de materiais por reciclagem ou valorização;
- imposição de regras rigorosas de licenciamento jurídico, de operação e manutenção técnicas durante a fase de exploração e pós-encerramento.

Estabelece também um conjunto de condições gerais para todas as classes de aterros como a localização, o controlo das águas, gestão de lixiviados, a protecção dos solos e águas, o controlo dos gases, a estabilidade e a construção de barreiras para

protecção nos aterros. Por outro lado, apresenta um conjunto de critérios e processos de admissão de resíduos, bem como processos de acompanhamento e controlo nas fases de exploração após o encerramento.

2.4 Estratégia Nacional para a Redução dos Resíduos Biodegradáveis destinados a Aterros

Este documento, elaborado a 8 de Julho de 2003 pelo Instituto dos Resíduos, enquadra-se na Estratégia Comunitária preconizada pela Directiva Aterros. Tem como objectivo fundamental o cumprimento da Directiva, considerando uma gestão sustentada dos RSU [9].

Nesta estratégia privilegiou-se o seguinte:

- valorização da matéria orgânica;
- responsabilização em atingir as metas estipuladas na Directiva Aterros e na legislação nacional (Decreto-Lei n.º 152/2002), solicitando a apresentação pelas autoridades competentes de programas de gestão que evidenciem as medidas a desenvolver e o cronograma correspondente;
- novo sistema económico que incentive a recolha selectiva e a minimização da deposição de resíduos em aterro;
- promoção de acções de sensibilização junto da população.

A fracção de resíduos biodegradáveis presentes nos RSU é elevada, atingindo valores na ordem dos 60%. A deposição deste tipo de resíduos em aterro implica a resolução de questões como a produção de odores, produção de gases com efeito de estufa, risco de explosão, produção de lixiviados com uma elevada carga orgânica, ocupação de espaços e risco de ocorrência de assentamentos.

Os RUB, entre estes os resíduos verdes, os resíduos alimentares, o papel e o cartão, são resíduos urbanos que podem ser sujeitos a decomposição anaeróbia ou aeróbia.

Quando a recolha de RSU é indiferenciada, a percentagem de refugos a enviar para aterro é elevada, o que torna a eficiência das unidades de valorização orgânica relativamente baixa.

Em Portugal encontram-se em funcionamento cerca de seis unidades de valorização orgânica de RSU por compostagem, nas quais os resíduos tratados provêm normalmente da recolha indiferenciada de RSU. Estas unidades possuem uma capacidade total de tratamento de cerca de 400000 toneladas por ano.

Num futuro próximo, prevê-se a entrada em funcionamento de duas estações de compostagem e uma central de digestão anaeróbia para resíduos recolhidos selectivamente, o que perfaz um total de nove estações de valorização orgânica com uma capacidade total de tratamento de aproximadamente 500000 toneladas por ano.

Por outro lado, estima-se a construção de treze novas unidades de valorização orgânica e a ampliação de duas unidades, de modo a perfazer, em 2016, uma capacidade de tratamento de 860960 toneladas de RUB por ano.

Actualmente existem em Portugal duas centrais de incineração de RSU, com capacidade para 1060000 toneladas por ano, com produção de energia eléctrica de cerca de 590000 MWh/ano [9].

Encontra-se também instalada na região Autónoma da Madeira (Santa Cruz) uma central de incineração com capacidade de 126000 toneladas por ano, com uma produção de 60000 MWh/ano. Todas as unidades existentes apresentam um desempenho adequado, dispondo de elevados padrões de controlo da poluição, bem como programas abrangentes de monitorização ambiental.

Para o cumprimento do disposto na Estratégia Nacional para Redução de RUB com destino a Aterros, prevê-se a necessidade de construir uma nova unidade de incineração no Sistema Multimunicipal do Litoral Centro, com uma capacidade de tratamento de 400000 toneladas por ano, bem como a possibilidade de ampliação das unidades existentes [9].

Como acções a desenvolver, o documento apresenta os seguintes pressupostos [9]:

- associação/reorganização de tecnossistemas de modo a optimizar a gestão de resíduos, minimizando a dispersão de unidades de tratamento e garantindo a sua sustentabilidade económico-financeira;
- possibilidade de haver sistemas que funcionem como utilizadores de capacidades excedentárias de tratamento de outros sistemas;
- adopção de parcerias entre os sectores público e privado para a gestão de RSU;
- adopção sempre que possível de sistemas integrados de tratamento de RUB de forma a minimizar a quantidade enviada para aterros;

- optimização dos processos de tratamento recorrendo às Melhores Tecnologias Disponíveis (MTD);
- garantia de um adequado funcionamento das unidades;
- apostar em soluções flexíveis com o objectivo de minimizar o risco de ruptura de componentes e linhas de tratamento;
- introdução de objectivos de recolha selectiva de resíduos alimentares e de jardim;
- identificação e avaliação do destino e mercado dos produtos e materiais resultantes do tratamento adoptado.

As áreas de actuação desta estratégia de redução de RUB são as seguintes [9]:

- Valorização orgânica de RUB;
- Criação de incentivos à redução dos RUB destinados aos sistemas centrais de tratamento (tipo “compostagem no quintal”);
- Implementação de sistemas de recolha selectiva de RUB;
- Reforço da capacidade de valorização orgânica;
- Obtenção de um composto de qualidade;
- Incineração de RUB;
- Reforço da capacidade de incineração;
- Recurso a tecnologias emergentes;
- Reforço da recolha selectiva e reciclagem de papel e cartão;
- Criação de instrumentos jurídicos, económicos e financeiros;
- Execução de acções de sensibilização ambiental;
- Fomento das actividades de informação, investigação e desenvolvimento.

No futuro prevê-se que a valorização dos resíduos biodegradáveis permitirá [9]:

- diminuir a reactividade e o tempo de estabilização dos aterros;
- enriquecer os solos carentes de matéria orgânica;

- minimizar as emissões de biogás para a atmosfera.

3 Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos

A gestão de RSU tem sido matéria para a realização de várias alterações tecnológicas, sociais e económicas ao longo dos anos, de acordo com os diferentes tipos e níveis de exposição dos resíduos no meio envolvente.

Um dos maiores problemas para a uniformização de práticas estratégicas de gestão de resíduos baseia-se na variação da sua composição, pelo que não existe uma receita que permita resolver directamente a problemática da produção e gestão dos resíduos.

A Resolução n.º 97/C76/01 do Conselho Europeu, de 24 de Fevereiro, relativa à estratégia comunitária de gestão de resíduos apresenta a seguinte hierarquia de princípios aplicáveis à sua gestão:

- prevenção;
- recuperação;
- eliminação.

Assim, de uma forma geral, para uma política de gestão integrada de resíduos podem ser adoptadas as seguintes considerações:

- identificação das situações mais críticas e definição e implementação de medidas;
- estabelecimento de estratégias bem definidas;
- criação de instrumentos legais e financeiros;
- mobilização de meios e sensibilização dos agentes intervenientes.

É também de referenciar que uma correcta política de gestão de resíduos deve ser baseada em:

- responsabilização das entidades produtoras de resíduos;
- prioridade de redução da produção, seguida de valorização;
- eliminação correcta dos resíduos que não possuam qualquer possibilidade de valorização;

- sensibilização dos intervenientes na produção de resíduos para alterações comportamentais;
- aplicação do princípio do poluidor-pagador;
- co-responsabilização dos intervenientes no ciclo de produção dos resíduos;
- incentivo ao uso das melhores tecnologias de produção e tratamento, bem como a introdução de elevados níveis de qualidade nas instalações industriais;
- avaliação e acompanhamento contínuo da gestão de resíduos.

3.1 Tipos de Materiais Envolvidos

Os resíduos sólidos urbanos são constituídos por uma diversidade de materiais que lhes conferem características que permitem diferenciá-los dos restantes. No seu estado original ou compactado, apresentam algumas propriedades que tornam o seu processamento e confinamento perigoso e difícil. É pois necessário conhecer previamente as propriedades que um determinado resíduo apresenta, de forma a poder estudar qual a melhor metodologia e tecnologia aplicável ao seu tratamento.

As unidades de valorização e eliminação de resíduos devem estar preparadas para receber a maior parte dos resíduos sólidos. Alguns tipos de resíduos são facilmente processados, mas ocasionalmente existem materiais que pelas suas características são difíceis e/ou perigosos de tratar. Neste sentido, as operações de processamento de resíduos sólidos devem possuir elevados graus de segurança e devem ser projectadas considerando a ocorrência de contingências extraordinárias.

3.1.1 *Propriedades Físicas*

As propriedades físicas mais importantes que devem ser consideradas nos resíduos sólidos urbanos são as seguintes [10]:

- massa específica: caracterizada pela quantidade mássica do material por unidade de volume (kg/m^3);

- teor de humidade: obtido através da diferença entre o peso da amostra intacta e da amostra desidratada numa estufa a 105 °C (expresso em %);
- capacidade de retenção de água: capacidade de reter a água absorvida sem descarregar para o solo por acção da gravidade. A obtenção de um valor superior significará que a água percolada irá constituir lixiviado. Este valor varia com a pressão aplicada e o estado de decomposição do resíduo;
- tamanho e distribuição das partículas: em média as dimensões nos RSU variam entre 15-25 cm;
- permeabilidade dos resíduos quando compactados: característica que permite determinar o movimento dos fluidos em aterro.

As características que devem ser consideradas são as seguintes:

- tamanho da partícula;
- densidade;
- ângulo de repouso;
- desgaste do material;
- teor de humidade.

A transferência de humidade entre os materiais que compõem os resíduos, tem lugar no contentor de resíduos e no veículo de transporte, podendo variar consoante o tempo, o material que compõe o resíduo e as condições atmosféricas.

A análise da distribuição do tamanho das partículas é importante para a determinação do encaminhamento dos resíduos produzidos numa região. Essa distribuição pode variar muito de local para local, uma vez que os resíduos urbanos são os piores materiais no que respeita à realização de análises de distribuição de tamanhos.

Os RSU apresentam uma densidade muito variável consoante a pressão exercida, podendo variar de 9-150 kg/m³ para um resíduo colocado num contentor pelo seu produtor de resíduos a 700-1000 kg/m³ quando compactado por equipamento próprio e depositado em aterro [3,10].

As propriedades mecânicas são importantes na avaliação da energia necessária para reduzir o volume de um resíduo. Para isso, devem ser analisadas curvas que relacionem a energia aplicada com a percentagem de redução de volume, podendo ser verificado, para a

maior parte dos casos, uma linearidade, indicando que uma redução substancial do volume é alcançada com uma elevada energia de compactação.

3.1.2 Propriedades Químicas

As propriedades químicas de um resíduo permitem determinar a capacidade de queima, biodegradação, o conteúdo energético e a capacidade de incorporação em outros materiais. As propriedades químicas mais importantes para análise num resíduo são as seguintes:

- teor de humidade;
- matéria volátil;
- matéria combustível volátil;
- teor de carbono fixo, oxigénio, hidrogénio, azoto e enxofre;
- teor de cinzas.

O conhecimento da composição química de um resíduo é importante para a avaliação económica da recuperação do mesmo. O uso de resíduos sólidos como combustíveis implica a realização das seguintes análises [10]:

- aproximada, que permite definir a formação de Compostos Orgânicos Voláteis (COV) e o carbono;
- final, que é baseada na composição elementar do resíduo (determinação do teor de carbono, hidrogénio, oxigénio, azoto, enxofre e cinzas);
- ponto de fusão das cinzas;
- conteúdo energético;

A capacidade calorífica permite determinar a aplicabilidade de um resíduo em unidades de recuperação energética.

3.1.3 *Propriedades Biológicas*

A característica mais importante dos materiais orgânicos presentes nos RSU é a capacidade de conversão em gases, sólidos orgânicos e inorgânicos inertes. Excluindo os plásticos, as borrachas e outros componentes, a fracção orgânica dos RSU pode ser classificada como contendo constituintes solúveis em água (como aminoácidos e vários ácidos orgânicos), hemicelulose, celulose, óleos, gorduras, lenhina e proteínas. Neste sentido, as principais propriedades biológicas dos resíduos são [10]:

- biodegradabilidade dos componentes orgânicos;
- produção de odores;
- aptidão para insectos.

3.2 Aplicação da Política dos 3R

A política dos 3R baseia-se na gestão de resíduos segundo a aplicação da Redução, Reutilização e Reciclagem. No entanto, actualmente, já se referencia a aplicação da política dos 4R, ou seja, Redução, Reutilização, Reciclagem e Recuperação Energética; e, mesmo 5R, quando se inclui também a Remediação de contaminações causadas por má gestão passada de resíduos.

Como prioridade de qualquer política de gestão, deve ser considerada a sua actuação ao nível da minimização e redução na produção de resíduos na fonte, por forma a evitar consequências nefastas para o ambiente.

Com base nesta perspectiva, pode considerar-se a prevenção como uma acção prioritária que visa minimizar a quantidade e/ou perigosidade dos resíduos produzidos, pelo que devem ser adoptadas políticas de redução ou minimização da produção dos RSU.

A redução na fonte consiste basicamente na redução em quantidade de resíduos produzidos e de poluentes no local onde estes são gerados, antes de entrarem no sistema de recolha.

É de salientar que este conceito é aplicável aos produtores e aos consumidores, ou seja, os produtores têm a responsabilidade de minimizar a produção de resíduos dos produtos consumidos enquanto que, como consumidores, devem adoptar padrões de

aquisição de produtos mais ecológicos, numa tentativa de educar o mercado da produção desses produtos.

A redução na fonte pode ser realizada tendo em conta os seguintes pressupostos:

- eliminação ou minimização da utilização de materiais poluentes nas matérias-primas aplicadas;
- substituição dos produtos por outros mais ecológicos;
- alteração do processo industrial e do método de fabrico dos materiais, através da utilização de novas tecnologias menos poluentes;
- diminuição da quantidade de embalagens produzidas, através da sua retoma e reutilização.

Nas unidades industriais, as alterações podem ser baseadas na substituição das matérias-primas utilizadas por outras mais ecológicas. Tal pode ser conseguido através de investigação e desenvolvimento sobre os materiais disponíveis ou através da utilização das Melhores Tecnologias Disponíveis (MTD) que permitam melhorar a qualidade dos produtos e do processo industrial bem como torná-lo ambientalmente rentável. Este objectivo é a essência da edição de BREF, documentos de referência sobre as melhores tecnologias disponíveis para diversos sectores de actividade [11].

Quaisquer destas acções implicam a alteração de procedimentos e métodos de trabalho, como a formação do pessoal envolvido, uma opção que requer investimentos em equipamentos e unidades de investigação, valores que podem ser recuperados no futuro através da diminuição de custos de operação, alterações de consumo e/ou redução de embalagens consumidas. Este último objectivo pode ser atingido à partida através da responsabilização dos seus produtores em dar uma solução adequada às mesmas.

3.3 Recolha dos Resíduos

Uma vez produzidos, os resíduos necessitam de ser depositados, recolhidos e transportados para locais onde se possa efectuar o seu processamento.

A operação de recolha baseia-se na transferência dos resíduos, colocados ou não em recipientes próprios, dos seus locais de produção, através do recurso a pessoal e/ou equipamento adequado, para as viaturas de transporte.

Normalmente, um sistema de recolha envolve a deposição e a recolha dos resíduos. Este sistema adquire uma grande importância na gestão dos RSU, uma vez que é a componente mais dispendiosa dos sistemas de gestão, representando cerca de 40 a 70 % dos custos totais. Para além disso, comprehende uma relação mais directa entre o sistema de gestão e a população, possui uma forte complexidade técnica, económica, social e ambiental, é vulnerável às atitudes comportamentais da população abrangida e aos conflitos que possam existir entre operadores. Tem também consequências na eficiência dos processos de valorização e tratamento subsequentes.

O processo de recolha de resíduos deve ser encarado como um processo multifaseado, sendo possível definir cinco fases separadas [1]:

- Transferência da habitação para o contentor, pelo detentor;
- Transferência do contentor para o veículo de recolha, pelo pessoal contratado para remoção de RSU;
- Recolha em todas as habitações;
- Percurso de recolha;
- Transporte final para o local de processamento previamente seleccionado.

A aplicação de políticas de gestão na primeira fase é difícil para as autoridades competentes, devido a esta ser da responsabilidade directa do produtor de RSU. Algumas das medidas que têm vindo a ser adoptadas residem na aplicação de taxas sobre a produção de RSU. No entanto, estas medidas não têm sido muito eficientes em locais onde é aplicada a mesma taxa independentemente da quantidade de resíduos produzidos, pelo que é aconselhável efectuar uma taxação dependente do volume de RSU gerado. A Agência Ambiental dos EUA (EPA) refere uma redução de 25 a 35% de RSU para estes casos de aplicação de taxas consoante o volume produzido.

A segunda fase é caracterizada pela movimentação dos resíduos do contentor para o veículo de recolha. Anteriormente este processo era muito perigoso, devido ao contacto directo dos operadores com os resíduos colocados nos contentores, o que tornava o

processo de recolha ainda mais dispendioso. Actualmente esta situação é evitada através do recurso a veículos de recolha com elevação hidráulica do contentor para esvaziamento na viatura. Desta forma, os operadores não entram em contacto directo com o conteúdo do contentor, diminuindo o risco de contacto com o material perigoso. Existem veículos equipados com braços hidráulicos de elevação lateral que permitem alcançar contentores dispostos em passagens estreitas, reduzindo a necessidade de transporte do local onde estão situados pelo pessoal de recolha. Este tipo de veículos permitem reduzir as despesas associadas a esta operação em aproximadamente 50%.

Para além da utilização de contentores para a deposição dos RSU produzidos nas habitações, a população tem recorrido ao uso de sacos de plástico para o confinamento dos resíduos.

Depois de colocado o resíduo no veículo, este é compactado e o veículo desloca-se de habitação em habitação. Quanto maior for a taxa de compactação, maior a quantidade de resíduos que podem ser incorporados no veículo de recolha antes deste se deslocar para o local de deposição. O número de pessoas na recolha pode variar entre 1 a 5, por viatura, dependendo do sistema de remoção adoptado, sendo normalmente usados um motorista e dois cantoneiros. Existem algumas expressões que permitem calcular o tempo de recolha num dia de trabalho, bem como o número de veículos necessários para esta operação.

A quarta fase consiste na determinação do melhor percurso através do recurso à optimização de algumas variáveis como os aspectos económicos. Para determinação das melhores estratégias de recolha e determinação do percurso óptimo é usual aplicar métodos heurísticos, os quais geralmente se baseiam nos seguintes pressupostos [10]:

- o percurso não deve ser sobreposto, devendo ser compacto e não fragmentado;
- o ponto de recolha inicial deve ser o mais próximo possível da garagem do veículo;
- as ruas com maior trânsito devem ser evitadas durante as “horas-de-ponta”;
- a recolha de resíduos em becos sem saída deve ser efectuada quando o veículo se encontra do lado direito da estrada;
- em regiões montanhosas a recolha deverá processar-se de cima para baixo;
- devem ser usadas, sempre que possível, mudanças de direcção no sentido dos ponteiros do relógio;

- os caminhos longos e estreitos devem ser escolhidos antes dos percursos a efectuar;
- para alguns padrões de blocos habitacionais devem ser seleccionados caminhos padronizados, como é apresentado na Figura 3.1;
- devem ser evitadas as inversões de marcha no percurso de vias de dois sentidos.

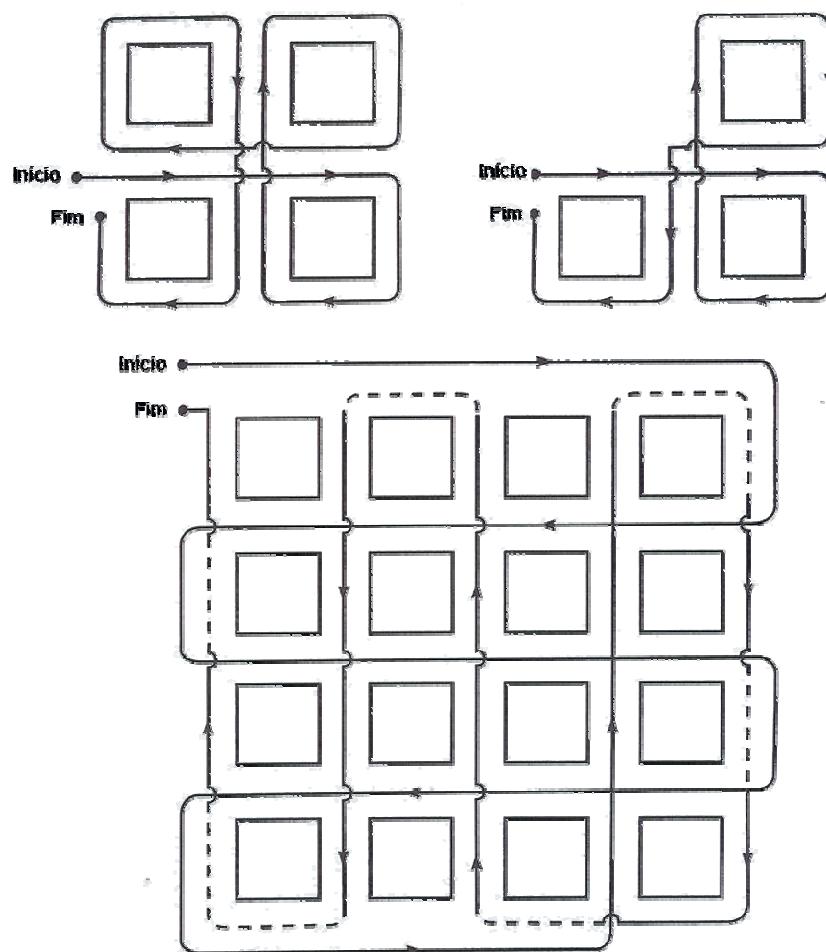


Figura 3.1 Percursos padronizados para os circuitos de recolha [1]

A Figura 3.2 apresenta um exemplo da aplicação destas regras a uma área mais alargada. No sentido de optimizar os percursos de recolha têm sido desenvolvidos programas computacionais, embora os resultados previstos não sejam os mais eficazes comparativamente com os escolhidos manualmente.

A quinta fase distingue-se pelo percurso que o veículo faz depois de recolher os resíduos até ao local de deposição destes (estações de transferência, estações de tratamento, valorização ou aterros) [1].

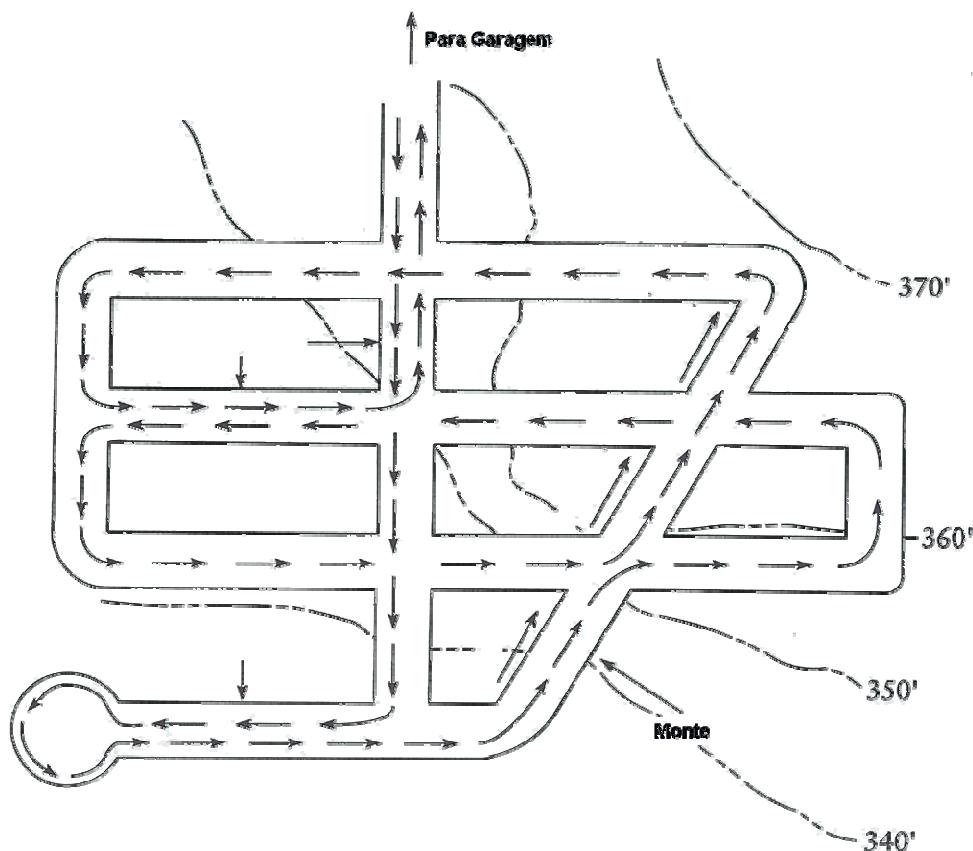


Figura 3.2 Exemplo de um trajecto para recolha de RSU [1]

Na recolha é necessário considerar o tipo de resíduos a recolher, o local de recolha, a entidade que os recolhe, a frequência e o horário em que são recolhidos. Há também que ter em conta o tipo de veículo de recolha, o pessoal necessário, custos de transporte e de transferência de resíduos. Os resíduos podem ser recolhidos indiferenciadamente ou selectivamente.

O objectivo primário do circuito de recolha é minimizar os tempos e distâncias dos circuitos, optimizando a utilização dos veículos e da mão-de-obra disponível.

A estratégia de aplicação de um sistema de recolha pode ser realizada através da avaliação de indicadores de produtividade e da optimização dos circuitos.

, Limpeza de Ruas

Os detritos depositados na via pública que não são colocados em contentores apropriados e simplesmente “atirados para o chão” por algumas pessoas representam uma pequena percentagem na produção de resíduos sólidos urbanos. Embora possa ser considerado como um impacte visual negativo, este apresenta também riscos para a saúde, sendo uma forma de escoar desnecessariamente os recursos económicos de um sistema.

A recolha deste tipo de detritos é de importância secundária para a Sociedade e a sua composição pode variar de local para local, assim como o método de recolha. A produção deste tipo de detritos é dependente de factores sensibilizadores, sociais e tecnológicos. Desta forma, será importante sensibilizar a população para não os produzir, retirar do mercado os produtos que originam estes resíduos ou multar as pessoas “apanhadas” nesta acção e encontrar uma solução técnica que simplifique a sua limpeza. Nos EUA, estudos realizados demonstraram que o pagamento de multas resultou na redução de 95% dos detritos presentes nas ruas. Outra forma de controlo e sensibilização comunitária passa pela limpeza das ruas por organizações voluntárias de centros populacionais, uma vez que qualquer pessoa que tenha contribuído para a limpeza de ruas durante um dia não irá atirar lixo pela janela do carro e criticará quem o fizer [1].

3.3.1 Recolha Indiferenciada

A indiferenciação dos resíduos implica a mistura dos resíduos no mesmo saco ou contentor e o posterior tratamento, valorização e eliminação, sendo que, devido à forte contaminação existente, a maior parte é encaminhada para aterro.

Os resíduos indiferenciados são recolhidos por um único veículo de recolha, segundo horários e circuitos pré-estabelecidos. A recolha pode ser efectuada porta-a-porta, colectivamente ou em locais centralizados.

A recolha indiferenciada permite efectuar um menor esforço por parte dos produtores e da entidade responsável pela recolha, baixando os custos desta operação. Por outro lado, eleva os custos necessários para a separação dos resíduos, sendo que, muitas vezes o grau de contaminação dos materiais é elevado, e, consequentemente, provoca um abaixamento do valor dos resíduos.

3.3.2 *Recolha Selectiva de Resíduos Sólidos Urbanos*

A aplicação de uma política de gestão adequada obriga à recolha dos resíduos em condições que permitam o seu posterior tratamento e valorização, dado que a mistura dos resíduos provoca a contaminação entre materiais, não podendo ser posteriormente aproveitados. Por esta razão é defendida a recolha selectiva, que consiste basicamente na separação voluntária na fonte dos RSU produzidos, através da colocação em diferentes recipientes, segundo um conjunto de regras de deposição, seguida de recolha utilizando um veículo compartimentado. Este tipo de recolha evita a possibilidade de contaminação dos materiais, maximizando a capacidade de reaproveitamento dos mesmos.

Em Portugal, foi adoptado o sistema de recolha trifluxo, ou seja, a recolha separada de papel/cartão, embalagens e vidro.

O sistema de recolha selectiva comprehende a colocação de contentores na proximidade de locais estratégicos, para a deposição de papel/cartão, embalagens de plástico e metais e vidro.

Existem sistemas implementados em alguns países que procedem à recolha de matéria orgânica, a qual deve ser feita cuidadosamente devido ao seu elevado potencial de degradação que pode originar odores e riscos de saúde pública.

A recolha selectiva pode ser realizada em simultâneo com a recolha indiferenciada, através da utilização do mesmo veículo compartimentado, ou em circuito separado da recolha indiferenciada, através da utilização de veículos diferentes.

Este tipo de recolha pode ser feito de duas formas distintas: a recolha selectiva de contentores que servem um conjunto de aglomerados populacionais ou a recolha selectiva porta-a-porta, através da recolha individual em cada habitação.

Existem sistemas de deposição colectiva que exigem dos produtores de RSU uma separação dos resíduos na origem e o transporte voluntário da habitação para o local onde podem ser depositados. Estes sistemas são seleccionados com base na densidade populacional e no tipo de equipamento.

Uma vez que este sistema exige a utilização de outro tipo de viaturas de recolha, e, consequentemente, de novos circuitos, tem sido imperativo proceder à sua optimização de forma a responder às necessidades de rejeição da população e ao aumento da eficácia económica dos sistemas.

Neste sentido, têm sido desenvolvidos programas computacionais de monitorização de redes de recolha, que compreendem a recolha e o tratamento da informação obtida.

Os dados utilizados como base da informação a obter reportam-se ao número de ecopontos e sua localização, viaturas de recolha (capacidade e tipologia), ao uso de possíveis vias urbanas, entre outros.

A recolha de dados é baseada na avaliação do estado de enchimento de um ecoponto, por pesagem ou medição do nível de enchimento com aparelhos ultrassónicos, no posicionamento das viaturas de recolha e possibilidade de efectuar o contacto directo com as mesmas quando necessário. Para além de obter uma imagem global do sistema, estes dados permitem determinar as zonas de maior ausência de recolha selectiva, onde é necessário reforçar as acções de sensibilização, reduzir os custos de recolha em situações de fraco enchimento dos contentores, optimizando o sistema de recolha. Para o efeito podem ser criados programas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) que permitem controlar, através da inclusão de mapas e dos dados recolhidos, o sistema de recolha de um conjunto populacional [7].

O sucesso de um programa de recolha selectiva pode ser medido de variadas formas, como as que são indicadas a seguir:

- fracção de resíduos desviados de aterro, em toneladas por semana;
- fracção de habitantes a participar no programa;
- lucros obtidos da venda de materiais recicláveis.

3.3.3 Equipamentos de Deposição

Os contentores são equipamentos que permitem efectuar a deposição temporária dos resíduos produzidos e o seu transporte para outro local.

A escolha de contentores para deposição e armazenamento com vista à sua posterior recolha deve ter em consideração a aplicação de variados factores, entre os quais se destacam:

- volume e características dos RSU (decomposição biológica, contaminação dos materiais);
- clima e aspectos geográficos da região;
- tipo de deposição (conjunta ou selectiva);
- capacidade de deposição;
- tipo de habitação ou urbanização e densidade populacional;

- hábitos comportamentais dos produtores de resíduos;
- recipientes de deposição a utilizar nas habitações;
- frequência de recolha;
- distância entre o local de recolha e a proximidade à unidade de tratamento, valorização ou eliminação;
- veículos e recursos humanos a utilizar na recolha;
- higiene e segurança dos produtores e operadores do sistema de recolha;
- recursos económico-financeiros disponíveis.

Os equipamentos de armazenamento mais comuns nas habitações são os sacos de papel ou plástico, caixas empilháveis para materiais recicláveis, baldes ou outro tipo de contentores de pequena dimensão. Por outro lado, poderão existir sistemas de transporte de resíduos do interior para o exterior das habitações até ao local onde são armazenados, conforme apresentado na Figura 3.3. Este tipo de transporte pode ser realizado por condutas verticais, conforme a Figura 3.4, que permitem a descida dos resíduos por gravidade e/ou sistemas pneumáticos, utilizados também no transporte horizontal dos RSU, para locais de recolha centralizados, como apresentado na Figura 3.5. O transporte pneumático é efectuado por pressão de ar ou vácuo, constituindo um sistema sofisticado e dispendioso.

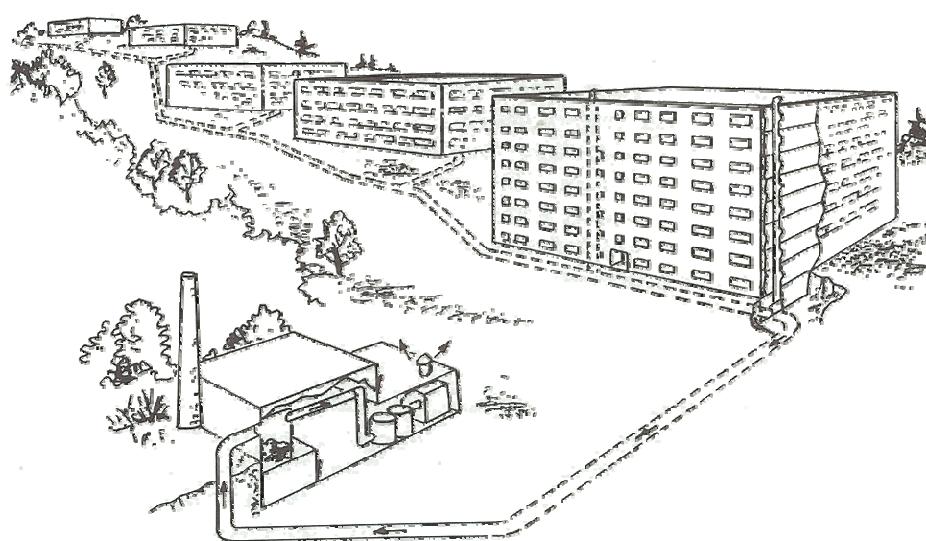


Figura 3.3 Exemplo do transporte de RSU das habitações para o local de processamento [12]

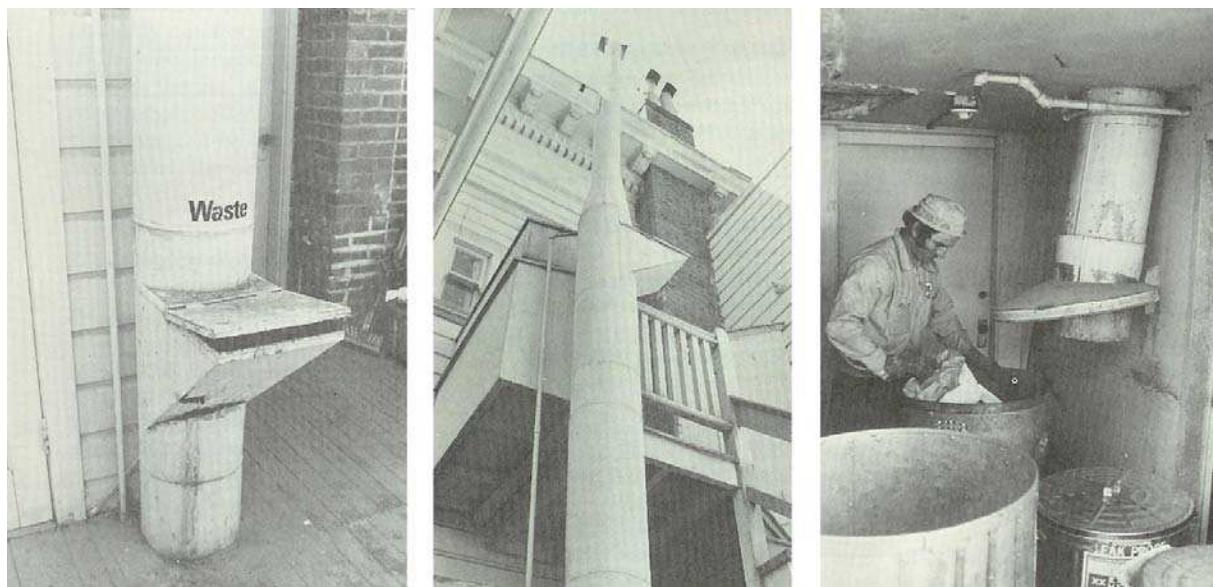


Figura 3.4 Condutas de transporte vertical dos resíduos [12]

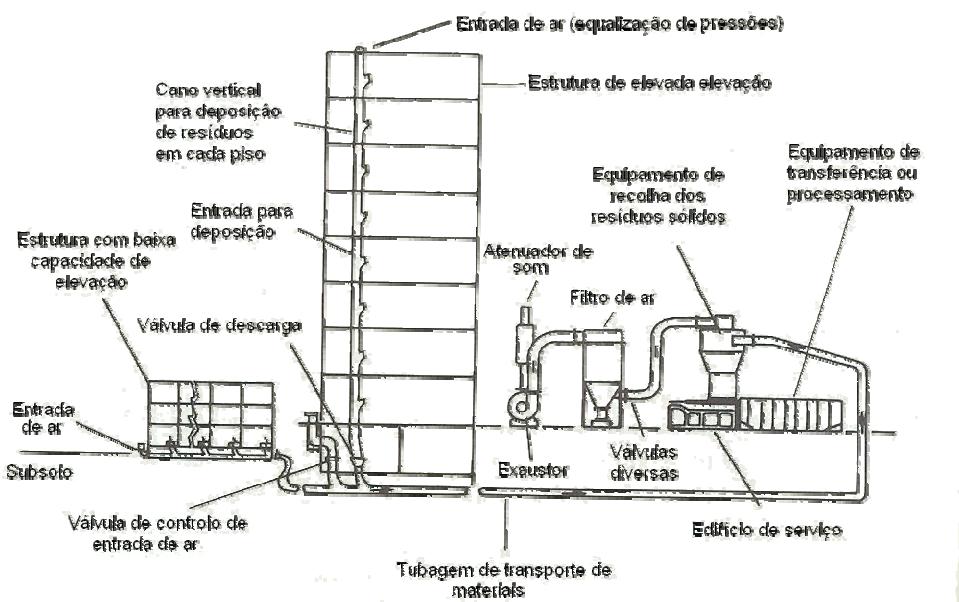


Figura 3.5 Esquema do transporte pneumático dos RSU [12]

Os sacos de plástico (em polietileno) ou de papel impermeabilizado podem ser utilizados na deposição conjunta ou selectiva dos materiais, como exemplificado na Figura 3.6. São materiais não recuperáveis, apresentando-se com uma capacidade de armazenamento que varia entre 50 e 100 litros. Estes sacos têm a vantagem de reduzir o tempo de recolha, dispensar a lavagem do recipiente, serem fáceis de transportar, uma vez que pesam muito pouco, diminuindo o esforço do pessoal de recolha e evitam a permanência dos recipientes na via pública. Por outro lado, apresentam desvantagens como

a facilidade de rompimento por vandalismo, por animais à procura de comida ou no transporte para o veículo, provocando o derramamento dos resíduos sobre a via pública; ocupação de maior espaço nos veículos de recolha devido à formação de espaços vazios e risco para a saúde dos trabalhadores devido à forte probabilidade de cortes por objectos perfurantes.



Figura 3.6 Sacos de recolha selectiva de RSU [13]

As caixas empilháveis são frequentemente usadas na recolha selectiva e geralmente têm uma capacidade de armazenamento de 50 litros. Podem ser apresentadas em diversas cores (o azul para papel e/ou cartão, o amarelo para embalagens e o *bordeaux* para habitações prediais nas quais podem ser colocados todos os materiais recicláveis) conforme pode ser visualizado na Figura 3.7. As vantagens associadas a estes recipientes é que permitem conservar a qualidade dos materiais recolhidos por separação, diminuindo os custos de processamento. As desvantagens prendem-se com a limitação de volume e materiais aceites, a necessidade de lavar as embalagens, e muitas vezes, o desvio destas para outras utilizações domésticas.



Figura 3.7 Contentores pequenos para recolha selectiva de RSU [13]

Os contentores plásticos de pequena dimensão apresentam-se em variados formatos, dimensões, com ou sem rodas. A capacidade de armazenamento varia entre 35 e 110 litros. As cores podem variar entre o verde ou cinzento, para recolha indiferenciada, ou

outras cores para recolha selectiva, como poderá ser visualizado na Figura 3.8. Estes recipientes são passíveis de fácil transporte e elevação.



Figura 3.8 Contentores de média dimensão para recolha de RSU [14]

Para a deposição colectiva poderão ser encontrados contentores de plástico ou metal galvanizado, de cor verde ou cinzento para os resíduos indiferenciados ou de outras cores para a recolha selectiva. Apresentam uma capacidade variável entre os 770 e 1100 litros, possuindo rodas e saliências para facilitar o seu transporte e elevação, conforme pode ser visualizado na Figura 3.9. Estes contentores podem ser compartimentados ou não.



Figura 3.9 Contentores de 770 litros para recolha indiferenciada [15]

Existem contentores dispostos em profundidade (tipo *molok*) para efectuar uma deposição colectiva indiferenciada ou selectiva. São contentores de grande capacidade, podendo variar entre 1,3 e 5 m³ e encontram-se parcialmente enterrados no solo, como apresentado na Figura 3.10. Têm uma maior capacidade de compactação dado que possuem uma altura de 2,5 m. Os resíduos são depositados por uma tampa de acesso ao contentor. São constituídos por um saco de elevação em lona cujo fundo pode ser aberto para descarga do saco descartável em plástico onde se encontram os resíduos. Este tipo de contentores permite substituir 7 contentores de 700 litros e deve ser implementado em áreas de forte densidade populacional. Apresentam vantagens a nível de baixa ocupação de espaço, e, devido ao facto de estarem enterrados, a temperatura no seu interior é mais baixa, retardando a degradação da fracção orgânica.

Figura 3.10 Contentor *molok* [15]

Os contentores tipo “igloo” destinam-se à deposição selectiva colectiva. Podem ser mono ou multicompartimentados, sendo estes últimos mais económicos relativamente à utilização de vários monos. A sua capacidade pode variar entre 1,1 a 4 m³ e podem ser esféricos ou cúbicos. Possuem aberturas de diferentes formatos dependendo do material a depositar. Estes contentores possuem um gancho metálico no topo de modo a serem elevados verticalmente para esvaziamento do conteúdo. A Figura 3.11 apresenta dois contentores deste tipo.



Figura 3.11 Contentores “igloo” para vidro e papel, respectivamente [16]

Como contentores de grande capacidade podem ser apontados os contentores fixos, com capacidade entre 2 a 5 m³, que são recolhidos através de um sistema de elevação frontal do veículo de recolha. Existem também os contentores transportáveis, denominados por contentores para equipamento *multibenue* e *polibenue*. Os contentores para veículos *multibenue* (contentores tipo balde) são destinados à deposição de resíduos de grandes dimensões, como os entulhos e a recolha selectiva, possuindo uma capacidade de 5 a 10

m^3 . Os contentores *polibenne* (contentores rebocáveis) são utilizados frequentemente em estações de transferência e em recolhas selectivas. Estes têm uma capacidade que pode variar entre 10 a 20 m^3 e podem ser encontrados nos ecocentros. Na Figura 3.12 podem ser visualizados estes dois tipos de contentores.



Figura 3.12 Contentores para veículo multibenue e polibenue, respectivamente [17]

Os principais equipamentos colectivos adoptados para a recolha selectiva baseiam-se em:

- Contentores isolados: contentores de variadas dimensões, formatos e cores, destinados à deposição de um ou mais componentes de RSU, como exemplificado na Figura 3.13;



Figura 3.13 Pilhómetro [18]

- Ecopontos: sistemas de deposição semelhantes ao anterior, sendo caracterizado pela disposição de um conjunto de contentores para a recolha de fileiras de materiais (como o papel e cartão, plásticos, metais e vidros) ou fluxos de materiais (como as embalagens, medicamentos fora de prazo, pilhas e baterias). Os locais de colocação destes contentores são estrategicamente escolhidos tendo em conta a densidade populacional, as vias de acesso e um enquadramento paisagístico adequado. Na Figura 3.14 pode ser observado um exemplo deste tipo de contentores.



Figura 3.14 Ecopontos para papel/cartão, vidro e embalagens [19]

- Ecocentros: são locais vedados de deposição voluntária de resíduos de maior dimensão, com uma entrada condicionada ao horário estabelecido, que permitem recolher adequadamente cada tipo de material, conforme apresentado na Figura 3.15. São caracterizados por possuírem uma capacidade de armazenamento de resíduos superior à existente nos ecopontos e são destinados a uma gama mais vasta de materiais (como electrodomésticos, móveis, resíduos de jardim, de demolição, óleos, pneus, metais ferrosos e não ferrosos, “monstros”, pilhas e baterias). São resíduos que não são removidos pelos circuitos normais de recolha. Este tipo de resíduos necessita de ser submetido a operações de prensagem, Trituração e enfardamento de modo a garantir os custos de transporte adequados.



Figura 3.15 Ecocentro [19]

- Sistemas de deposição móveis: contentores móveis que poderão ser colocados num determinado local durante algum tempo e depois serem deslocados para outra zona, funcionando como ecopontos. Este sistema não é muito usado em Portugal, pelo que não será muito focado.

3.3.4 Viaturas de Recolha

As viaturas de recolha permitem recolher os resíduos colocados nos diversos contentores e efectuar a compactação dos mesmos. Actualmente existe no mercado uma diversidade de veículos de recolha cuja escolha recai sobre o fim a que se destinam. Os critérios de selecção adoptados encontram-se relacionados com o estudo dos seguintes factores [3]:

- rapidez de absorção dos resíduos;
- capacidade máxima e rapidez de descarga;
- facilidade de descarga e elevação dos recipientes;
- facilidade de manutenção e lavagem;
- distribuição uniforme da carga pelos eixos;
- funcionamento silencioso;
- facilidade de circulação e realização de manobras;
- menores custos de manutenção e consumo;
- possuir equipamento de segurança adequados;
- ser esteticamente agradável.

As viaturas de recolha podem ser classificadas segundo o método de descarga, o tipo de sistema de elevação dos contentores e a respectiva localização, o tipo de sistema de transferência dos resíduos da tremonha de recepção para o interior da caixa e o número de compartimentos da caixa de recolha.

Relativamente ao método de descarga dos resíduos, os veículos podem possuir uma zona de carregamento aberta, dispor de uma cortina em borracha ou hermeticamente fechada. Quando a recolha é feita hermeticamente são utilizadas adufas para descarga dos contentores de pequena capacidade (50 a 360 litros). As adufas são constituídas por um sistema de elevação hidráulico e por um orifício que se mantém fechado quando não está a ser efectuada qualquer descarga [3].

O carregamento dos contentores pode ser efectuado pela parte de trás do veículo (carregamento traseiro, como visualizado na Figura 3.16), apresentando como principais

vantagens a possibilidade de obter uma altura mais baixa de vazamento dos contentores. A Figura 3.17 exemplifica os veículos equipados para efectuar o carregamento lateral dos contentores, os quais podem ser utilizados para recolhas indiferenciadas ou selectivas. Podem também ser encontrados veículos que efectuam o carregamento pela parte da frente (denominados por carregamento frontal, como apresentado na Figura 3.18), sendo frequentemente utilizados para a recolha de contentores de grande capacidade. Para alguns contentores (tipo *molok* ou “*igloo*”) são utilizados veículos de caixa aberta equipados com uma grua para elevação dos mesmos e descarregamento no topo do veículo.



Figura 3.16 Veículo de recolha traseira [15]



Figura 3.17 Veículo equipado para recolha lateral [20]

O sistema de transferência dos resíduos da caixa de recepção do veículo para o seu interior pode ser feito manualmente, através da distribuição dos resíduos dentro da caixa. Este sistema é geralmente utilizado para a remoção de objectos volumosos. Por outro lado, pode ser utilizada a transferência mecânica em caixas que se encontram completamente fechadas. O funcionamento do sistema pode ser contínuo, ou seja, sem intervenção dos

trabalhadores, ou descontínuo, através da acção de comando de um trabalhador, sendo a alimentação da caixa suspensa durante esta operação.



Figura 3.18 Veículo com carregamento frontal [1]

As viaturas de recolha podem apresentar um ou mais compartimentos. Os veículos mono-compartimentados são frequentemente utilizados na tradicional recolha indiferenciada. São veículos equipados com sistema de compactação de modo a reduzir o volume dos resíduos e a aumentar a capacidade da caixa, diminuindo os custos de transporte e recolha.

Na recolha selectiva podem ser usados veículos mono-compartimentados ou multi-compartimentados. Os veículos mono-compartimentados permitem reduzir o investimento inicial para a recolha multimaterial, podendo constituir custos de operação elevados a longo prazo. A compactação deve ser inferior à dos resíduos indiferenciados devido à possibilidade de alteração irreversível da qualidade dos materiais. Os veículos multi-compartimentados permitem efectuar a recolha de vários materiais sem os misturar. Os custos de investimento destes veículos são superiores, sendo os custos de recolha inferiores [3].

As viaturas de recolha para os ecocentros apresentam um sistema de elevação tipo "*ampliroll*", com caixa aberta, conforme visualizado na Figura 3.19, permitindo recolher os materiais depositados nos contentores selectivos dos ecopontos para o ecocentro, de modo a efectuar a prensagem e enfardamento, bem como poder transportar fardos de materiais.

Os trabalhadores devem possuir um equipamento de protecção individual adaptado às condições climatéricas. Pelo facto de serem as pessoas que mais directamente contactam com os utentes produtores de resíduos, estes trabalhadores devem frequentar regularmente acções de formação para o efeito.



Figura 3.19 Veículo de recolha tipo *ampliroll* [21]

3.3.5 *Transporte dos Resíduos*

Para o transporte, devem ser considerados os custos de aquisição de equipamento (viaturas), o consumo de combustível e a mão-de-obra envolvida. Estes custos estão associados ao transporte de resíduos entre os centros de produção de RSU e as unidades de processamento dos mesmos.

As viaturas de recolha são utilizadas quando as distâncias entre o local de recolha e a unidade de tratamento, valorização ou eliminação são reduzidas. No caso destas distâncias serem superiores é necessário proceder à transferência de resíduos.

A minimização dos custos de transporte é essencial para o desenvolvimento do programa de gestão, uma vez que permite diminuir a maior parcela de custos associados ao sistema. Por isso é essencial determinar os factores que mais contribuem para a minimização destes custos.

Um dos principais factores na minimização dos custos é a determinação da distância crítica. A distância crítica de transporte é considerada como a distância a partir da qual deixa de ser economicamente viável o transporte de resíduos pelas viaturas afectas à recolha. Para distâncias superiores à crítica devem ser realizados transbordos para estações de transferência ou veículos de maior dimensão [3].

A localização espacial das unidades posteriores de transferência, tratamento, valorização e eliminação é também um factor importante associado à determinação da distância crítica.

Por outro lado, a recolha de resíduos depende do volume que estes ocupam, pelo que a determinação da quantidade dos mesmos é importante para uma minimização de custos.

Neste sentido, para a avaliação dos custos de transporte deve ser considerada a distância percorrida e a quantidade de resíduos a recolher. Assim, pretende-se que a distância total de viagem necessária à realização da recolha e transporte seja mínima, entendendo-se esta distância total como o somatório dos produtos entre a distância percorrida em cada viagem e o número de viagens efectuadas.

A distância que melhor reflecte a de uma estação de transferência de resíduos depende de uma análise económica comparativa. De um lado o custo de transporte directo dos veículos de recolha até à unidade final por tonelada de RSU transportada; do outro lado, os custos de transporte da recolha até à central de transferência, custos directos e de amortização, custos de transporte entre a estação de transferência e o destino final (por viatura com maior capacidade de carga e equipa reduzida a um motorista) por tonelada de RSU transportado.

Existem vários métodos rigorosos que permitem determinar a distância a partir da qual deixa de ser economicamente viável efectuar o transporte, sendo aconselhado nesses casos a construção de uma estação de transferência.

Os custos fixos para cada caso poderão não ser considerados assumindo-se serem praticamente iguais em qualquer dos locais candidatos; no entanto, tal não se verifica na prática pelo que deverão, por isso, merecer uma avaliação cuidada. Neste sentido, a utilização de SIG constitui uma forma avançada de apoio à decisão.

A Figura 3.20 representa a determinação da distância a partir da qual é justificável a implementação de uma estação de transferência.

Por norma, é usual adoptar-se a implementação de estações de transferência sempre que as distâncias do centro de produção do circuito (centróide) ao local de deposição ultrapassarem os 25 a 30 km.

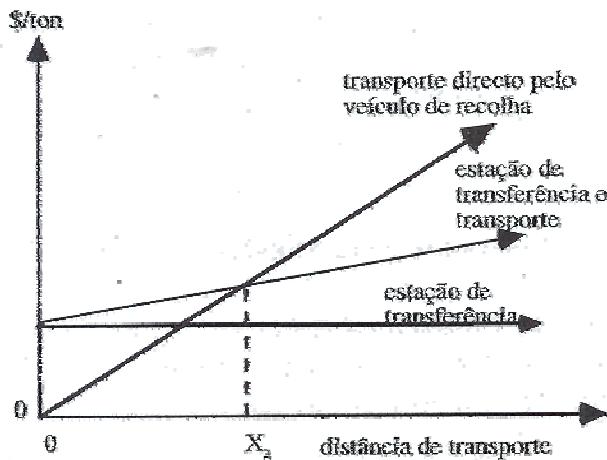


Figura 3.20 Relação entre os custos de transporte e a distância percorrida [3]

3.3.6 Estações de Transferência

As estações de transferência são locais onde são descarregados, preparados e acondicionados os resíduos de forma a serem transportados em viaturas de maior capacidade que as pertencentes ao sistema de recolha municipal, sendo posteriormente colocados em estações de tratamento, valorização ou destino final de RSU, sempre que tal se justifique. Estas unidades de transferência permitem reduzir os tempos de deslocação e os custos associados.

Estas infra-estruturas devem ser implementadas de modo a:

- optimizar os custos de transporte e minimizar o desgaste dos veículos de recolha;
- reduzir os recursos humanos afectos à operação;
- minimizar o percurso de viaturas de recolha nos aglomerados populacionais;
- ajustar a entrada e deposição dos resíduos na estação de tratamento ou de destino final, através da sua introdução no período mais conveniente.

Face ao apresentado, pode referir-se que as unidades de transferência devem ser instaladas nas seguintes situações:

- zonas dispersas com elevada produção de resíduos;
- áreas específicas com elevada população sazonal e consequente variação de RSU;
- grande distanciamento relativamente à zona de implantação da unidade de tratamento ou destino final.

Estas estações podem ser simples ou complexas, dependendo da sua utilidade e podem variar de simples locais de transferência a locais onde é efectuada uma maior compactação dos resíduos antes destes serem colocados noutro veículo de transporte. A Figura 3.21 apresenta alguns exemplos típicos de estações de transferência [1].

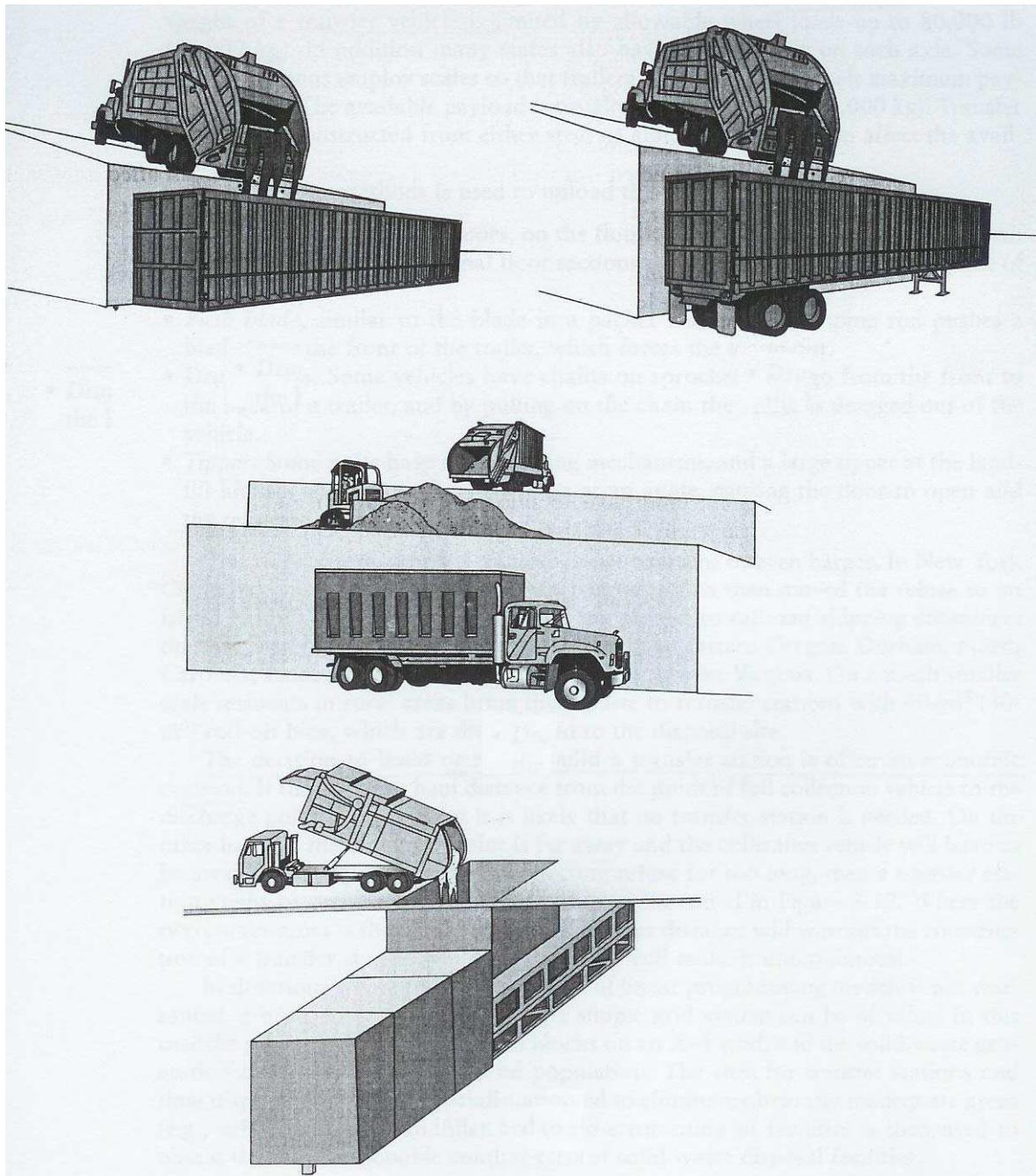


Figura 3.21 Exemplos de tipologias para estações de transferência de resíduos [1]

As estações de transferência podem contemplar uma unidade de transferência e um ecocentro. Para além destas unidades, devem ser previstas as instalações de apoio, a unidade de pesagem automática, o edifício administrativo, a portaria, as vedações, as vias

de circulação interna, vias de acesso e estacionamentos, as redes de abastecimento e drenagem de águas, de energia eléctrica e de telefone.

As vantagens associadas à implementação destas unidades baseiam-se em:

- reduzir os custos de transporte;
- utilizar veículos de menor dimensão e capacidade para a recolha urbana;
- permitir um maior aproveitamento dos veículos de recolha através da diminuição das distâncias percorridas;
- possibilidade de efectuar a recolha em vários aglomerados populacionais;
- possibilitar a localização de unidades de tratamento, valorização ou eliminação a maiores distâncias dos centros urbanos.

Por sua vez, em centros de tratamento, valorização ou eliminação, o transporte de resíduos poderá ser feito por:

- transportador de cintas de borracha, como apresentado na Figura 3.22;
- alimentadores de base;
- transportadores pneumáticos;
- alimentadores vibratórios;
- alimentadores tipo parafuso;
- corrente transportadora, como visualizado na Figura 3.23.

Os três primeiros são usados unicamente para transportar o resíduo enquanto que os restantes são usados para alimentar a um processo ou analisar um resíduo.

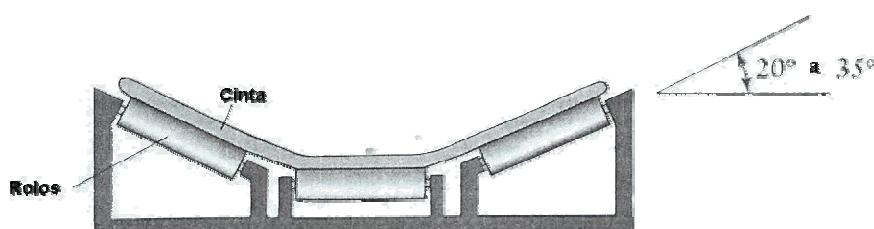


Figura 3.22 Transportador de cintas de borracha [1]

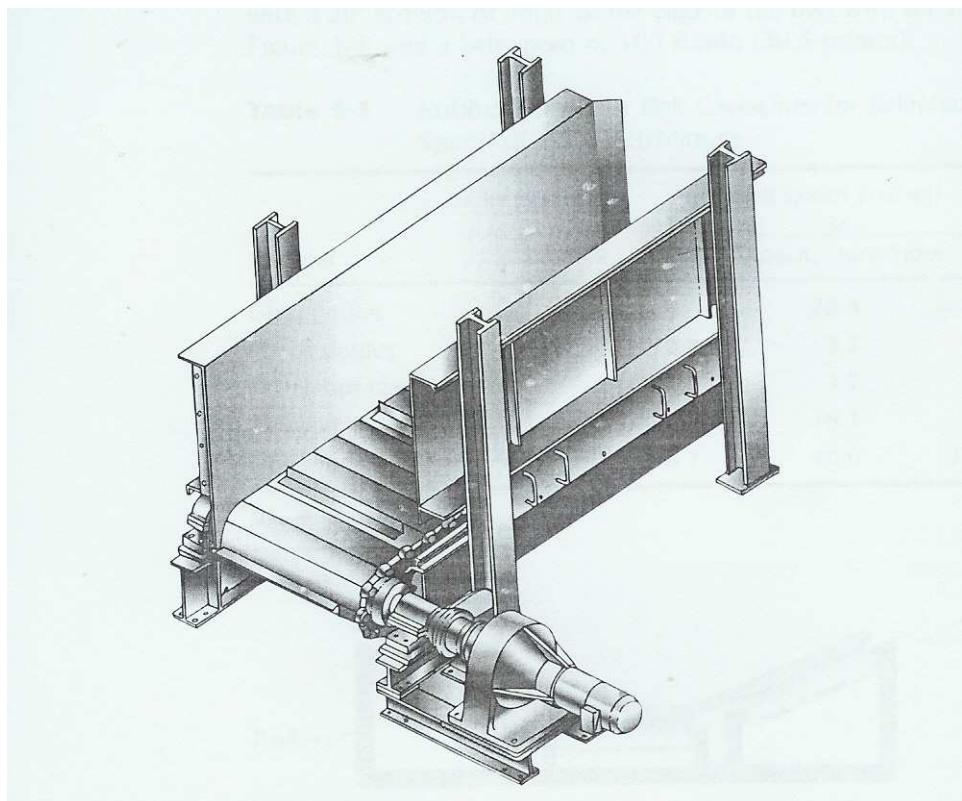


Figura 3.23 Transportador de corrente [1]

3.4 Campanhas de sensibilização

A população adquiriu ao longo dos tempos hábitos comportamentais rotineiros, resultado do forte enraizamento tradicional de atitudes e de educação, os quais são difíceis de alterar. A gestão dos RSU impõe que sejam efectuadas profundas alterações nas atitudes e comportamentos da população, ou seja, é necessário alterar os seus comportamentos diários, os quais são repetidos inúmeras vezes sem o conhecimento da sua gravidade, provocando o agravamento dos custos de gestão e do ambiente em geral. Neste sentido, esta mudança deve ser faseada, devendo para o efeito serem usados meios de comunicação que permitem abranger toda a população.

A educação de jovens para a problemática ambiental tem, na maior parte dos casos, sido feita com sucesso, através do recurso a escolas e actividades recreativas. No entanto, a educação de adultos não é assim tão fácil, uma vez que este tipo de população possui velhos hábitos de deposição, é desconfiada e descrente do sistema político e do Estado.

A sensibilização ambiental da população é baseada na interacção entre o cidadão, os projectos ambientais a introduzir e as autoridades locais e nacionais, devendo para isso existir um consenso na aplicação de regras e de metas a cumprir, bem como na recepção de opiniões por parte de ambos, no sentido de que o projecto adquira uma adesão colectiva da população alvo.

A implementação de uma campanha de sensibilização deve ter em conta diferentes fases, conforme se apresenta na Figura 3.24.

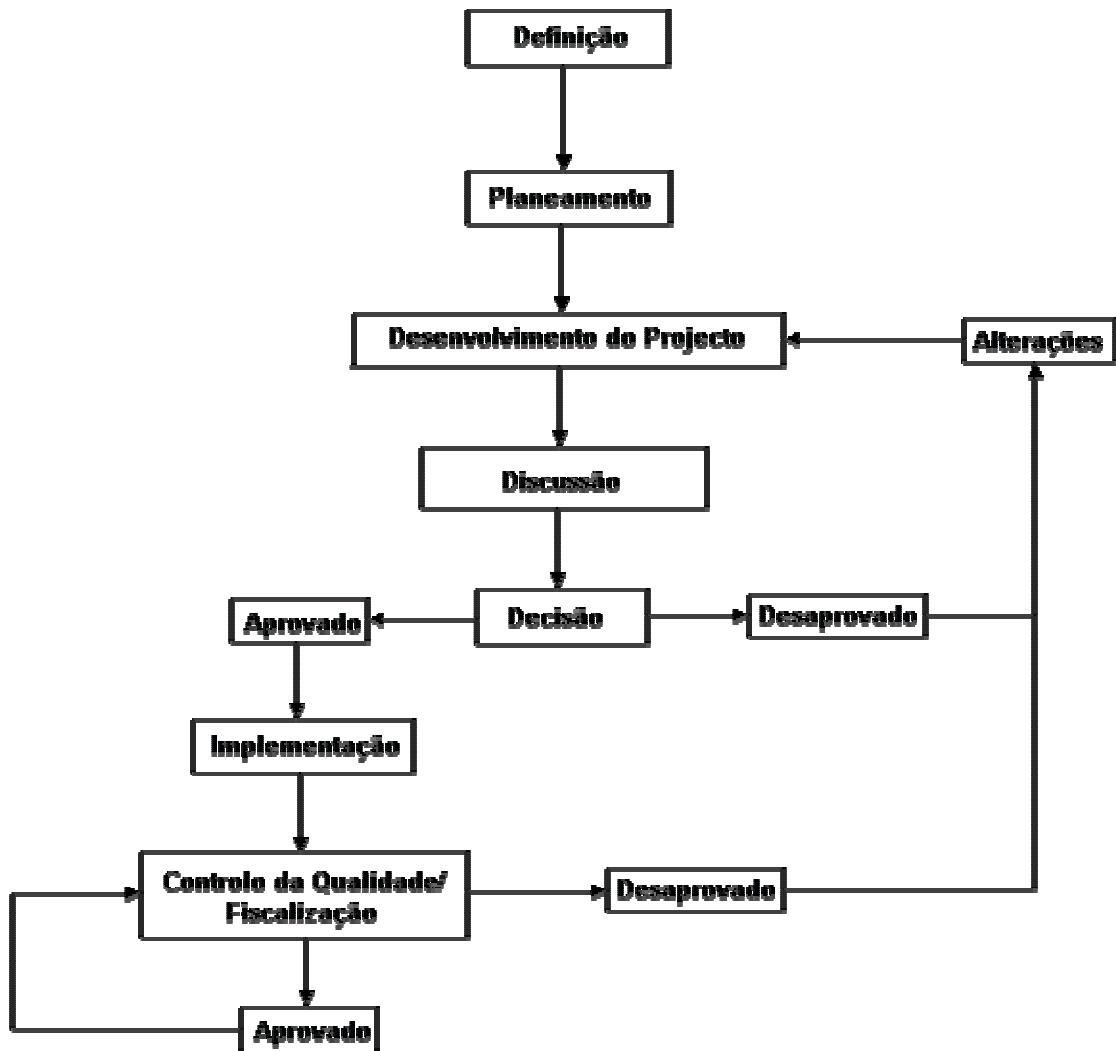


Figura 3.24 Fluxograma de implementação de um sistema de sensibilização ambiental

A primeira fase baseia-se na decisão do projecto a implementar, devendo para o efeito ser conhecida a área de abrangência geográfica e populacional. A definição de um projecto é baseada no pré-conhecimento dos problemas existentes, sendo importante efectuar uma análise prévia aos comportamentos da população da região em estudo.

Os objectivos, as metas e as linhas de acções estratégicas mais importantes devem ser incorporadas no planeamento do projecto.

A fase de desenvolvimento comprehende o aprofundamento dos objectivos e acções definidos, tendo em consideração a análise das vantagens, desvantagens, da previsão dos resultados, dos riscos assumidos, dos custos envolvidos, das previsões de desenvolvimento futuro e da capacidade de implementação do projecto.

Depois de pré-finalizado, o projecto deve ser sujeito à opinião pública, através da realização de um conjunto de reuniões com vista à discussão entre os cidadãos e as autoridades. Esta fase é essencial na concretização do projecto uma vez que permite a participação activa dos cidadãos na sua decisão. É de salientar que, quando se verifique a não conformidade na avaliação por parte da população, este deve ser alterado de modo a construir um modelo que permita a adesão dos cidadãos.

Depois de aprovado, o projecto é implementado através do recurso a meios de informação, como brochuras, folhetos, vídeos, CD, *sites de internet*, *posters*, cartazes, artigos e anúncios de imprensa, *spots* publicitários de rádio e televisão, exposições, congressos, seminários, entre outros.

O sucesso da implementação do programa de sensibilização ambiental depende directamente da população alvo, ou seja, a mudança de hábitos comportamentais da população, a participação efectiva e a mobilização colectiva previstos no projecto.

O supervisionamento da fase de implementação deve ser realizado de forma a identificar possíveis lacunas e pontos críticos que não foram previstos, ou existindo, foram desviados de alguma forma, actuando no sentido de realizar alterações sobre o projecto por forma a melhorá-lo significativamente. Como exemplo, pode apontar-se a realização de programas de monitorização face ao enchimento de ecopontos que permitam efectuar uma análise à participação da população na área em estudo. Se o grau de participação for muito baixo, deve-se pensar no problema de outra forma e desenvolver medidas estratégicas que o permitam resolver. Por outro lado, se o programa for implementado com sucesso, a avaliação do controlo de qualidade do comportamento do projecto será positiva devendo, no entanto, serem efectuadas fiscalizações periódicas à implementação do mesmo.

A avaliação de um projecto de sensibilização ambiental para a recolha selectiva é baseada em dois pontos essenciais [7]:

- análise da quantidade de resíduos recolhidos – permite traduzir o grau de adesão da população ao projecto;

- análise da qualidade dos resíduos recolhidos – permite determinar o grau de compreensão e aceitação das regras divulgadas nas acções de sensibilização.

A implementação de uma campanha de sensibilização pode ser efectuada a nível nacional ou local.

A nível nacional podem ser utilizados como meios de informação as televisões, grandes cartazes de publicidade, jornais nacionais e objectos de campanha que possam ser usados por qualquer interveniente, como esferográficas, guarda-chuvas, *t-shirts*, réguas, lápis, entre outros. As Figuras 3.25 a 3.26 ilustram a utilização de vários meios de informação para o desenvolvimento de campanhas a nível nacional.



Figura 3.25 Actividades desportivas de sensibilização [8]



Figura 3.26 Spots publicitários alusivos à separação dos materiais [8]

A nível local, há uma maior proximidade, podendo ser utilizados os meios de informação local, como a educação ambiental em escolas, visitas a instalações de tratamento e valorização, ou mesmo uma sensibilização porta-a-porta, alertando para as vantagens da recolha selectiva.

O programa de redução de resíduos depende da participação da população, como tal devem ser:

- realizados programas contínuos de educação e sensibilização ambiental;

- providenciado o fornecimento de material adequado ao cumprimento dos objectivos ambientais.

A participação pública no processo de desenvolvimento de um programa de gestão é importante, uma vez que é encorajador e permite a partilha de opiniões diversas no sentido de alcançar um programa de sucesso. A participação pública [7]:

- é o processo que permite que a população comungue das acções e decisões sobre o local onde habitam;
- é o envolvimento da população através do recurso à sua experiência na identificação de necessidades e recursos para definir potenciais soluções;
- permite que a população desenvolva conhecimentos e confiança no programa a adoptar;
- requer a dedicação de tempo, esforço e energia por parte de todos os intervenientes;
- identifica os aspectos mais críticos do projecto;
- permite o envolvimento dos utilizadores e beneficiários do programa de gestão;
- permite negociar diferentes interesses no sentido de estabelecer a melhor opção;
- permite adquirir ideias para implementar no programa;
- permite diminuir os riscos de exclusão de pessoas do programa de gestão, permitindo uma maior adesão.

Depois de desenvolvido o programa de gestão devem ser realizadas campanhas de sensibilização para maximizar a participação.

O fornecimento de recursos materiais é essencial para maximizar a participação e a eficiência de qualquer programa de redução. Neste sentido, é necessário elaborar programas de educação ambiental que permitam transmitir o conhecimento e informar acerca das questões ambientais.

Os objectivos principais deste tipo de educação ambiental são:

- tomar consciência do ambiente global e dos problemas existentes;

- compreender o papel da sociedade actual no ambiente em que se inserem e a sua responsabilidade para a resolução de problemas;
- motivar para a tomada de atitudes;
- participar activamente na resolução de problemas.

3.5 Triagem

A triagem consiste na separação dos RSU depositados indiferenciadamente ou selectivamente por fluxos e fileiras, podendo ser efectuada em qualquer etapa do sistema de gestão adoptado.

A triagem pode ser usada para:

- separar os resíduos inorgânicos dos RSU indiferenciados, consistindo numa fase preliminar dos processos de valorização;
- separar os resíduos recolhidos selectivamente noutro tipo de classes pré-selecionadas.

A separação poderá ser realizada no local onde o resíduo é produzido, durante ou após a sua recolha, ou em estações de triagem, valorização ou eliminação.

Quando a recolha de resíduos é indiferenciada, pode ser efectuada uma separação à entrada da estação de valorização, podendo, no entanto, envolver a triagem dos resíduos valorizáveis após a operação de tratamento.

Estas estações permitem triar e processar os resíduos por meio mecânico ou manual, com o objectivo de recuperar diferentes fileiras para a reciclagem e/ou determinados fluxos para uma posterior valorização. Também permitem reduzir a quantidade de resíduos a depositar em aterro, aumentam a qualidade dos materiais recuperáveis e permitem simplificar as exigências de separação na origem, contribuindo para a redução dos custos de recolha e o aumento da participação dos utentes nos sistemas de recolha selectiva.

Esta etapa é constituída pela disposição por tipo de resíduos, num local de diferentes postos de trabalho, com o objectivo de proceder à separação dos materiais depositados conjuntamente nos contentores de recolha selectiva, em papel e/ou cartão, metais (ferrosos e não ferrosos) e plásticos (PET, PEAD, PEBD, PP, PVC e PS), entre outros, transferindo-os posteriormente para diferentes sítios consoante a sua posterior utilização [10].

Na triagem está incluída a separação dos materiais recicláveis, dos destinados a valorização e dos rejeitados. Nesta operação são separados manualmente os plásticos, o papel/cartão e o vidro de maiores dimensões e posteriormente são separados os metais ferrosos e não ferrosos, com equipamentos próprios para o efeito. Os materiais rejeitados na mesa de triagem são encaminhados para incineração e/ou deposição em aterro.

Depois de separados, os resíduos podem ser armazenados, segundo a sua tipologia, em diferentes contentores, fardos, silos, tambores, entre outros. Por exemplo, no caso da utilização de silos, estes são abertos em paralelo e os materiais são enfardados e enviados para as fábricas de reciclagem. O papel sofre normalmente uma pré-triagem, sendo depois enfardado e segue também para as fábricas de reciclagem.

Muitas unidades deste tipo encontram-se situadas perto de aterros sanitários porque, muitas vezes, alguns dos resíduos que são depositados em conjunto com resíduos orgânicos podem ser contaminados, não podendo ser posteriormente aproveitados para tratamento ou valorização. Desta forma são optimizados os recursos humanos e os custos de investimento e manutenção.

A Figura 3.27 representa uma típica estação de triagem que compreende uma plataforma aberta para descarga das viaturas de recolha junto a um tapete transportador [7].



Figura 3.27 Estação de triagem [7]

A Figura 3.28 permite apresentar de forma esquemática o processo de triagem dos RSU. A representação de uma estação de triagem é efectuada na Figura 3.29.

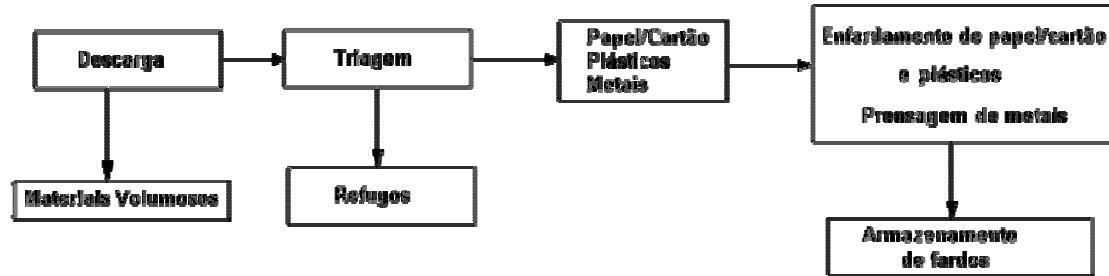


Figura 3.28 Esquema dos processos de triagem [7]

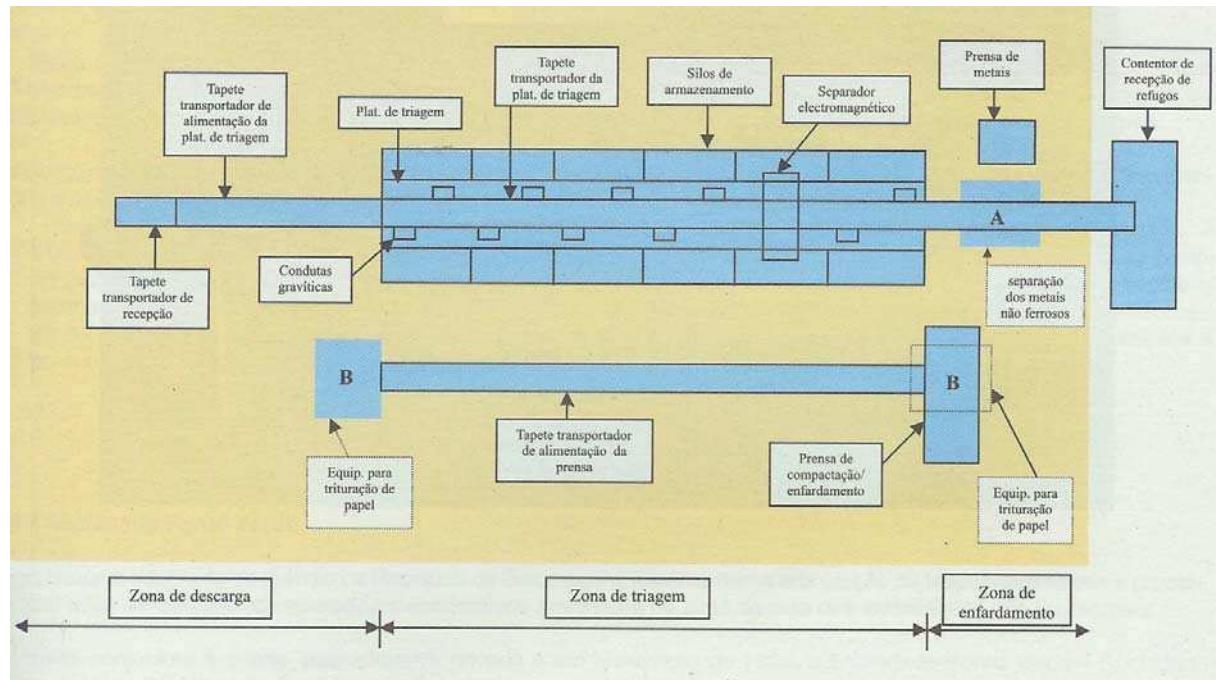


Figura 3.29 Representação de uma estação de triagem [7]

3.6 Caracterização de Resíduos

A caracterização de resíduos é importante na aquisição de informações relevantes para o planeamento de estratégias de gestão, ou seja, é determinante conhecer a composição dos resíduos produzidos para a implementação futura de políticas estratégicas de gestão de resíduos.

A caracterização dos resíduos apresenta como objectivos fundamentais a estimativa dos valores médios do peso específico e da composição física indicativa dos RSU numa

determinada área geográfica, tendo em consideração o método de tratamento e o seu destino final.

A composição física dos RSU permite conhecer as características gerais dos resíduos e aferir acerca do seu comportamento quando submetidos a tratamento, valorização ou deposição em aterro.

Infelizmente, algumas autoridades defendem a desnecessidade de realizar estudos por municípios aproveitando apenas os resultados dos estudos nacionais, uma vez que estes exigem o recurso de tempo e dinheiro. No entanto, os estudos de caracterização dos resíduos devem ser realizados para analisar economicamente as alternativas de gestão de RSU numa região.

Com vista à implementação de ferramentas que permitam determinar a composição dos RSU produzidos e à sua uniformização, tem sido efectuado um enorme esforço em todos os países. No entanto, é difícil atingir este objectivo uma vez que as principais propriedades que permitem caracterizar os resíduos (massa volúmica e composição física) variam consoante o tipo de ocupação/aglomerados populacionais e os hábitos da população no local de produção, bem como o período do ano em que estes são produzidos (estação do ano, épocas festivas, época de maior actividade para certas indústrias, períodos de férias, entre outros), factores importantes na tomada de decisão de uma campanha de caracterização de resíduos.

A determinação da composição física dos RSU é realizada através da separação dos diversos componentes que o constituem, ou seja, papel e cartão, vidro, materiais plásticos, matéria orgânica, metais ferrosos e não ferrosos, têxteis e finos².

A caracterização de um resíduo pode ser efectuada de duas formas: a medição da composição por separação e avaliação manual ou por avaliação fotográfica (fotogrametria).

A medição por fotogrametria envolve fotografar a porção representativa dos resíduos recolhidos e analisar a fotografia obtida. Esta deve responder a alguns requisitos, sendo os cálculos efectuados tendo em conta a visualização da imagem e a utilização de densidades pré-determinadas [1].

Embora este método permita efectuar a amostragem sem necessidade de contacto directo com a amostra, evitando a transmissão de doenças e os odores libertados, permite também diminuir os custos de mão-de-obra. No entanto, apresenta duas desvantagens: a primeira é que o grau de precisão é dependente do ajustamento de valores da densidade

² Resíduos com dimensões inferiores a 20 mm

dos resíduos presentes nas fotografias; e a segunda reside no elevado tempo necessário para analisar, uma vez que é mais fácil classificar manualmente e pesar as amostras [1].

Na avaliação manual, o ideal é utilizar uma amostra de 90 kg, obtendo-se um grau de confiança de 90%. Este método baseia-se na junção dos RSU e na separação em quartos, seguida de identificação e pesagem da amostra.

Para o efeito, é importante decidir antecipadamente o que vai ser medido no programa de amostragem, ou seja, quantas categorias de resíduos vão ser usadas.

Para sistemas que possuam instalações de tratamento, valorização ou eliminação com báscula à entrada é possível fazer rigorosamente a caracterização dos resíduos através do somatório da quantidade total de resíduos transportada pelos veículos de recolha. No entanto, quando esta situação não se verifica podem ser adoptadas medidas que visem a realização de campanhas de caracterização dos resíduos produzidos por um aglomerado populacional duma região.

Em Portugal, as campanhas de caracterização de resíduos iniciaram-se em 1989, sendo realizadas pelos vários municípios segundo a legislação em vigor.

3.6.1 Metodologia de Caracterização

A metodologia de caracterização baseia-se no planeamento de um eficaz sistema de recolha de resíduos, podendo esta ser principalmente a dos resíduos existentes num circuito pré-estabelecido e na sua descarga para um local onde se possa proceder à separação dos mesmos e determinação da sua composição.

A metodologia a adoptar numa campanha de caracterização de resíduos consiste em:

- descrever quais os circuitos de recolha do município em estudo, tendo em conta o tipo de ocupação, hábitos comportamentais das populações abrangidas pelas zonas percorridas;
- definir os grupos de circuitos que possam exemplificar cada circuito de recolha;
- designar o pessoal necessário para realizar esta tarefa;
- efectuar a recolha dos resíduos segundo os circuitos pré-estabelecidos;

- proceder à recolha de resultados da campanha, tendo em conta os aspectos qualitativos e quantitativos;
- analisar os resultados obtidos;
- realizar periodicamente campanhas de recolha de resíduos para amostra e análise de cada um dos grupos em diferentes épocas do ano.

Por outro lado, a realização de uma campanha de caracterização necessita da aquisição de materiais e de mão-de-obra para efectuar as actividades necessárias à identificação dos materiais existentes.

Os equipamentos e materiais necessários para a realização da recolha consistem na utilização de um veículo sem compactação, para a colheita de resíduos para amostra; uma rectro-escavadora ou uma pá carregadora para misturar os resíduos; um local amplo e pavimentado que permita misturar os resíduos e separá-los segundo os vários componentes; pás para manuseio dos resíduos; recipientes de capacidade conhecida (15 contentores de 100 ou 110 litros); para determinação do peso específico, uma rede metálica com dimensões de 2 m x 1 m, com uma malha de 20 mm x 20 mm, um oleado resistente de 4 m x 3 m; balança com estrado com capacidade de cerca de 250 kg; equipamento de higiene e protecção pessoal, tais como fatos-macacos, luvas, máscaras e botas de borracha com ponta metálica; e por fim, um boletim de análise para utilização ao longo da campanha [3].

Os recursos humanos necessários para efectuar este tipo de campanha baseiam-se na utilização de um gestor de campanha que prepare e organize todos os meios materiais e humanos e realize a análise dos resultados obtidos; e, um encarregado que possa acompanhar o processo, controlar os trabalhadores, realizar as pesagens e preencher as fichas de caracterização. A recolha das amostras comprehende a utilização de um motorista e dois funcionários para recolha directa dos resíduos. Por fim, para a identificação da amostra e posterior separação são necessários cerca de 4 funcionários.

Se as amostras forem separadas directamente nas viaturas de recolha, será necessário recorrer a um operador de máquinas para manobrar o dispositivo de mistura de resíduos e 4 a 5 operários para a sua separação e colocação em recipientes para posterior avaliação.

O método de caracterização por fotografia necessita apenas dos materiais de recolha e de mistura acima descritos, de um aparelho especial para fotografar a amostra de resíduos, de um projector e de um conjunto de tabelas para determinação da composição

dos RSU. Por outro lado, os recursos humanos envolvidos baseiam-se apenas na contratação de um gestor de campanha para preparar, organizar a campanha e determinar a composição dos RSU, um motorista e dois funcionários para a recolha e mistura dos RSU.

3.6.2 Procedimento

Na preparação de uma campanha de caracterização deverão ser identificados os circuitos de recolha, efectuando uma análise ao tipo de ocupação das zonas percorridas, a frequência de recolha e os dias da semana e do mês em que a mesma se realiza. Os circuitos de recolha deverão abranger as zonas residenciais urbanas e rurais, as zonas comerciais e outras zonas significativas. Deve ser definido o menor número de circuitos, tendo em conta as semelhanças existentes e em cada grupo deve ser seleccionado um circuito que seja representativo do conjunto para a realização da recolha dos resíduos destinados a amostra.

A recolha de resíduos para a composição da amostra deve ser efectuada 4 vezes por ano. A recolha da amostra é efectuada à vez para cada um dos grupos de circuitos. O número de recolhas de resíduos para amostra a realizar anualmente é distribuído pelos vários grupos de circuitos, proporcionalmente à contribuição de cada um para a quantidade de resíduos recolhidos.

A comparação entre a quantidade de resíduos recolhidos nos grupos seleccionados é feita através da realização de pesagens das amostras recolhidas.

A determinação da frequência de recolha dos resíduos para amostra em cada um dos grupos é feita através da realização de uma estimativa da percentagem da quantidade de resíduos recolhidos, em cada grupo de circuitos para a região em estudo. Desta forma verifica-se que o número total de recolhas nos diferentes grupos de circuitos deve ser semelhante ao número total de recolhas anual existente na região.

Outro passo importante para realizar uma campanha de caracterização de resíduos com sucesso é a programação da calendarização da campanha, ou seja, estabelecer para cada circuito o número de vezes em que será efectuada a recolha dos RSU para amostra e os meses e dias da semana em que vão ser realizados os circuitos representativos de cada grupo. Por exemplo, numa zona urbana deverão ser efectuadas recolhas durante as três primeiras semanas de Janeiro, Abril, Julho e Outubro, enquanto que para uma zona rural, bastará realizar recolhas de amostras durante as 3 primeiras semanas de Janeiro e Julho.

Durante a programação da calendarização de uma campanha de caracterização qualitativa física para um dado ano deve-se ter em consideração [22]:

- número de vezes em que se vai colher resíduos para amostragem em cada grupo de circuitos;
- verificar os dias da semana em que se efectua a recolha dos lixos nos circuitos representativos de cada um dos grupos, a fim de não marcar a colheita das amostras num dia da semana em que esta não se realize;
- procurar que em cada grupo se realize a colheita de resíduos para amostra em dias e em semanas diferentes;
- evitar marcar mais do que uma colheita de resíduos no mesmo dia.

Conforme pode ser visualizado na Figura 3.30, os procedimentos associados à amostragem dos resíduos recolhidos nas campanhas são os seguintes:

- previamente devem ser identificados os recipientes a utilizar para a determinação do peso específico, numerando e registando a sua tara, devendo também identificar os recipientes destinados à colocação dos materiais separados, registando a sua tara e o nome do material correspondente;
- recolher os resíduos segundo a calendarização da campanha;
- descarregar os resíduos num local apropriado para efectuar a mistura e separação dos resíduos (para circuitos nocturnos, os resíduos devem ser deixados no veículo até ao momento da análise ou descarregados no local de mistura, devendo tapá-los com uma cobertura plástica);
- misturar os resíduos com uma pá carregadora ou “rectro”, revolvendo várias vezes;
- espalhar os resíduos de forma a formar um “disco” com espessura até 0,5 m;
- dividir o disco em quatro partes, sensivelmente iguais e rejeitar os dois quartos opostos;
- misturar os quartos restantes³ e repetir a operação de mistura e divisão do disco;

³ Para a caracterização por fotogrametria, devem ser efectuados os procedimentos até esta etapa seguida por fotografia e análise dos mesmos

- com a restante quantidade de resíduos, encher os recipientes para a determinação do peso específico, não comprimindo e agitando de vez em quando;
- pesar a amostra e registar numa ficha de caracterização dos RSU;
- colocar um crivo sobre um oleado a aproximadamente 0,8 m de altura e despejar os resíduos contidos em cada recipiente sobre o crivo;
- proceder à separação dos resíduos segundo os vários componentes existentes, colocando-os nos recipientes próprios, devendo ter-se o cuidado de sacudir o crivo periodicamente para facilitar a queda dos finos através da malha para posterior colocação em recipiente apropriado;
- pesar os recipientes e registar os valores obtidos [22].

O local de separação dos componentes deve ser arejado, abrigado e possuir uma boa iluminação, uma vez que esta operação é muito demorada e cansativa.

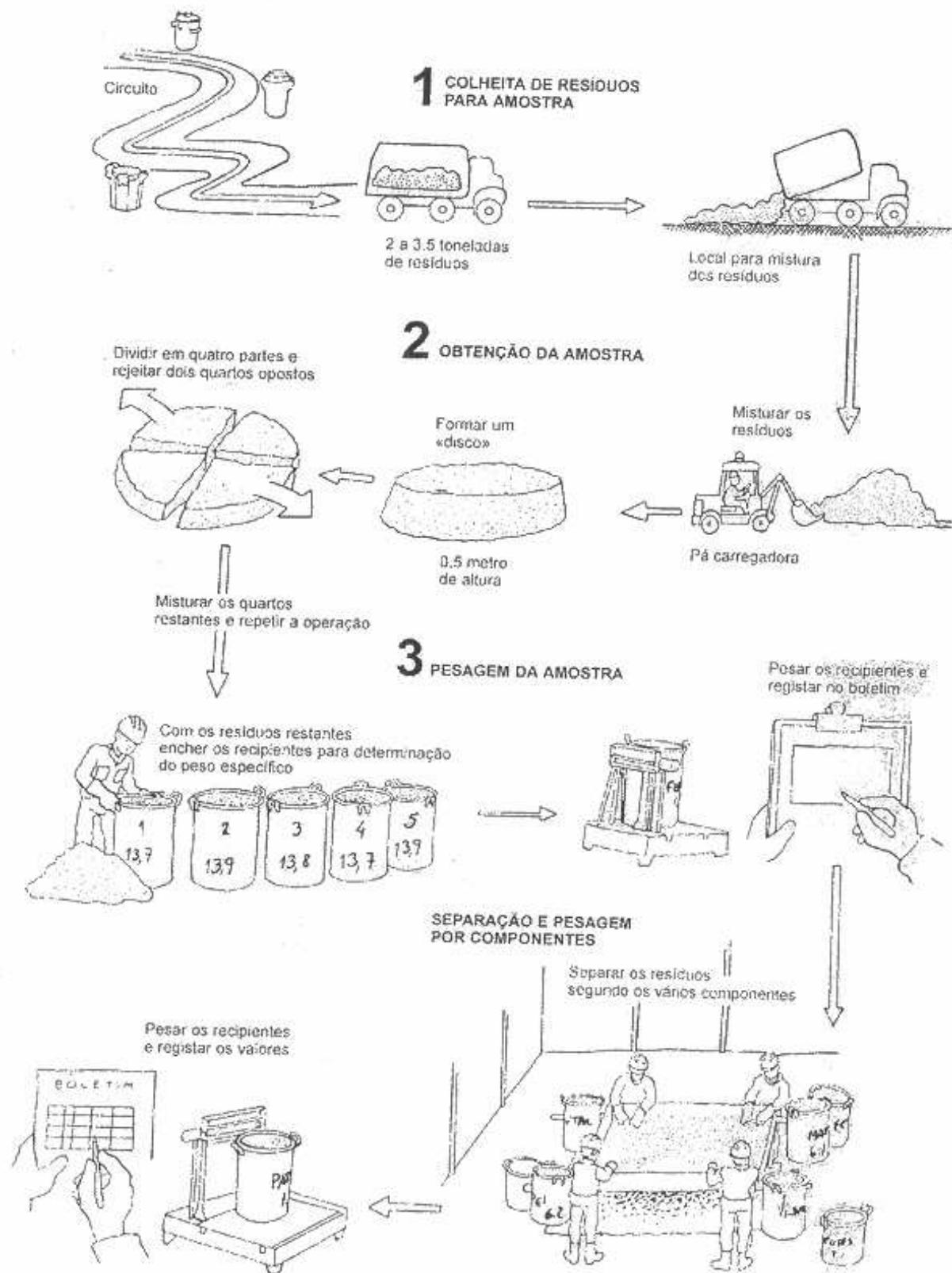


Figura 3.30 Procedimentos de caracterização manual de resíduos [3]

3.6.3 Apresentação de Resultados

Os resultados são apresentados através da análise quantitativa e qualitativa dos RSU obtidos. Como exemplo dos resultados obtidos numa campanha de caracterização de resíduos realizada em 1989, que abrangia cerca de 35 % da população, pode-se apresentar a Figura 3.31. Nesta figura pode observar-se uma produção de 35% de materiais fermentáveis, seguindo-se os resíduos de papel e cartão como os mais produzidos.

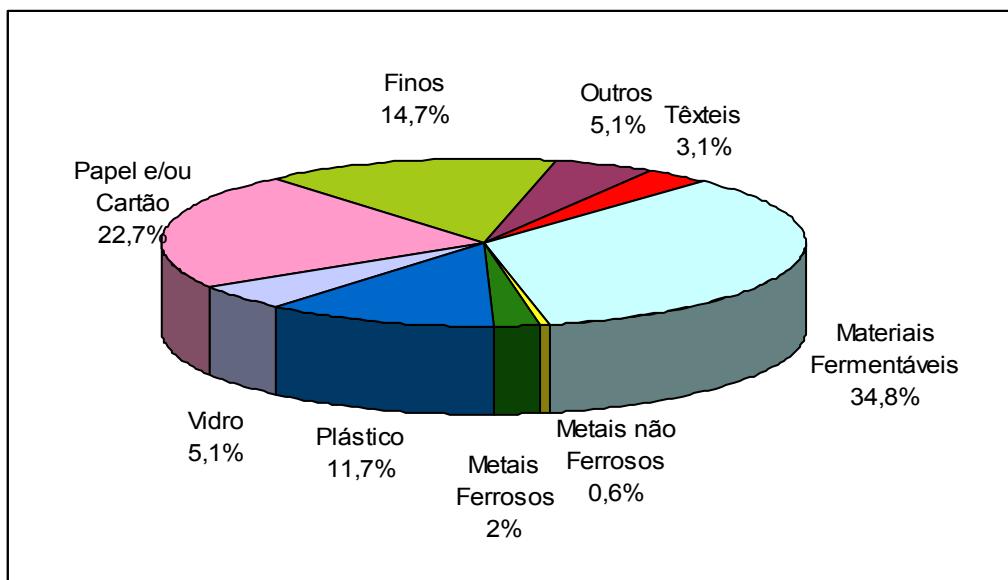


Figura 3.31 Composição média dos RSU em 1989 [6]

Na maior parte dos casos verifica-se que os componentes de vidro, plástico e metais presentes nos RSU são essencialmente constituídos por material de embalagens, sendo que o papel e/ou cartão representa cerca de 30% do seu peso.

3.7 Valorização/Eliminação de RSU

Existem vários processos de valorização/eliminação dos resíduos. Antes de considerar estes processos deve-se ter em atenção que a redução da produção de resíduos é um elemento-chave para a gestão destes, uma vez que a minimização de produção na fonte implicará uma diminuição do problema a resolver. No entanto, face à produção de resíduos que advém do consumo dos mais variados produtos dispostos no mercado pode

referir-se a necessidade inerente de valorizá-los e/ou eliminá-los, consoante as suas características.

A valorização consiste na aplicação de um conjunto de operações que permitem efectuar o reaproveitamento dos resíduos. Destas operações fazem parte a reutilização, os tratamentos físicos, químicos e biológicos como a recuperação e a reciclagem de materiais inorgânicos e orgânicos.

A valorização orgânica consiste num tratamento aeróbio (como a compostagem) ou anaeróbio (biometanização ou digestão anaeróbia), efectuada através da utilização de microorganismos em condições controladas na degradação das matérias biodegradáveis dos resíduos orgânicos, de modo a produzir resíduos orgânicos estabilizados, como o composto ou o biogás. Por outro lado, a deposição em aterro destes compostos estabilizados não é considerada uma reciclagem orgânica.

A incineração é uma tecnologia do tratamento de resíduos que permite diminuir drasticamente o seu volume, devendo ser um processo ambientalmente controlado.

Anteriormente, a qualidade da exploração de instalações de valorização era muito inefficiente, funcionando em circunstâncias não adequadas e não abrangendo a totalidade da população produtora de resíduos. Este facto levou a que fossem efectuados diversos investimentos tecnológicos e financeiros nesta área de modo a fazer frente à gestão actual.

Relativamente ao aspecto de valorização dos resíduos, pode-se referir que tem sido verificado um aumento significativo ao longo dos últimos anos. Este facto pode ser visualizado na Figura 3.32 para alguns materiais mais usuais em Portugal.

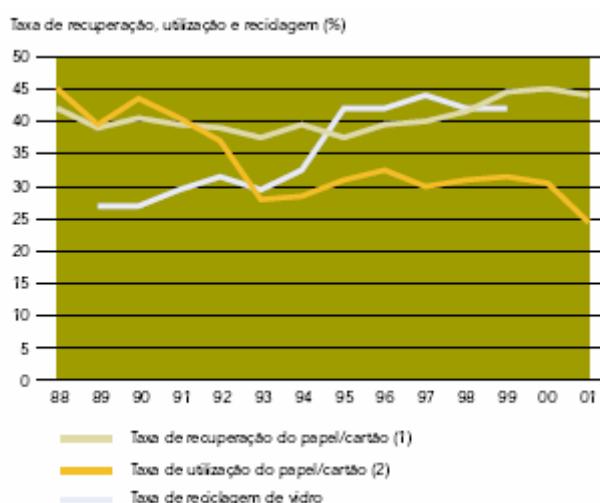


Figura 3.32 Taxa de recuperação e utilização do papel/cartão e taxa de reciclagem do vidro até 2001 [23]

4 Valorização/Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos

Antes de tudo convém evidenciar mais uma vez a importância que a minimização/redução na fonte detêm num bom plano de gestão de resíduos estrategicamente elaborado para a resolução de conflitos ambientais relacionados com a produção de resíduos.

A valorização é uma forma de recuperação do material não desejado para determinado fim. A definição de valorização apresentada no Decreto-Lei n.º 239/97, de 9 de Setembro baseia-se no conjunto de operações identificadas em portaria do Ministro do Ambiente que visem o reaproveitamento dos resíduos.

Por outro lado, o tratamento é definido como quaisquer processos manuais, mecânicos, físicos, químicos ou biológicos que alterem as características de resíduos por forma a reduzir o seu volume ou perigosidade, bem como a facilitar a sua movimentação, valorização ou eliminação.

A valorização dos RSU pode ser feita por três formas principais:

- Valorização Física (Reciclagem e Reutilização);
- Valorização Orgânica;
- Valorização Energética.

Existem três factores que determinam a viabilidade de um sistema de valorização:

- Custos de transporte e logística;
- Existência de mercado para os produtos obtidos;
- Tamanho e localização da instalação adoptada.

4.1 Valorização Física

A valorização física de um resíduo consiste no aproveitamento tendo em conta as características físicas que este apresenta.

A valorização física ou reciclagem material é imprescindível para a recuperação de materiais, pelo que é uma opção que deve ser prioritária desde logo após a sua recolha.

4.1.1 Reutilização

Segundo a definição apresentada pelo Decreto-Lei n.º 239/97, de 9 de Setembro, a reutilização consiste na reintrodução, em utilização análoga e sem alterações, de substâncias, objectos ou produtos nos circuitos de produção e consumo, com o objectivo de evitar a produção de resíduos.

A reutilização é efectuada tendo em conta a utilidade e valor de um bem para um determinado fim.

Ao longo dos anos a reutilização foi uma técnica de prevenção muito usada, à qual as pessoas recorriam por espontaneidade. Na realidade, tem-se verificado um forte decréscimo na reutilização de resíduos devido ao aumento das opções do consumidor associadas às mudanças dos hábitos de consumo e de fins comerciais. A nível pontual pode-se apontar a decisão da União Europeia em adoptar medidas relacionadas com a publicação da Directiva de gestão de embalagens e resíduos de embalagens.

O material mais reutilizado em Portugal é o vidro, embora em alguns países como a Dinamarca também se reutilizem alguns plásticos, como o PET [3].

Os vulgarmente designados “monos”, mobílias, electrodomésticos e outros objectos de grandes dimensões que são armazenados em contentores no ecocentro, podem ser utilizados mais tarde na indústria, para a sua aplicação em diversos fins.

4.1.2 Reciclagem Material

O processo de reciclagem requer que o detentor de determinado resíduo proceda à separação segundo as suas características e tipologia de modo a que este possa ser recolhido separadamente dos restantes RSU. Teoricamente, todos os RSU produzidos podem ser reciclados; no entanto, isso não acontece devido à forte dependência da correcta separação pelo produtor. Este facto nem sempre se verifica, uma vez que a população deverá separar consoante as características do resíduo, o que é difícil de ser concretizado para muitos casos. A operação de reciclagem mais difícil de ser concretizada é a identificação e separação dos plásticos.

Desta forma, pode referir-se que os RSU que possuem uma maior facilidade de reciclagem em termos de viabilidade económica e social são: o papel, o aço, o alumínio, os plásticos, o vidro e os resíduos de jardim. Segundo a composição dos resíduos pode afirmar-se que, em média, 80% dos RSU é passível de ser reciclado.

Os obstáculos inerentes à concretização do processo de reciclagem são os seguintes:

- localização dos resíduos: os custos de transporte associados são importantes, pelo que deverão ser escolhidas áreas residenciais que produzam um volume de resíduos suficiente para o material a reciclar;
- baixo valor material do produto reciclado relativamente aos produtos inseridos no mercado;
- incerteza na capacidade de abastecimento do resíduo a reciclar, estando dependente da cooperação dos municípios;
- constrangimentos administrativos e institucionais em muitas comunidades que não pretendem ter um custo adicional na implementação de programas de reciclagem;
- restrições legais;
- incerteza dos mercados, uma vez que dependem da boa vontade dos compradores de produtos reciclados.

As vantagens da reciclagem residem em:

- minimização de resíduos para deposição final;
- aumento da flexibilidade dos aterros sanitários;
- melhoramento das condições de saúde;
- redução dos impactos ambientais;
- economia de energia e de recursos naturais.

O melhoramento do mercado da reciclagem ou o seu aparecimento como forma económica auto-sustentada, depende também de medidas governamentais, especialmente na fase de arranque, das quais são destacadas:

- incentivos fiscais às indústrias que utilizam material reciclado numa percentagem mínima a fixar para cada indústria;
- incentivos para a recolha selectiva;
- incentivos para a criação de bolsas de resíduos;
- incentivos a parcerias (indústria/comércio/consumidores);
- taxação de produtos de baixa vida útil;
- taxação extra na deposição de recicláveis em aterros sanitários, onerando os seus detentores (privados ou públicos).

Para uma melhor interiorização da importância desta tecnologia de tratamento pode referir-se que a EPA estima que um aumento de 1% na reciclagem de RSU, nos Estados Unidos, reduza as emissões de CO₂ em valores equivalentes à retirada de 1,2 milhões de carros das ruas [4].

A retoma de resíduos é um factor importante para a gestão de RSU sendo esta assegurada em Portugal pela SPV, que exerce um papel fundamental, através da garantia de retoma, valorização e reciclagem de resíduos de embalagens não reutilizáveis, urbanas e não urbanas. A quantidade retomada por material para os anos de 1999, 2000 e 2001, encontra-se expressa na Figura 4.1.

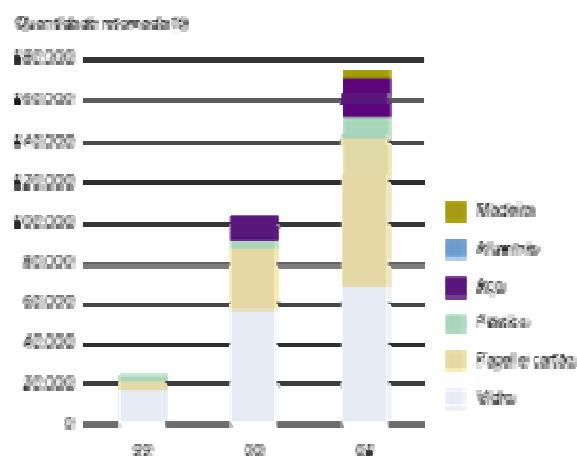


Figura 4.1 Quantidades retomadas por cada tipo de material [23]

A seguir são apresentadas as técnicas de reciclagem mais utilizadas para alguns fluxos e/ou fileiras de resíduos [7].

4.1.2.1 Reciclagem de embalagens de plástico

As embalagens de plástico recolhidas selectivamente são posteriormente separadas em pelo menos cinco categorias diferentes: PET, PEAD, Filme (PEAD e PEBD), PVC e PS. Estes resíduos são prensados e enfardados, sendo encaminhados para as empresas de reciclagem da categoria correspondente. Nestes locais são retirados os rótulos, tampas e materiais estranhos. Os plásticos são triturados e transformados em matéria granulada. Os materiais obtidos podem ser incorporados no fabrico de novas embalagens ou objectos, como as fibras têxteis para vestuário, tubagens, vasos, mobiliário de jardim, entre outros, conforme poderá ser visualizado na Figura 4.2.

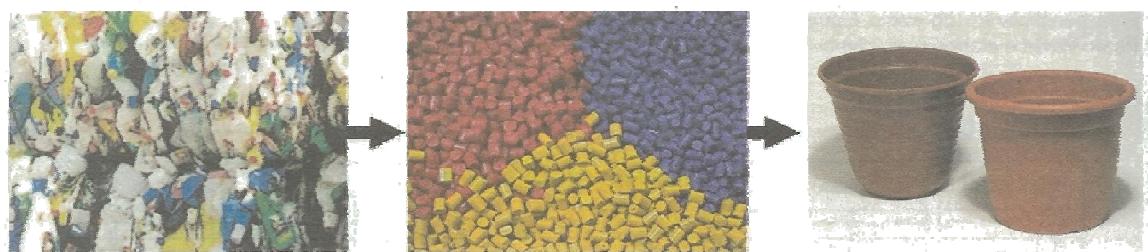


Figura 4.2 Reciclagem de plásticos [7]

4.1.2.2 Reciclagem de embalagens de metal

Os resíduos de embalagens de metal são constituídos por metais ferrosos e não ferrosos. Após a sua separação, os metais ferrosos, como o aço, são fundidos, moldados e usados no fabrico de novas embalagens.

Os metais não ferrosos, como o alumínio, podem ser reciclados da mesma forma, originando púcaros, cafeteiras, peças para automóveis, esquentadores, fogões, entre outros, como apresentado na Figura 4.3.



Figura 4.3 Reciclagem de metais [7]

4.1.2.3 Reciclagem de papel/cartão

Os resíduos de embalagens de papel/cartão recolhidos do contentor azul são separados por categorias ou tipologias diferentes, como as embalagens de cartão canelado, embalagens de cartão compacto ou cartolina, embalagens de cartão complexo (*TetraPak*), embalagens de papel e papel de embalagens. Estes resíduos são posteriormente enfardados e encaminhados para empresas de reciclagem.

Nestes locais, os resíduos são mergulhados em água e passam num depurador para remoção de impurezas. Estes dois processos permitem separar as fibras. Esta massa é posteriormente seca e transformada em folhas de papel ou cartão. A sua aplicação estende-se a sacos de papel, papel de embrulho, papel higiénico, papel de escrita e novas embalagens.

As embalagens de cartão complexo são constituídas por papel, polietileno e alumínio. Estas embalagens são sujeitas a centrifugação, onde são separadas as fibras do papel que podem ser usadas na reciclagem de papel. O alumínio pode ser aproveitado nas aplicações já referidas. O polietileno pode ser utilizado como fonte de energia nos processos de reciclagem das embalagens.

4.1.2.4 Reciclagem de embalagens de vidro

O vidro recolhido no ecoponto verde é encaminhado directamente para as empresas de reciclagem, onde são retirados os materiais estranhos, como cerâmicas, pedras, cápsulas de alumínio ou estanho e outros materiais que possam constituir impurezas neste processo. No entanto, poderá haver materiais, como o cristal, vidro de laboratório ou vidro espelhado que não poderá ser removido, baixando a qualidade do produto final.

4.1.2.5 Reciclagem de embalagens de madeira

Os resíduos de madeira recolhidos nos ecocentros são posteriormente encaminhados para unidades que permitem triturá-los para obter estilhaç⁴, que poderá ser usada em aglomerados de madeira, na construção civil e na produção de mobiliário.

4.1.2.6 Reciclagem de Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (REEE)

O diploma legal que estabelece o regime jurídico relativo à gestão deste fluxo é o Decreto-Lei n.º 20/2002, de 30 de Janeiro, que atribui aos produtores/importadores a responsabilidade pela correcta gestão dos seus equipamentos electrónicos quando estes atingem o final de vida útil.

As tecnologias de tratamento deste tipo de materiais são muito diversificadas, podendo ser apresentado na Figura 4.4 um fluxograma simplificado das mais utilizadas para a reciclagem de alguns resíduos electrónicos.

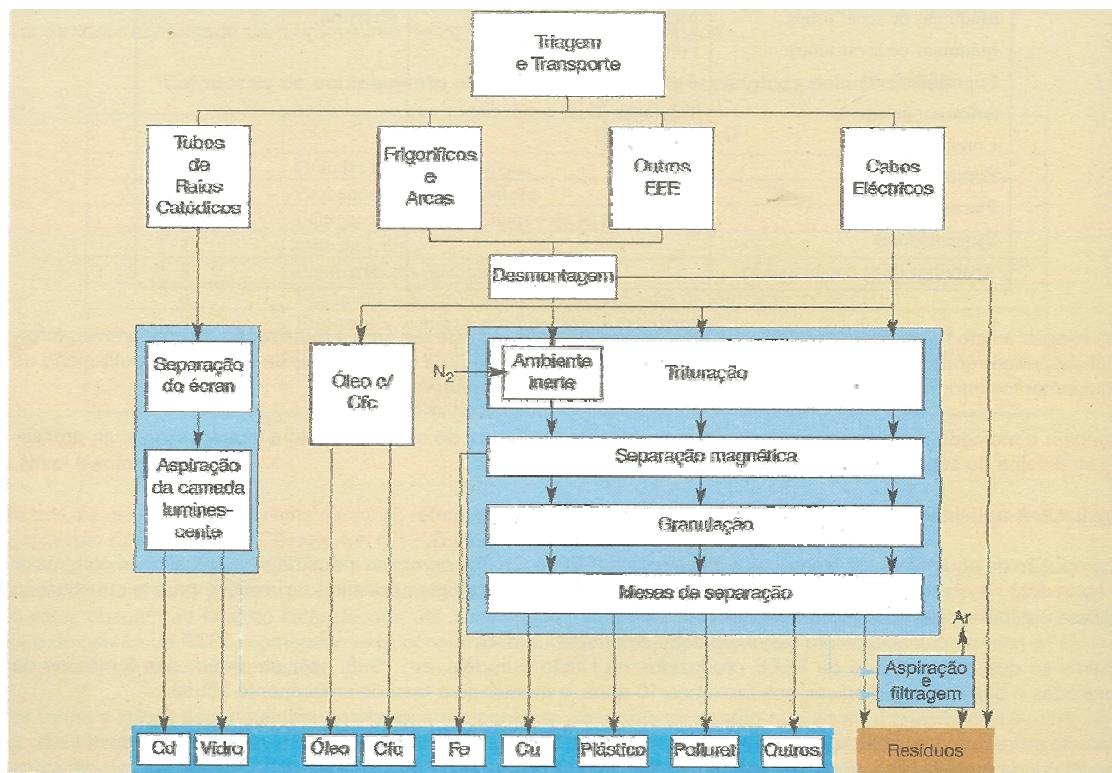


Figura 4.4 Fluxograma de reciclagem para alguns REEE [7]

⁴ Pequenos pedaços de madeira

4.1.2.7 Reciclagem de Pneus Usados

O Decreto-Lei n.º 111/2001, de 6 de Abril, estabelece os princípios e as normas aplicáveis à gestão de pneus e pneus usados, tendo como objectivos principais a produção destes resíduos, a recauchutagem, a reciclagem e outras formas de valorização. Este diploma apresenta como objectivos de gestão até Janeiro de 2003, a recolha de 85% dos pneus colocados anualmente no mercado, a recauchutagem de 25% dos pneus colocados e a valorização da totalidade dos pneus recolhidos e não recauchutados, devendo existir uma reciclagem de 60%. Até Janeiro de 2007 impõe que sejam recolhidos anualmente 95% dos pneus colocados no mercado, procedendo a uma recauchutagem anual de 30% dos pneus existentes e à valorização da totalidade dos pneus recolhidos e não recauchutados, sendo que deverão ser reciclados 65%, no mínimo.

A reciclagem de pneus é normalmente efectuada tendo em conta o processo de extração do aro metálico dos pneus de maior dimensão, a Trituração em pequenas dimensões, solidificação dos fragmentos por um processo criogénico, a moagem e separação do arame e do têxtil, sendo por fim ensacados. As várias aplicações deste material prendem-se com a pavimentação das estradas, fabrico de pisos, construção de relvados de futebol, entre outras.

4.2 Valorização Orgânica

A fracção orgânica constitui cerca de 60% dos resíduos sólidos urbanos produzidos em Portugal, podendo variar entre 45 a 60% em outros países.

A Valorização Orgânica é um processo de tratamento que tem como principal produto final um composto ou digerido que pode ser utilizado na agricultura.

Como principais tecnologias aplicadas à escala industrial, podem ser apresentadas a compostagem e a digestão anaeróbia, divergindo na produção de energia eléctrica, unicamente possível para esta última.

A compostagem e a digestão anaeróbia são processos de valorização biológica que permitem estabilizar a matéria orgânica num produto rico em húmus que poderá ser colocado no solo para fornecimento de nutrientes. A principal diferença entre os dois processos reside na presença e na ausência de oxigénio, respectivamente.

A valorização biológica tem um enorme potencial de implementação em regiões onde predomina o sector primário e onde se verifica uma maior ocupação agrícola e florestal.

4.2.1 *Compostagem*

A compostagem foi usada pelos agricultores durante séculos, os quais utilizavam o estrume, restos de cozinha e outros tipos de resíduos orgânicos dispostos em pilhas e deixados a decompor e estabilizar, sendo posteriormente colocados no solo para a sua fertilização.

Na Portaria n.º 15/96 de 23 de Janeiro, na alínea i) do n.º 3, define-se compostagem como um processo de reciclagem onde há degradação biológica aeróbia ou anaeróbia de resíduos orgânicos, de modo a proceder à sua estabilização, produzindo uma substância húmica, utilizável em algumas circunstâncias como condicionador do solo. Esta definição é pouco utilizada dado que actualmente considera-se a compostagem como um processo aeróbio.

Desta forma, pode dizer-se que a compostagem constitui um processo de tratamento controlado de oxidação biológica, no qual a matéria orgânica é decomposta por acção de uma população mista de microorganismos, num ambiente quente e húmido, na presença de oxigénio (em regime aeróbio).

Este processo pode ser definido como compreendendo duas etapas principais: uma decomposição biológica e uma estabilização final de substratos orgânicos (humificação). As reacções bioquímicas de degradação da matéria orgânica processam-se em ambiente predominantemente termofílico, também designado por fase de higienização, que é resultado da liberação do calor produzido biologicamente na degradação da matéria orgânica, tendo uma duração de 25 a 30 dias. A etapa de humificação, realizada em pilhas ou leiras de compostagem, dá-se entre 30 e 60 dias, dependendo da temperatura, humidade, composição da matéria orgânica (concentração de nutrientes) e condições de arejamento.

A matéria orgânica a compostar pode ser classificada como rapidamente biodegradável, moderadamente biodegradável ou dificilmente degradável.

Um sistema de compostagem pode compreender uma grande variedade de microorganismos aeróbios mesofílicos, termotolerantes e termofílicos, consoante a etapa do processo.

As bactérias e fungos mesofílicos e termotolerantes dominam as primeiras fases do processo, a uma temperatura de 20-40 °C. Nesta etapa ocorre a degradação microbiológica dos compostos de carbono mais simples, provocando um aumento de temperatura. As transformações são provocadas pela acção de bactérias e fungos mesofílicos e termotolerantes que degradam os compostos de carbono mais simples. Este processo pode ser descrito pela seguinte reacção exotérmica:



Nesta etapa, denominada por higienização, são atingidas temperaturas de 55 a 70 °C, o que permite eliminar eficazmente os microorganismos patogénicos e outros agentes infestantes, verificando-se uma redução da população microbiana.

Após 10-15 dias, a temperatura do composto decresce para valores inferiores a 50 °C. Esta segunda etapa, denominada por arrefecimento, comprehende a degradação da fracção orgânica e dos materiais mais complexos que não foram degradados na primeira, como os polímeros e os compostos húmicos. A actividade biológica da pilha de compostagem é suficientemente baixa para permitir o repovoamento de actinomicetes mesofílicos termotolerantes e fungos [24].

Por fim, a fase de maturação, efectuada à temperatura ambiente, consiste na biodegradação lenta das substâncias húmicas, como a celulose, hemicelulose, lenhina, amido e outros polímeros, permitindo obter uma matéria orgânica estável.

A Figura 4.5 reflecte o balanço geral do processo de compostagem.

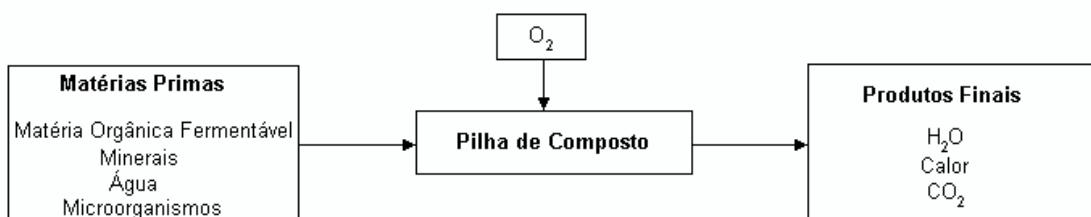


Figura 4.5 Esquema geral do processo de compostagem [7]

A compostagem permite reduzir e reciclar eficazmente a matéria putrescível dos RSU, através da conversão num produto final estável e rico em húmus, denominado por composto, que pode ser aplicado na agricultura (como fertilizante, corrector de solos ou

meio de crescimento), evitando a lixiviação, ao contrário dos adubos químicos, sendo também aplicado na contenção de encostas, no combate da erosão e como cobertura diária dos aterros, depois de estabilizado, garantindo assim a inexistência de ameaças de impactes ambientais adversos ou de saúde pública.

O composto permite devolver à terra os nutrientes que ela necessita, aumentando a sua capacidade de retenção de água, permitindo o controlo da erosão e evitando o recurso aos fertilizantes químicos. Por outro lado, evita a deposição de uma quantidade substancial de resíduos em aterros, eliminando a produção de lixiviados e biogás do mesmo.

A aceitação do composto obtido no mercado depende de alguns critérios como o preço, a qualidade, a consistência do produto e garantias em como o produto estará livre de metais pesados, vidro e outros materiais inertes, bem como de agentes patogénicos, pelo que este produto deve obedecer às exigências nacionais e comunitárias em termos de concentrações limite de metais pesados e agentes patogénicos. Neste sentido, é aconselhável utilizar apenas matéria orgânica para a produção deste composto, devendo serem tomadas medidas em relação ao estabelecimento de programas de recolha selectiva deste tipo de resíduos, evitando assim possíveis contaminações com outros materiais e permitindo obter um produto de melhor qualidade. Esta opção deve ser considerada tendo em conta a realização de uma análise económica do sistema.

A viabilidade económica deste tipo de unidades reside na existência de um mercado de procura do composto, pelo que a sua qualidade é deveras importante. Desta forma, é preferível utilizar os resíduos verdes, provenientes da limpeza de jardins, cortes de árvores, agricultura e resíduos alimentares. A introdução de resíduos com elevado teor de contaminação, principalmente de metais pesados, é desaconselhada, uma vez que este tipo de processo não é eficiente na remoção de contaminantes.

Se houver uma ineficiente exploração do sistema, poderá haver libertação de gases e o transporte de metais para o solo.

Para evitar a presença de metais deverão ser efectuadas periodicamente análises ao composto, imposição de níveis máximos de aplicação do composto no solo e serem desenvolvidas tecnologias de pré-tratamento mais eficazes na redução de contaminantes.

Os gases produzidos durante o mecanismo de degradação da matéria orgânica são o dióxido de carbono e a água, podendo também ser libertados em baixas concentrações compostos de enxofre e de amoníaco, causando a libertação de odores desagradáveis.

As tecnologias de compostagem mais recentes permitem minimizar a libertação dos odores para o meio envolvente através da implementação de sistemas de captação e tratamento dos gases gerados. Por outro lado, poderá ser prevenida a formação destes odores através da selecção e mistura do material a compostar e do controlo do arejamento do processo, evitando situações de anaerobiose.

O tratamento de gases consiste na captação dos efluentes gasosos libertados pela matéria em decomposição e pelo seu encaminhamento para um biofiltro.

O biofiltro é constituído por uma camada inferior de brita, através da qual é insuflado o ar contaminado, sobre a qual se encontra um leito com uma camada de suporte aos microorganismos, que pode ser estilha ou casca de árvore, veiculados pela adição de composto ou turfa, permitindo assim a absorção e biodegradação dos odores. Esta camada biológica deve ter um teor de humidade adequado à manutenção dos microorganismos, pelo que poderá ser colocado no topo uma camada permeável e protectora da acção de raios solares ou utilizar um sistema conjunto de saturação em vapor de água do ar contaminado e um sistema de rega do biofiltro. A Figura 4.6 apresenta o recurso a “carrasca⁵” como cobertura permeável e protectora. A Figura 4.7 apresenta um corte de um biofiltro com as várias camadas que o caracterizam [7].



Figura 4.6 Cobertura de um biofiltro [7]

⁵ Casca da base do tronco de pinheiros com uma certa maturidade

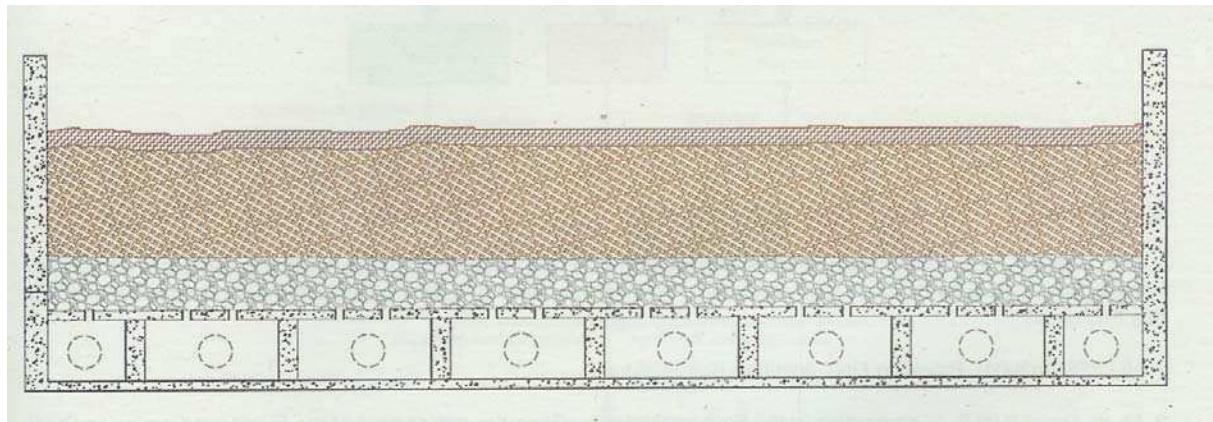


Figura 4.7 Camadas existentes num biofiltro [7]

Poderá existir um lavador de gases (tipo *scrubber*) a montante do filtro, de modo a captar gases que não são facilmente degradados, como o amoníaco.

Os efluentes líquidos resultantes do processo de tratamento são normalmente recirculados para o meio do processo de compostagem permitindo controlar o teor de humidade do processo podendo, quando em excesso, ser tratados numa ETAR.

Os resíduos deste processo de tratamento baseiam-se nos materiais biologicamente inertes e papel sujo separado e não encaminhado para reciclagem, pelo que em muitas unidades justifica-se a existência de sistemas de compactação e enfardamento.

Actualmente existem vários tipos de sistemas de compostagem destinados à reciclagem orgânica dos RSU ou de outras origens, com capacidade para os transformar em compostos orgânicos com propriedades fertilizantes e estruturantes do solo.

A compostagem poderá ser feita através da utilização de:

- centrais de compostagem de grande dimensão;
- estações de compostagem de média dimensão, para o tratamento de resíduos de uma determinada zona, utilizando resíduos de várias fontes;
- estações de compostagem domésticas destinadas a tratar os resíduos de um pequeno aglomerado populacional, utilizando resíduos de uma única fonte.

As estações domésticas são usadas para um número significativo de habitantes que possua quintais ou jardins com espaço suficiente para a instalação de um compostor. Este tipo de tratamento requer que os resíduos a compostar sejam essencialmente vegetais, de modo a ser mais fácil efectuar o controlo do processo.

As estações de média dimensão são usadas para proporcionar a gestão de resíduos a um número reduzido de pessoas e a um custo reduzido. Utilizam-se os resíduos de um determinado número de habitações, estabelecimentos e outros. A compostagem é efectuada em terrenos disponíveis e processa cerca de 5 toneladas de resíduos por dia. Estas unidades devem ser acessíveis, devidamente controladas e possuírem equipamentos que permitam tratar os lixiviados resultantes do processo.

As centrais de compostagem podem ser de escala municipal, tratando cerca de 2 a 50 toneladas de resíduos por dia. Podem também existir estações centralizadas de grande dimensão, divergindo no tamanho e tipo de gestão, uma vez que podem receber entre 10 a 200 toneladas de resíduos por dia.

Um sistema típico de compostagem aeróbia inclui uma etapa de pré-processamento, uma etapa de biodegradação aeróbia e uma etapa de maturação [25].

Na valorização orgânica a degradação aeróbia de substratos facilmente biodegradáveis é mais eficaz e permite inactivar organismos indesejáveis pela elevação da temperatura da pilha.

As causas de insucesso da compostagem devem-se aos seguintes problemas técnicos e económicos:

- existência de maus cheiros que provocaram desde sempre fortes contestações populares;
- elevados custos de operação e manutenção;
- elevados custos de transporte;
- má qualidade do produto final;
- deficiente conhecimento do processo de compostagem;
- fraco mercado pela competição com os fertilizantes químicos.

A viabilidade técnica depende dos seguintes factores:

- fluxo de resíduos passível de degradação biológica;
- eficiente separação dos resíduos.

Por outro lado, a viabilidade económica do processo depende de:

- possíveis compradores que deverão situar-se próximo do local para minimizar os custos de transporte;

- a entidade produtora deverá transportar o composto aos seus compradores;
- o composto deve possuir um preço inferior aos fertilizantes existentes no mercado.

O valor do composto depende da procura, da qualidade e da aceitabilidade por parte dos utilizadores.

O incentivo à comercialização deste produto pode ser efectuado de diversas formas:

- estimulação governamental para o mercado do composto;
- estabelecimento de normas de qualidade do composto e sua aplicação;
- incentivo à utilização do composto no sector público e como cobertura diária ou final do aterro.
- subsidiar o preço do composto;
- desincentivar o mercado de fertilizantes químicos, através da colocação de restrições de utilização para determinados casos.

Os RSU provenientes de recolha selectiva ou de recolha diferenciada, são sujeitos a um pré-tratamento, de modo a retirar os materiais indesejáveis e a seleccionar e homogeneizar granulometricamente a matéria a compostar. Este pré-tratamento consiste na preparação dos resíduos brutos para a fase de fermentação, através do recurso a operações de redução de tamanho dos materiais por processos de Trituração e Crivagem dos materiais indesejáveis.

4.2.1.1 Pré-Tratamento

Os resíduos são materiais heterogéneos que se apresentam segundo diferentes formas, composições e tamanhos, dificultando muitas vezes o seu tratamento, valorização e eliminação.

A valorização orgânica dos resíduos por compostagem impõe que sejam:

- recuperados os materiais recicláveis ou combustíveis como matéria-prima secundária;

- reduzidos os materiais inertes existentes no composto (como o vidro, plásticos, metais);
- reduzido o teor de contaminantes químicos.

Neste sentido, têm vindo a ser adoptadas metodologias que visem a separação dos resíduos através da realização de um pré-tratamento. Como exemplo, pode referir-se que para a redução do tamanho das partículas deverá ser utilizado um triturador. Para a desidratação de resíduos com excesso de humidade, podem ser utilizados equipamentos de evaporação ou absorção do excesso de água. Os finos têm tendência a compactar-se pelo que a sua mistura com material granular permitirá aumentar a porosidade e a estruturação. Por outro lado, não existem equipamentos químicos adequados para efectuar a separação dos metais pesados e dos contaminantes químicos.

Actualmente, tem-se ainda verificado que a separação manual é mais precisa. No entanto, podem ser utilizadas tecnologias que permitem realizar a separação por densidade ou electromagneticamente.

A seguir irão ser apresentadas as principais técnicas utilizadas no pré-tratamento de resíduos para compostagem ou para outro tipo de valorização.

, Separação Manual

Este tipo de separação pode ocorrer em diversos pontos do fluxo de resíduos. É caracterizado por ser uma separação desconfortável e possuir maiores riscos para a segurança e higiene dos trabalhadores, pelo que deverão ser considerados os parâmetros ergonómicos e de segurança durante a fase de projecto de uma unidade de separação desta tipologia. A Figura 4.8 apresenta um conjunto de trabalhadores a realizar este tipo separação.



Figura 4.8 Triagem manual [26]

, Separação por Crivagem

Esta separação permite peneirar o resíduo utilizando peneiras rotativas que poderão ter formas cilíndricas, prismáticas ou planas vibratórias. Esta tecnologia permite separar por tamanho de partículas, separando os resíduos de tamanho fino, médio ou superior (plásticos, papeis e outros materiais a enviar para reciclagem). O tipo de peneiro a utilizar baseia-se no material a separar; por exemplo, para os resíduos húmidos as peneiras planas vibratórias são pouco eficientes, sendo as rotativas mais eficientes.

, Separação Magnética

É uma tecnologia utilizada para separar metais ferrosos. Consiste num tambor rotativo com magnetos ou correias magnéticas que separam os metais ferrosos dos restantes. A eficiência do equipamento depende da profundidade a que os resíduos se encontram no separador. Os metais ferrosos de pequeno tamanho não serão separados, bem como os que estiverem acoplados a metais não ferrosos, podendo utilizar-se para estes casos a separação por ar.

, Separação pela Corrente de Eddy

Este tipo de tecnologia é utilizada para realizar a separação de metais não ferrosos, devendo ser implantada após a separação magnética para evitar o contacto com os metais ferrosos. A Figura 4.9 apresenta um exemplo deste tipo de equipamento, baseado na aplicação de forças repulsivas em bons condutores eléctricos.

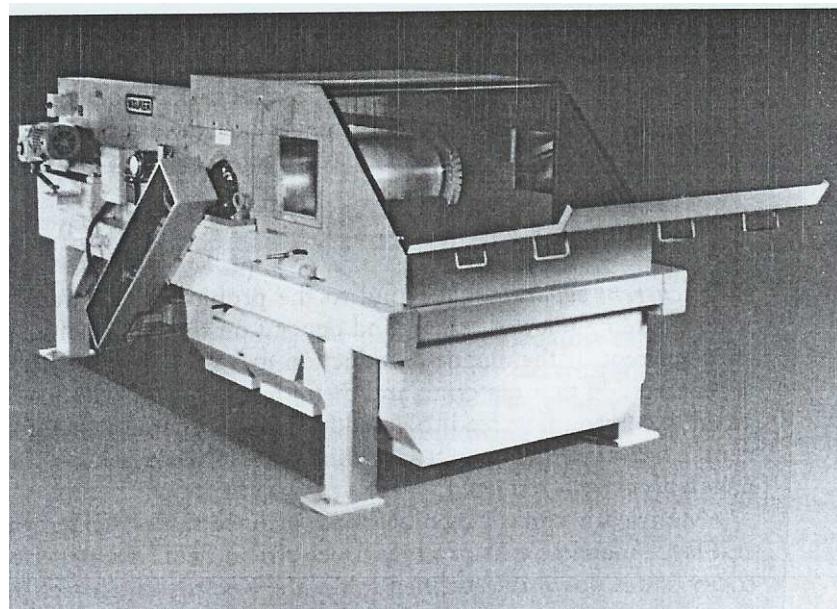


Figura 4.9 Separador por corrente de *Eddy* [1]

, Separação por Corrente de Ar

Esta técnica permite separar os materiais mais leves dos mais pesados. A aplicação deste sistema consiste na utilização de uma coluna atravessada por uma corrente de ar vertical, na qual são introduzidos gravitacionalmente os resíduos. Os resíduos de menor densidade são transportados pela corrente e os mais densos caem na coluna por ação da gravidade, como se exemplifica na Figura 4.10.

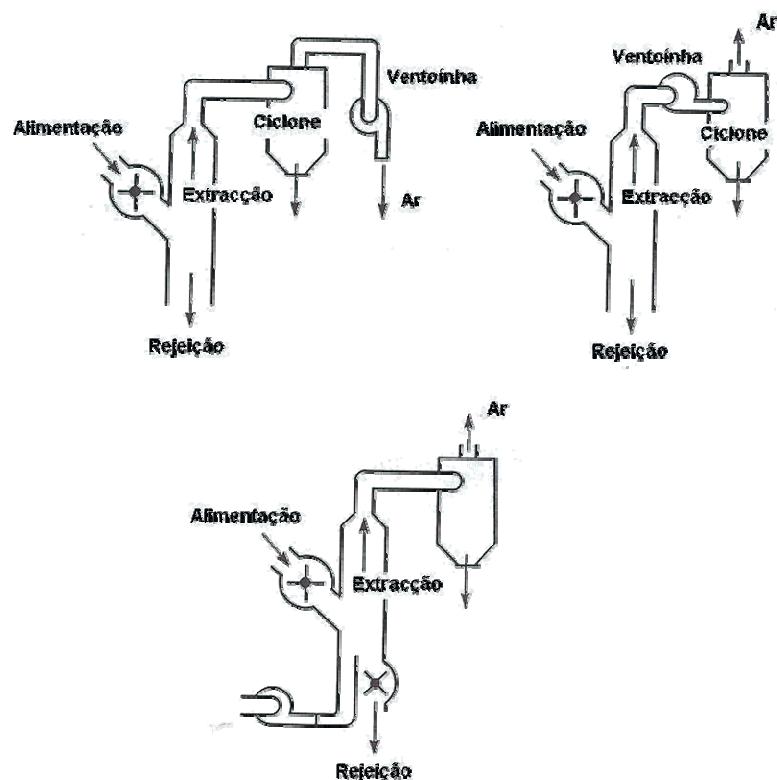


Figura 4.10 Exemplos de separadores por corrente de ar [1]

, Separação Balística

Esta técnica promove a separação de partículas inertes, de maior e menor densidade, e orgânicas, através da sua projecção por um mecanismo específico, seguindo diferentes trajectórias. Os materiais orgânicos, por exemplo, depositam-se perto do local de projecção e os inertes depositam-se mais longe.

Esta separação é mais eficiente que a separação por corrente de ar, podendo ser usada numa fase inicial ou final do processo. Por outro lado, esta separação é ineficaz para a remoção de contaminantes químicos. A Figura 4.11 apresenta um desenho de um separador balístico [1].

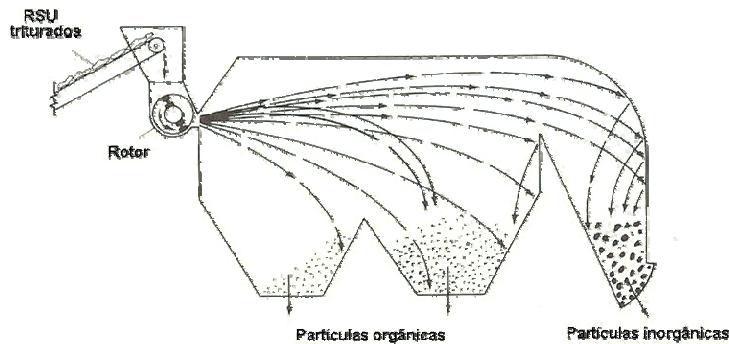


Figura 4.11 Exemplo de um separador balístico [12]

, Separação Óptica

A separação do vidro a partir das partículas opacas, como pedras, cerâmicas e cápsulas pode ser efectuada através da identificação das propriedades transparentes do vidro. A separação óptica pode ser utilizada para separar o vidro colorido do vidro não colorido. O vidro colorido pode por sua vez ser separado por cores. A Figura 4.12 representa uma unidade de separação de vidro. Funcionalmente existem quatro operações básicas: as partículas são mecanicamente introduzidas no separador; as partículas são inspecionadas opticamente; os resultados da inspecção são avaliados electronicamente e determinados tipos de partículas são removidos por uma corrente de ar [12].

O princípio de funcionamento baseia-se na entrada das partículas numa tina vibratória usada para controlar o caudal de entrada das partículas. A unidade contém um pequeno sensor e uma lâmpada usados para examinar as partículas. Quando é detectada uma partícula rejeitada, é produzido um sinal que acciona uma corrente de ar que direcciona a partícula para outro local. O grau de eficiência de separação é função do caudal de entrada das partículas.

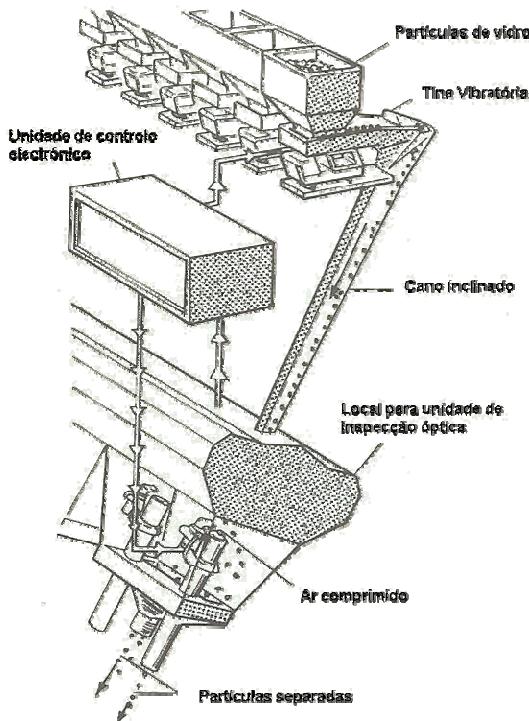


Figura 4.12 Esquema de um separador de vidro [12]

4.2.1.2 Factores que afectam a compostagem

As melhores condições de um processo de compostagem são adoptadas no sentido de maximizar a taxa de actividade biológica. As etapas de desenvolvimento da compostagem são as seguintes:

- fase de degradação biológica (inclui a ventilação forçada e o revolvimento regular);
- fase de arrefecimento;
- fase de maturação.

A Figura 4.13 apresenta as principais fases da compostagem, tendo em conta a variação de alguns parâmetros.

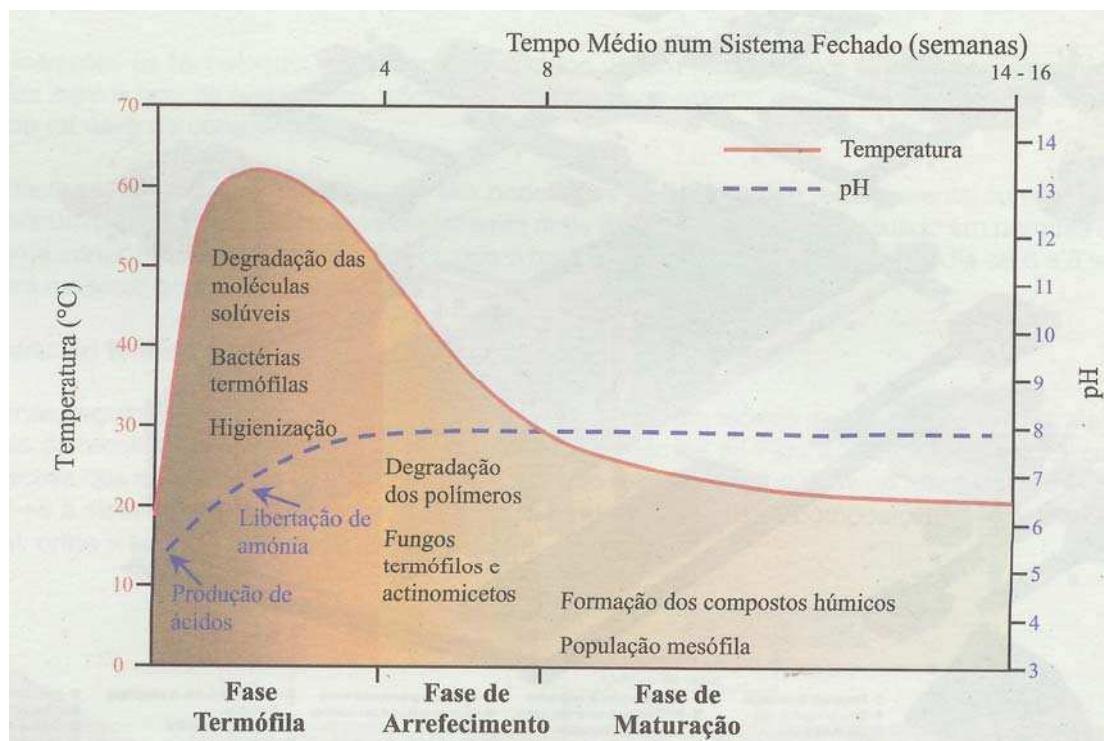


Figura 4.13 Principais fases de um processo de compostagem [7]

Os principais intervenientes na decomposição da matéria orgânica são os microorganismos, pelo que este processo deve ser periodicamente controlado, principalmente no que respeita aos parâmetros importantes ao seu desenvolvimento. Os principais factores que intervêm no processo de compostagem são: a temperatura, a quantidade de oxigénio, o teor de humidade, a relação carbono/azoto, o tamanho das partículas (granulometria), o valor de pH e o grau de compactação das partículas a compostar. Estes factores irão ser apresentados de forma mais pormenorizada em seguida.

, Temperatura

A temperatura influencia directamente a velocidade de degradação da matéria orgânica.

As elevadas temperaturas, com valores superiores a 75 °C, são necessárias para efectuar uma boa compostagem, garantindo a higienização do resíduo. No entanto, para estes valores, a temperatura é prejudicial para os microorganismos, inibindo o seu crescimento e provocando a morte dos microorganismos não termotolerantes, o que se traduz numa redução da taxa de decomposição. O excesso de temperatura inibe a acção de enzimas, retardando a actividade dos microorganismos e o processo.

Por outro lado, a temperatura influencia o consumo de oxigénio pelos microorganismos. Existem estudos que indicam um valor óptimo de temperatura situado entre os 50-55 °C e outros que apontam para valores de 45-70 °C. No entanto, deve-se ter em consideração que o processo de degradação é afectado por outros factores, pelo que a constituição dos valores óptimos dependem das restantes condições necessárias para o processo [22].

De qualquer modo, é importante controlar a temperatura para valores entre 55 e 70 °C, de modo a garantir a higienização do composto.

A manutenção de temperaturas na fase termófila permite efectuar a degradação activa, ou seja, o processo é acelerado, promovendo a eliminação de microorganismos patogénicos e de outras espécies inconvenientes, como ovos de helmintos, ovos de insectos e sementes de ervas daninhas.

Numa pilha de compostagem as temperaturas desenvolvem-se do seu interior para o exterior, descrevendo um perfil como o que é apresentado na Figura 4.14.

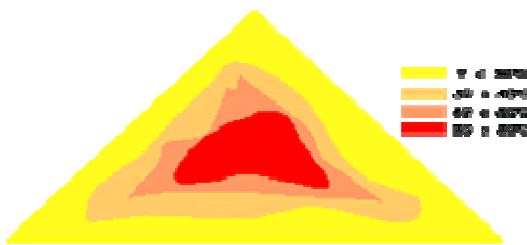


Figura 4.14 Perfil de temperaturas numa pilha de compostagem [22]

Têm vindo a serem efectuados estudos no sentido de determinar os intervalos óptimos de temperaturas que favoreçam a decomposição da matéria orgânica.

, Consumo de Oxigénio

A quantidade de oxigénio presente nos interstícios do material em degradação permite determinar o metabolismo e o tipo de microorganismos existentes no processo.

Com o consumo de oxigénio é produzido CO₂. Nos interstícios dos materiais a quantidade de O₂ é de 15-20% e a quantidade de CO₂ é de aproximadamente 0,5-5%. Para valores inferiores verifica-se uma diminuição dos microorganismos aeróbios e o processo

passa a ser anaeróbio, tornando mais lenta a decomposição da matéria orgânica e produzindo gases caracterizados pelos seus odores indesejáveis.

Desta forma o arejamento deve ser constante e suficiente para garantir a degradação aeróbia, sem alteração das actividades metabólicas dos microorganismos, tornando o processo de degradação mais rápido através da oxidação da matéria orgânica existente.

O controlo do arejamento é importante porque funciona indirectamente como controlador da temperatura e de humidade do processo e permite efectuar a remoção de odores.

É de salientar que num processo de compostagem é muito difícil eliminar completamente os odores desagradáveis. A heterogeneidade dos materiais presentes pode provocar o aparecimento de locais anaeróbios nas pilhas de compostagem e consequentemente o aparecimento de gases como a amónia.

, Teor de Humididade

A presença de água é necessária para os microorganismos efectuarem a degradação da matéria orgânica, sendo o valor teórico para o fornecimento de água de 100%. No entanto, o valor máximo é condicionado pela circulação de ar, sendo o seu valor limitante situado entre 45-60%, ou seja, é aconselhável utilizar valores do teor de humidade de 60% no início do processo, não devendo diminuir para valores inferiores a 40% durante o processo, caindo o risco de inibir a actividade microbiana [22].

, Relação C/N

É importante controlar a presença de carbono e azoto para garantir o fornecimento adequado de nutrientes de modo a que os microorganismos possam exercer a sua actividade. Estes elementos encontram-se nas células microbianas representando cerca de 50% para C e 2-8% para o N.

A relação C/N é dependente do microorganismo e do meio de crescimento, no qual se verifica uma perda de 2/3 de C para o CO₂ e 1/3 com o azoto nas reacções celulares.

A relação C/N é utilizada como um bom indicador da estabilidade biológica do composto, intervindo na qualidade do produto final.

O valor C/N varia com as características do material a compostar, pelo que a determinação do intervalo óptimo para a relação C/N tem sido alvo de estudos por parte de muitos investigadores, uma vez que o carbono é uma fonte de energia para os microorganismos e a presença de azoto é essencial para o crescimento e reprodução celular.

Para o crescimento dos microorganismos, a relação carbono/azoto deve ser na ordem de 30 para 1. Se a razão for muito baixa, a decomposição da matéria orgânica é acelerada, registando-se um rápido consumo de oxigénio, podendo originar situações de anaerobiose. Por outro lado, se este valor for elevado, a velocidade de degradação é baixa, retardando a decomposição da matéria orgânica [7].

Quando o material é rico em carbono (como a lenhina, celulose e hemicelulose), há maior dificuldade de ataque pelos microorganismos, pelo que é aconselhável ter uma maior relação de C/N, uma vez que o carbono biodisponível é inferior ao carbono total. O ataque dos microorganismos às lenhinas e celulose pode ser elevado através da Trituração do material e da mistura com material proveniente de instalações pecuárias, ricos em azoto.

Um avanço no grau de maturação verifica-se através de um decréscimo da relação C/N. Para materiais ricos em azoto, com baixo valor C/N, verifica-se um aumento desta relação devido à perda de azoto.

A utilização de um composto com elevada C/N no solo provoca a competição do azoto disponível entre os microorganismos e as plantas, enquanto que um teor baixo permite favorecer o desenvolvimento das plantas.

, Tamanho das Partículas

A granulometria das partículas influencia o arejamento e a estabilidade geométrica das pilhas de compostagem.

As partículas muito finas, com tamanho inferior a 2 mm, provocam um arejamento mais difícil, enquanto que partículas com maior dimensão, superiores a 16 mm facilitam o arejamento natural, sem necessidade de revolvimentos contínuos. No entanto, verifica-se que em partículas de menor dimensão há um maior ataque dos microorganismos, pelo que é necessário determinar um intervalo óptimo que permita facilitar o processo de degradação biológica.

Por outro lado, um elevado grau de compactação dos materiais impede a circulação de ar na pilha o que implicará uma redução da degradação da matéria orgânica e a passagem a regime anaeróbio.

Existem estudos que defendem a utilização de tamanhos de partículas de 20-50 mm para a matéria orgânica presente nos RSU, facilitando a formação de uma massa porosa que permita a passagem de oxigénio.

, pH

Os valores de pH necessários para facilitar o processo de compostagem devem estar próximos da neutralidade, ou seja, possuir valores compreendidos entre 5,5 e 8 por forma a garantir o ambiente adequado ao desenvolvimento de microorganismos. As bactérias preferem ambientes neutros, enquanto que os fungos preferem os ambientes ácidos.

O pH inicial é ligeiramente ácido, decrescendo por degradação da matéria em ácidos orgânicos. Este facto favorece o desenvolvimento dos microorganismos termófilos, que digerem o material carbonáceo complexo em ácidos orgânicos complexos. Por outro lado, verifica-se a libertação de amónia, elevando para pH 8 e estabilizando neste valor. No entanto, para processos anaeróbios, há uma diminuição do pH, com as consequências já referidas.

Os valores elevados de pH no início do processo, associados a elevadas temperaturas, provocam a perda de azoto por volatilização da amónia.

4.2.1.3 Classificação dos Sistemas de Compostagem

Os sistemas de compostagem podem ser classificados quanto ao ambiente, em sistemas abertos e sistemas fechados. Nos primeiros a compostagem é realizada ao ar livre, em pátios de maturação, em pilhas revolvidas ou pilhas estáticas arejadas (“windrow”). Nos segundos, em dispositivos especiais, designados por bioestabilizadores, digestores, torres e células de fermentação.

A Figura 4.15 apresenta as técnicas actualmente disponíveis para a compostagem.

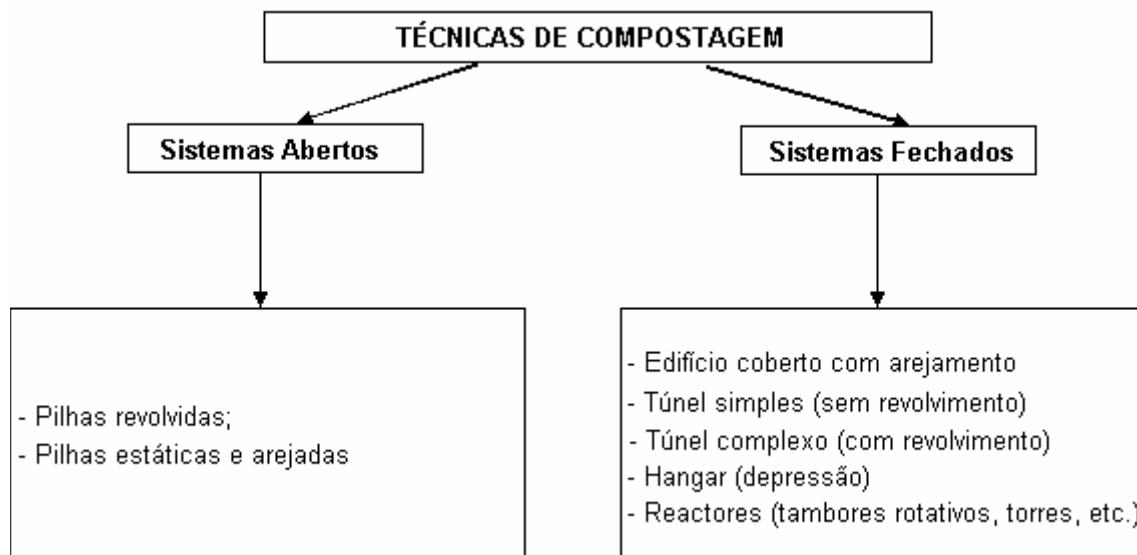


Figura 4.15 Técnicas de compostagem [7]

Os sistemas abertos de compostagem englobam técnicas de menor grau de complexidade que os sistemas fechados, apresentando menores custos de investimento e de exploração. Os sistemas abertos podem apresentar cheiros desagradáveis e são sensíveis às condições atmosféricas. São sistemas de difícil controlo, uma vez que a temperatura das pilhas é mais elevada no interior que no exterior. Aliado a este fenómeno, existem vários níveis de temperatura no interior das pilhas, promovendo diferentes tempos de compostagem, cuja duração mínima é de 12 semanas.

Os sistemas fechados são sistemas de fácil controlo, mais sofisticados que os sistemas abertos e apresentam um conjunto de tecnologias, como é o caso do processo Siloda®, que se baseia num conjunto de silos horizontais sequenciais, com revolvimento e controlo da humidade do processo.

Os custos deste tipo de tecnologias dependem do tipo de concepção da instalação, ou seja, do tipo de arejamento, método de revolvimento do composto e do sistema de controlo da humidade.

As tecnologias associadas à compostagem caracterizam-se por um período de compostagem relativamente curto e por um período de maturação mais longo. Nesta segunda fase, os sistemas fechados permitem reduzir o tempo de tratamento, diminuindo-se desta forma as áreas necessárias para implantação.

A Figura 4.16 apresenta um possível balanço mássico do processo de compostagem de RSU, em sistemas fechados, para recolha indiferenciada e recolha selectiva. Os valores

apresentados são baseados na composição média dos RSU em Portugal, com uma taxa de humidade de aproximadamente 65%.

Esta figura permite referir que, normalmente, durante o processo de compostagem é perdido cerca de 60% da matéria orgânica, obtendo-se vapor de água, dióxido de carbono e compostos orgânicos voláteis, 5% de inertes e 35% de composto.

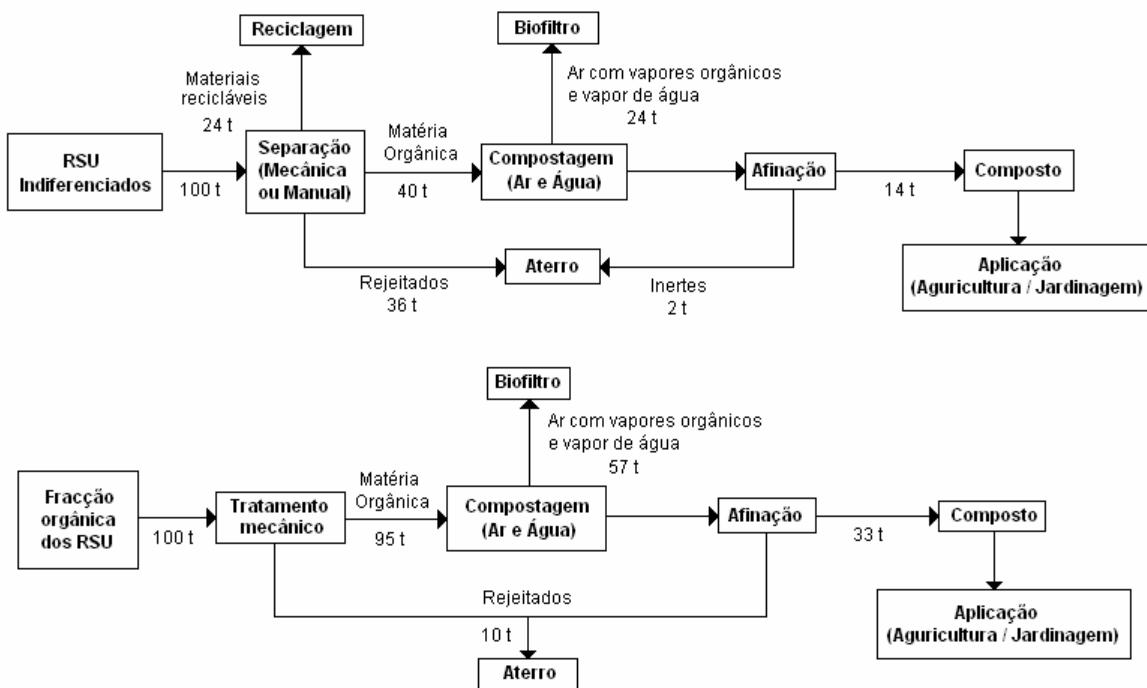


Figura 4.16 Balanço mássico da compostagem para recolha indiferenciada e diferenciada, respectivamente [7]

Por outro lado, pode classificar-se a compostagem quanto à temperatura, podendo ser denominada como criofílica ou psicrofílica, mesofílica e termofílica, de acordo com a etapa de operação dos microorganismos na degradação da matéria orgânica, conforme é apresentado na Tabela 4.1. Alguns investigadores sugerem que a etapa termofílica é a óptima para a compostagem (fase de degradação activa), no intervalo de 45 a 65°C [22].

O tipo de equipamento utilizado é a componente mais dispendiosa do processo de compostagem, pelo que deverão ser estudados as várias hipóteses para o sistema. Assim, pode-se utilizar a classificação em sistemas reactor e sistemas não-reactor.

Tabela 4.1 Classificação dos processos de compostagem em função da temperatura [22]

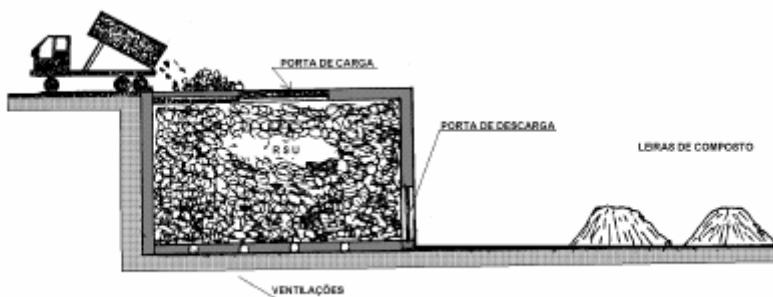
Intervalo de temperaturas			Autor
Psicrofílica ou Criofílica (°C)	Mesofílica (°C)	Termofílica (°C)	
4-15	15-45	45-65	Alexander
<4 ou 5	8-50	>50	Golneke
	15-25	45-65	Golneke
0-25	25-40	>45	Brock
-	20-45	>55	Stainer et al.
-	10-40	40-70	Cardenas e Wang
<20	20-40	>40	Biddlestone et al.

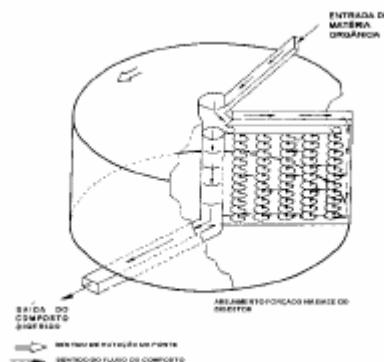
, Sistemas Reactor

Os sistemas reactor são caracterizados pela compostagem dos resíduos em ambiente fechado, tratando-se de um sistema que originou mais patentes.

Nestes sistemas poderão ser utilizados reactores verticais (contínuos ou descontínuos) e reactores horizontais ou inclinados (estáticos ou rotativos).

Uma das primeiras patentes registadas foi o de *Beccari*, em Itália, patenteado em 1922 e considerado como um processo acelerado de degradação dos resíduos urbanos, o qual pode ser visualizado através da Figura 4.17. O sistema de reactor de fluxo vertical com arejamento ascendente, patenteado por *Earp-Thomas* é igualmente um dos mais antigos sistemas fechados. Posteriormente destaca-se o sistema *Fairfield-Hardy*, apresentado na Figura 4.18, constituído por um reactor circular com agitadores verticais e desenvolvido nos EUA na década de 60, posteriormente optimizado por *Di Bartolomeis*, em Itália no ano de 1969 [22].

Figura 4.17 Sistema *Beccari* [22]

Figura 4.18 Sistema *Fairfield-Hardy* [22]

Também se podem encontrar reactores fechados em forma de tanques rectangulares, destacando-se a patente *Snell*, com 2,44 m de profundidade e inclinação de fundo de 6°, com arejamento por fluxo ascendente de ar forçado com 4 dias de retenção, dotado de agitação através de ponte com pás verticais para agitação do material [22].

Diversos sistemas de reactores verticais em diversos andares (torre) foram entretanto patenteados para produção de composto a partir de RSU.

Os sistemas de reactor horizontal ou levemente inclinado são igualmente patenteados, sendo um dos mais famosos o sistema *Dano*, apresentado na Figura 4.19, que se baseia num reactor rotativo muito utilizado em vários países. Outro reactor foi patenteado por *Fermascreen*, em forma de tambor hexagonal, em que 3 dos lados são crivos. O tempo de retenção neste reactor é de 4 dias [22].

Figura 4.19 Processo *Dano* [22]

O sistema *Metro-Waste*, é constituído por um tanque rectangular, com 3 m de profundidade por 6 x 60 a 120 m de comprimento e um tempo de detenção de 7 dias, com

agitação periódica por reviramento através do *agiloader* no seu movimento sobre trilhos como se demonstra na Figura 4.20 [22].

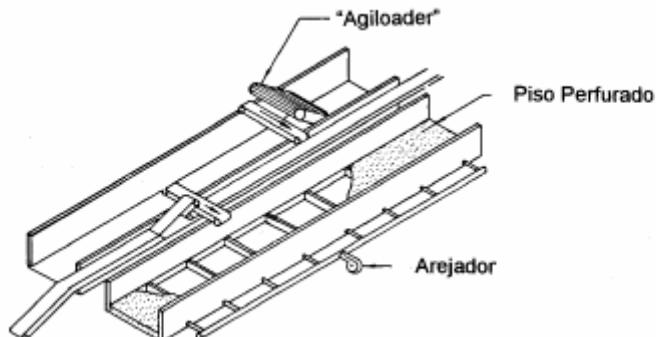


Figura 4.20 Sistema *Metro-Waste* [22]

No ano de 1970 é apresentado para a produção rápida de composto, em apenas 48 horas, um reactor fechado na forma de um tanque rectangular cuja patente é da empresa italiana *Sorain Cechini, S.A.*, de Roma [22].

, Sistemas Não – Reactor

Estes sistemas são caracterizados pela decomposição em espaços abertos, em pilhas ou leiras reviradas (tipo *Windrow*), em pilhas ou leiras estáticas com arejamento forçado por sucção de ar, indução de ar, ventilação alternada (sucção e indução) ou híbrido ou ainda por indução de ar conjugada com controlo da temperatura.

As Figuras 4.21 e 4.22 apresentam os esquemas para duas pilhas estáticas arejadas por insuflação e sucção, respectivamente.

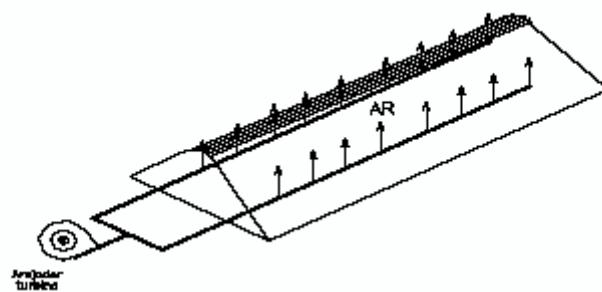


Figura 4.21 Exemplo de uma pilha estática arejada por insuflação [22]

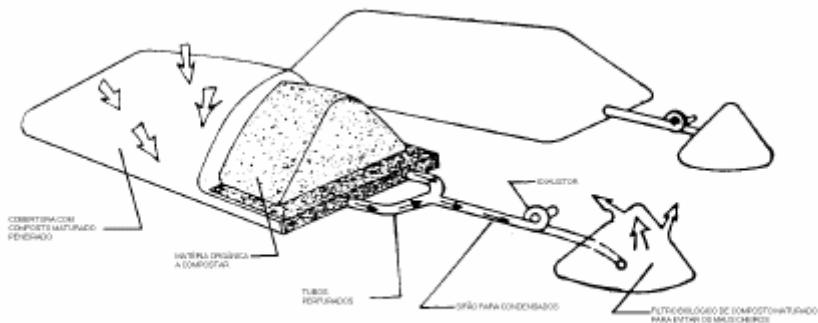


Figura 4.22 Exemplo de uma pilha estática arejada por sucção [22]

O arejamento das pilhas reviradas pode ser feito mecanicamente, por revolvimento do material a compostar ou manualmente, em pequenas pilhas (como a compostagem doméstica e programas de investigação em escala piloto). O revolvimento permite efectuar a oxigenação necessária para suportar a actividade microbiana em regime aeróbio.

As pilhas estáticas são mais eficientes uma vez que são arejadas de forma constante.

O processo das Pilhas Estáticas Arejadas (PEA) foi desenvolvido nos EUA, em *Beltsville*, e é usado para a compostagem de lamas de ETAR, desidratadas, digeridas ou não, misturadas com cavacos de madeira para absorver o excesso de humidade e dotar a pilha de porosidade que favoreça o arejamento. De uma forma sucinta, pode referir-se que este processo baseia-se na mistura das lamas e aparas de madeira, fazendo uma “cama” de material poroso (como palha), de modo a cobrir a tubagem de arejamento, construir a pilha ao longo da tubagem, cobri-la com composto maturado, para servir de filtro biológico e ligar o equipamento de arejamento. O material é degradado durante 21 dias, sendo depois colocado em armazém para posterior peneiração, de modo a proceder à separação dos cavacos de madeira do composto produzido, seguindo-se a fase de maturação. Mais recentemente foram efectuadas pesquisas que contribuíram para um melhor conhecimento deste sistema, designadamente quanto ao tipo de arejamento e o seu efeito no processo, a eficiência de inibição ou remoção de microrganismos patogénicos, a diminuição da fase de degradação activa e de maturação [22].

Como principais sistemas não reactores pode-se apresentar o sistema *Kiehl*, utilizado para a produção de composto em meios rurais, onde há abundância de restos vegetais e animais, conforme o exemplo da Figura 4.23. Este sistema utiliza os materiais provenientes de instalações pecuárias e agro-pecuárias, como o esterco dos estábulos e camas de

animais, cuja característica é a fermentação espontânea quando amontoados e irrigados, actuando como inoculantes ao serem misturados com os resíduos vegetais [22].

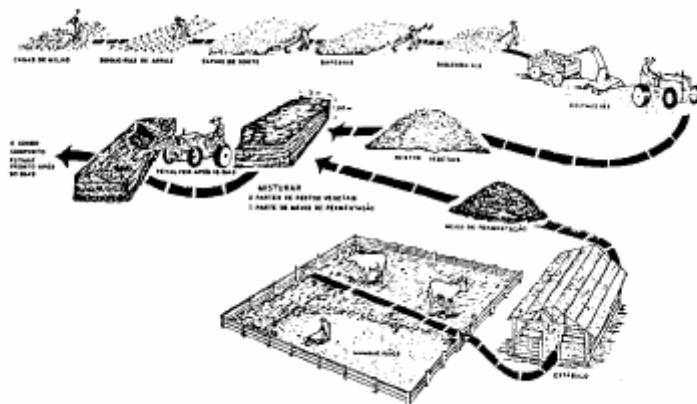


Figura 4.23 Montagem de uma pilha de materiais orgânicos em meios rurais [22]

4.2.1.4 Vantagens e Desvantagens da Compostagem

As principais vantagens da compostagem residem em:

- rápida decomposição microbiana e oxidação da matéria orgânica, estabilizando-a com a mínima produção de odores;
- redução da quantidade e volume de matéria orgânica a depositar em aterro;
- higienização do material devido às reacções exotérmicas de decomposição;
- consumo de menor quantidade de energia que outros sistemas de tratamento;
- produção de fertilizantes naturais menos poluentes, ao contrário dos fertilizantes químicos que geram a lixiviação, reduzindo o consumo de matérias-primas necessárias para a produção destes químicos;
- devolução de nutrientes ao solo;
- grande flexibilidade em escala de operação;
- processo de tratamento económico e com ganhos ambientais resultantes.

A compostagem permite converter matéria orgânica putrescível em formas refractárias (estáveis), destruir os microrganismos patogénicos e promover a desidratação de substâncias altamente húmidas como as lamas de estações de tratamento de águas residuais. A redução da humidade tem vantagens visuais de atracidade do produto para utilização e contribui para a significativa diminuição dos custos de transporte. Todas estas vantagens são obtidas com o mínimo custo de energia externa, dado que a maior parte da energia utilizada é oriunda do próprio processo metabólico.

Por outro lado, alguns fertilizantes químicos depositados no solo são assimilados por plantas de crescimento rápido, as quais depois de serem utilizadas na alimentação humana podem colocar em risco a saúde pública.

As desvantagens do processo de compostagem prendem-se com:

- resíduo pode não ser totalmente inerte necessitando de ser depositado;
- processo restringe-se a resíduos putrescíveis;
- grau de incerteza quanto à metodologia a adoptar;
- baixo valor de mercado devido à concorrência com fertilizantes;
- elevados custos de investimento para instalações de grande dimensão;
- necessidade de utilizar uma maior área de terreno disponível relativamente a outros processos de tratamento;
- utilização de maior intensidade de mão-de-obra, a qual poderá não ser especializada, gerando más condições de exploração com as nefastas consequências existentes;
- desvio dos resíduos biodegradáveis de aterros equipados com recuperação de biogás.

A compostagem é indicada quando a matéria orgânica possui baixos teores de humidade e contém elevadas concentrações de lenhina.

O exemplo da compostagem doméstica para zonas rurais, evita a deposição de resíduos em aterro e permite reduzir os custos de transporte associados.

4.2.2 Digestão Anaeróbia

A digestão anaeróbia ou biometanização consiste num processo biológico que se caracteriza pela decomposição da matéria orgânica na presença de organismos e na ausência de oxigénio. Os produtos obtidos baseiam-se na produção de material digerido e de biogás, que pode ser transformado em energia eléctrica. A Figura 4.24 apresenta um esquema deste tipo de tratamento, indicando as fases que o compõem e os grupos de microorganismos responsáveis pelo processo.

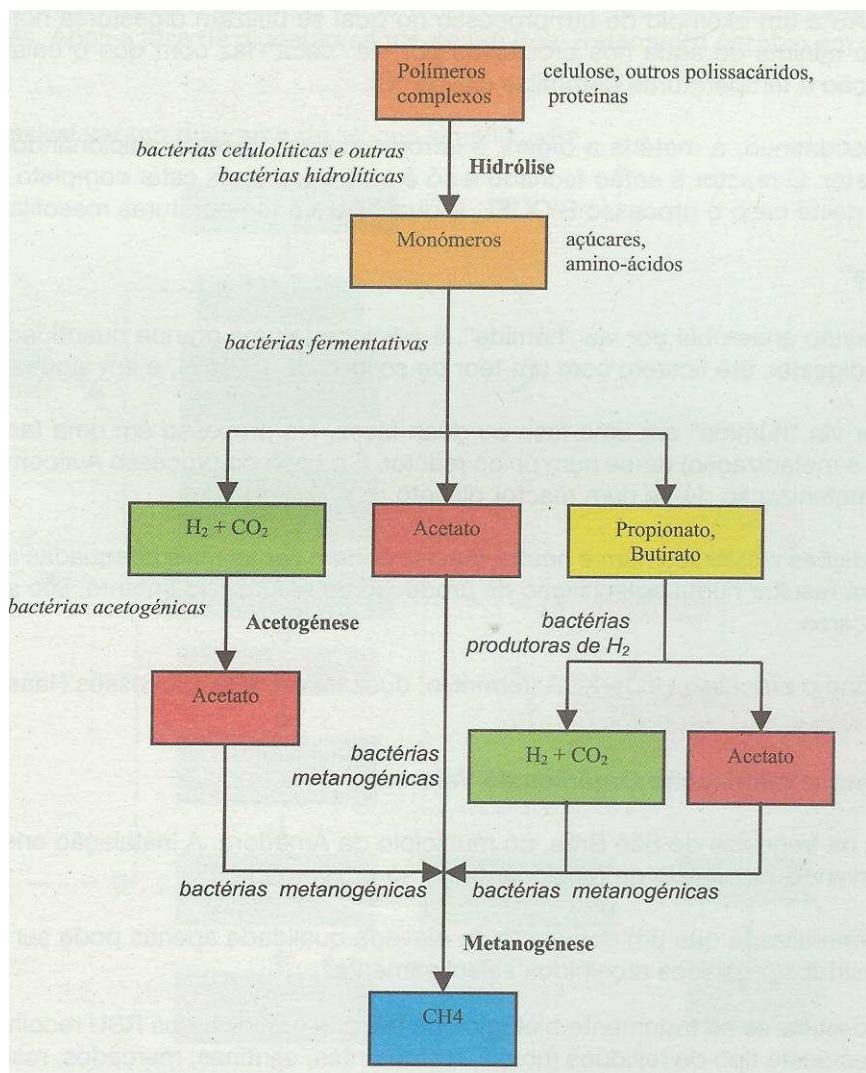


Figura 4.24 Esquema geral do processo de digestão anaeróbia [7]

A digestão dos resíduos é efectuada num reactor selado, aquecido na ausência de oxigénio, criando condições para a fermentação. Os produtos de digestão são o biogás, o digerido e os lixiviados.

O digestor necessita de ser aquecido e bem misturado para as bactérias converterem a matéria orgânica em biogás.

A digestão anaeróbia não permite degradar toda a matéria orgânica, como a lenhina, pelo que o potencial energético teórico é inferior ao da compostagem.

A digestão anaeróbia é indicada quando a matéria orgânica é facilmente biodegradável. Uma vez que o resíduo digerido não se encontra totalmente estabilizado, contendo compostos intermediários que deverão ser oxidados, poderá estar associado aos reactores de digestão uma unidade que permita a degradação aeróbia dos resíduos digeridos. Este tipo de tecnologia não é muito utilizada porque é bastante dispendiosa.

As reacções químicas decorrentes da decomposição anaeróbia dos RSU podem ser representadas pelo esquema seguinte:



A digestão anaeróbia tem uma produção de energia na ordem de 100 a 150 kWh por cada tonelada de resíduo que entra na instalação de tratamento. Devido a esta produção, pode referir-se que este processo tem capacidade de adquirir uma elevada viabilidade económica e comercialização de produtos finais aliciante.

A estabilização da matéria orgânica dá-se de uma forma lenta, não sendo atingidas temperaturas muito elevadas. O material obtido necessita de um tratamento posterior, antes de ser considerado um composto de qualidade aceitável.

A produção de biogás depende da composição e biodegradabilidade dos RSU, ou seja, dos microorganismos existentes, das suas condições de desenvolvimento e da temperatura de fermentação. É de notar que o crescimento dos microorganismos é muito lento à temperatura ambiente.

A Agência Internacional de Energia (IEA), refere que a maior parte das instalações de tratamento de resíduos com produção de biogás, consomem cerca de 20 a 40% da energia produzida pelo biogás, resultando numa produção bruta de electricidade de 70 a 105 kWh por tonelada de fracção orgânica de RSU processada, disponíveis para fornecimento exterior.

Os principais produtos do metabolismo são o dióxido de carbono e o metano, constituintes maioritários do biogás, sendo também produzidos como compostos intermediários os ácidos orgânicos de baixo peso molecular, com propriedades de volatilidade inerentes à produção de maus cheiros.

Neste processo são convertidos a biogás cerca de 30-40% dos sólidos digeridos. O biogás produzido pode ser queimado ou aproveitado para produção de energia eléctrica, aquecimento ou abastecimento de redes de gás. Poderão ser utilizados sistemas de co-geração em que uma parte da energia produzida é aproveitada para manter a temperatura do digestor.

As políticas ambientais de desenvolvimento sustentável relativas a preços de energia, tarifas, penalizações por consumos de energias fósseis, restrições à adopção de soluções de combustão de resíduos, aterros de matéria orgânica, vêm justificar mais este tipo de opções.

Depois de digeridos, os materiais são encaminhados para um tanque de armazenamento onde se continua a produção do biogás. Os resíduos digeridos podem ser posteriormente aplicados sobre o solo, sem qualquer tratamento adicional, podendo também serem utilizados na produção de fibras que podem ser aplicadas como correctivos de solo ou compostadas. Os lixiviados produzidos podem ser utilizados como fertilizantes líquidos, permitindo o fornecimento de nutrientes ao solo.

4.2.2.1 Classificação dos Sistemas de Digestão Anaeróbia

De uma forma geral, os processos de biometanização podem ser classificados de acordo com a matéria seca do substrato, em via seca (com uma concentração de sólidos totais superior a 25%) ou em via húmida (com uma concentração inferior a 25%). Por outro lado, é também possível classificá-lo tendo em conta a temperatura do processo, ou seja, como mesófilo (para 30 a 40 °C) ou termófilo (para 50 a 65 °C). Poderão também ser utilizadas tecnologias de uma ou duas fases, podendo efectuar todo o processo num único digestor ou realizar a metanização num digestor distinto.

, Tratamento por “via seca”

Este tipo de tratamento é caracterizado por um teor de sólidos de 20-40%.

Em processos que se realizam continuamente, parte do digerido é recirculado de novo para o digestor, funcionando como inóculo. As tecnologias em contínuo podem variar como sendo de mistura completa ou do tipo “pistão”.

Para digestores horizontais, basta adicionar uma mínima quantidade de água para que o balanço térmico global seja favorável a uma operação a temperaturas termófilas.

Os processos em descontínuo são caracterizados pela introdução de matéria a digerir no digestor, sendo adicionado uma parte do material já digerido de outro digestor. Estes processos operam normalmente a temperaturas mesófilas.

, Tratamento por via “húmida”

O tratamento por via húmida baseia-se na adição de uma grande quantidade de água aos resíduos antes destes entrarem no digestor, até obter um teor de sólidos igual ou inferior a 10-15%.

Este tipo de processo pode ser efectuado numa ou duas fases. Quando é efectuado numa fase, a hidrólise, acidificação e a metanização dá-se num único reactor, enquanto que em duas fases o processo de metanização verifica-se num reactor distinto.

Este tipo de sistemas apresenta uma maior complexidade e são mais caros quando comparados com os de “via seca”.

, Digestão mesofílica

Neste tipo de sistema o digestor é aquecido a 30-35 °C, permanecendo a matéria orgânica no digestor por um período de 15 a 30 dias. O processo mesofílico tem tendência a ser mais robusto e tolerante que o termofílico, produzindo menos biogás. Necessita de maiores tanques de digestão e a higienização do produto é feita separadamente.

, Digestão termofílica

Neste sistema, o digestor é aquecido a 55 °C e o tempo de residência é de 12 a 14 dias. Este sistema produz maior quantidade de biogás e tem maior capacidade de

higienização. No entanto, necessita de uma tecnologia mais dispendiosa, requer maiores quantidades de energia e exige um maior grau de operação e monitorização.

4.2.2.2 Vantagens e Desvantagens da Digestão Anaeróbia

As vantagens da digestão anaeróbia consistem em:

- produção de produtos com valor comercial, como o metano e outros condicionantes do solo;
- redução da emissão de gases para a atmosfera;
- redução da utilização de fontes não renováveis como os combustíveis fósseis;
- redução da utilização de matérias-primas para o fabrico de fertilizantes sintéticos;
- controlo de emissão de odores e outros poluentes, uma vez que o processo ocorre em sistema fechado;
- ocupação de menor espaço relativamente a estações de compostagem;
- redução significativa do volume de resíduos.

As desvantagens da digestão anaeróbia prendem-se com:

- investimento inicial e custos de operação muito elevados;
- necessidade de efectuar a recolha selectiva para evitar riscos de contaminação;
- tratamento apenas da matéria orgânica;
- escassez de mercado para o digerido;
- garantia da qualidade do produto final;
- produção de emissões e efluentes que deverão ser submetidos a tratamento adequado.

Embora este processo comparativamente à compostagem apresente a vantagem de reduzir o tempo de tratamento e de possibilitar a recuperação da energia produzida através

do biogás formado durante o processo de estabilização, é um método ainda em desenvolvimento. Além disso necessita de uma maior componente tecnológica para o controlo de alguns factores importantes, como temperatura, emissões gasosas e monitorização da qualidade do composto final.

A implementação de centrais de digestão anaeróbia em centros urbanos da Europa tem demonstrado excelentes resultados, em termos de aproveitamento do biogás e ausência de libertação de odores. Esta opção tem vindo a aumentar na Europa uma vez que o investimento é semelhante à estação de compostagem e apresenta custos de tratamento ligeiramente inferiores.

Em operações de mais baixa escala o investimento inicial para a digestão anaeróbia é geralmente superior. No entanto, as receitas obtidas no processo são superiores às da compostagem, pela venda do biogás produzido, além da comercialização do digerido.

4.2.3 Vermicultura

É um sistema que utiliza vermes (minhocas) na conversão de matéria orgânica em composto. Pode ser usado quando as temperaturas ambientes são muito baixas e permite obter um composto sem cheiros desagradáveis e rico em húmus e nutrientes.

Os vermes mais utilizados na compostagem são denominados por vermes vermelhos (*Eisenia foetida*) os quais podem ser visualizados na Figura 4.25.



Figura 4.25 Vermes utilizados na vermicultura [27]

Este tipo de compostagem permite a adição contínua de resíduos orgânicos sem causar problemas na degradação. Na situação ideal, os vermes podem-se alimentar do seu peso em matéria orgânica durante um dia.

As vantagens deste tipo de compostagem relativamente à tradicional residem em [4]:

- compostagem de resíduos orgânicos por vermes;

- produção de um material não-tóxico com um elevado valor económico como condicionador do solo;
- capacidade de funcionamento para todo o tipo de tecnologias disponíveis;
- redução da quantidade de resíduos em 90%;
- redução da população de agentes patogénicos e aumento da mineralização do composto, através da acção dos vermes;
- diminuição da concentração de metais pesados bio-disponíveis;
- o produto final pode conter compostos similares a hormonas que possam acelerar o crescimento das plantas;
- A uma escala industrial, ensaios do composto obtido quando comparado com o obtido pela compostagem tradicional, demonstram uma maior nitrificação (50-65%) e uma diminuição de 35-55% na bio-disponibilidade de metais pesados, em dois meses, através da utilização de vermes.

4.2.4 Produção de Glucose por Hidrólise Ácida e Enzimática

Neste processo, 1 kg de celulose é convertida em 0,5 kg de glucose por hidrólise ácida e enzimática.

A celulose encontra-se presente nos RSU através do papel e/ou cartão e de madeira. A celulose pertence à família de compostos orgânicos denominada por sacarídeos. A estrutura da celulose baseia-se numa cadeia de ligações com um grande número de pontes de hidrogénio. A conversão da celulose para a glicose é efectuada segundo a seguinte reacção de hidrólise:



Esta reacção pode ter lugar através de vários processos, como o uso de ácidos ou enzimas. A celulose pode ser aquecida com um ácido fraco, a temperaturas de 180-230 °C, obtendo-se glicose [10]. A quantidade de glicose obtida é dependente das condições de reacção, ou seja, do pH e temperatura, bem como das características do resíduo. As elevadas temperaturas e pH baixo podem provocar a decomposição dos açúcares

resultantes. Por outro lado, a hidrólise enzimática é baseada na utilização de enzimas capturadas dos fungos, denominados por *Trichoderma viride* ou outros organismos capazes de hidrolisar a celulose insolúvel. Neste processo as enzimas são misturadas com a celulose e colocadas num reactor a 50 °C e pH 4,8. A glucose produzida no reactor é depois filtrada. Este processo é afectado pelo grau de cristalização, a presença de lenhina e a sua associação à celulose e o grau de polimerização da celulose [1].

Depois de convertida em glucose, esta pode ser usada na produção de álcoois e outros produtos químicos orgânicos.

Existem outros processos de valorização orgânica como a fermentação através do uso de fungos no tratamento da celulose. No entanto este processo não é muito usado devido à sua inviabilidade técnica e económica, pelo que não irá ser referenciado neste documento.

4.3 Valorização Energética

A valorização energética é uma opção que permite transformar os resíduos em energia que pode ser facilmente aproveitada no aquecimento ou no fornecimento de electricidade. No entanto, trata-se de uma forma de gestão, mas não de eliminação final dos resíduos, dado que se produzem também resíduos finais que são objecto de gestão.

4.3.1 *Incineração com Recuperação Energética*

A incineração é um processo que permite destruir os resíduos por via térmica, recuperando energia da combustão. Este processo implica uma perda no ciclo de renovação dos materiais e recursos naturais. A redução de volume é feita por processos de combustão a uma temperatura de cerca de 1100 °C. A utilização de matéria orgânica presente nos RSU não é eficiente para este tipo de valorização, devido ao seu elevado teor em água e ao seu baixo calor calorífico.

A incineração reduz a quantidade de resíduos até 10% do volume e até 30% do seu peso original e permite produzir calor para ser utilizado em sistemas de aquecimento e produção de energia.

É uma tecnologia muito utilizada nos países nórdicos, como a Holanda, devido à necessidade de diversificação das fontes energéticas para aquecimento, à densidade populacional elevada e devido à falta de terrenos apropriados para outras soluções.

Os RSU utilizados devem ser constituídos por materiais que não apresentem potencialidades de reutilização e valorização física ou orgânica.

Estas centrais de incineração devem possuir equipamentos que permitam obter uma combustão controlada dos resíduos, complementada por um processo de depuração dos gases de escape, controlados continuamente.

A Figura 4.26 permite visualizar de forma esquemática uma central de incineração com recuperação energética.

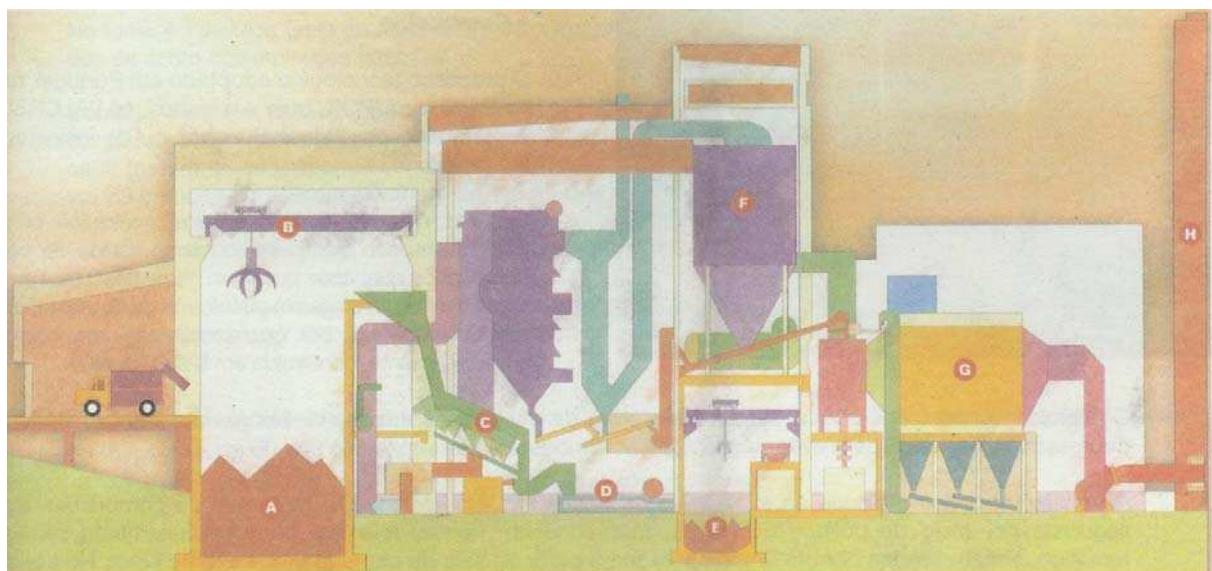


Figura 4.26 Esquema de uma central de incineração [13]

Numa instalação de incineração existem quatro unidades principais: a combustão, a caldeira, a turbina e o gerador [7].

Combustão

O processo tecnológico adoptado em Portugal é o designado por *Mass Burning* ou incineração em grelha.

Os resíduos tradizos pelos vários veículos de recolha são pesados e descarregados numa fossa de armazenagem mantida em depressão atmosférica para evitar a propagação de odores.

Os resíduos são depois transportados para uma grelha de combustão onde se realiza a queima, controlada pela injecção de ar para alimentação da combustão.

A temperatura do forno atinge cerca de 1100 °C e permite garantir a permanência dos gases de combustão por um período de 2 segundos a uma temperatura de, pelo menos 850 °C, de forma a minimizar a produção de dioxinas. Muitas vezes é utilizado gás natural para facilitar a ignição do processo e garantir a temperatura mínima de 850 °C.

A formação e redução das concentrações dos óxidos de azoto presentes nas emissões gasosas é minimizada através da adição de ureia ou amónia em solução.

Caldeira

As caldeiras funcionam como permutadores de calor, recuperando a energia térmica proveniente dos gases de escape da combustão, permitindo aquecer a água e transformando-a em vapor sobreaquecido.

Turbina

A turbina permite transformar o vapor de água em energia mecânica, podendo registar-se perdas por radiação térmica, quebras de pressão e atrito mecânico.

Existem vários tipos de turbinas que variam entre as de condensação, de eixo horizontal, de admissão simples, multi-fase ou do tipo impulso em linha recta.

Gerador

A energia é depois descarregada para a rede eléctrica nacional através do recurso a gerador de corrente alterna.

Tratamento dos gases de escape

Antes de serem lançadas para a atmosfera, as emissões gasosas dos gases de combustão são submetidas a um sistema de tratamento constituído por um processo de remoção de alguns componentes tóxicos e partículas, um ventilador de tiragem induzida e uma chaminé de dispersão de gases.

Os processos de tratamento de gases mais utilizados nas várias etapas baseiam-se em:

- sistema de remoção de gases ácidos do tipo “semi-seco”, neutralizando-os com uma suspensão aquosa de cal, podendo a temperatura ser controlada pela adição de água à entrada dos reactores;
- filtro de mangas para a captura de partículas em suspensão;
- adição de carvão activado para remoção de dioxinas, furanos e metais pesados;
- injeção de amónia na câmara de combustão para redução do teor de NO_x .

As escórias resultantes da combustão são arrefecidas e humidificadas com água. Os metais ferrosos são separados através de separadores magnéticos. As escórias podem ser depositadas em aterros sanitários, utilizadas na construção civil ou em recuperação paisagística.

As cinzas volantes constituem os resíduos produzidos pelo sistema de tratamento de gases, sendo normalmente inertizadas, por encapsulamento dos poluentes em cimento e ensacadas.

4.3.1.1 Vantagens e Desvantagens da Incineração

As vantagens deste tipo de processo baseiam-se em:

- maior maleabilidade na escolha do local;
- ocupação de menor espaço relativamente a outras tecnologias;
- volume final de resíduos a tratar é reduzido;
- maior abrangência no tipo de resíduos a tratar.

A incineração permite reduzir até 90% do volume dos resíduos a depositar em aterro, eliminar os resíduos patogénicos e tóxicos e produzir energia sob a forma de electricidade e vapor de água.

Desta forma, as vantagens da incineração prendem-se com o aproveitamento energético dos RSU, através da transformação dos resíduos em electricidade e da significativa redução de volume dos resíduos a depositar em aterro (cerca de 10%).

As desvantagens prendem-se principalmente com:

- elevados custos de investimento;
- necessidade de tratamento dos gases produzidos durante a combustão;
- tratamento de metais pesados presentes nas cinzas produzidas.

O valor do investimento baseia-se em aproximadamente 150 milhões de euros. Por esta razão, a utilização deste tipo de instalações é rentável apenas para quantidades de resíduos anuais superiores a 350000 toneladas.

A Figura 4.27 apresenta os impactos da incineração sobre o meio ambiente e a saúde pública.

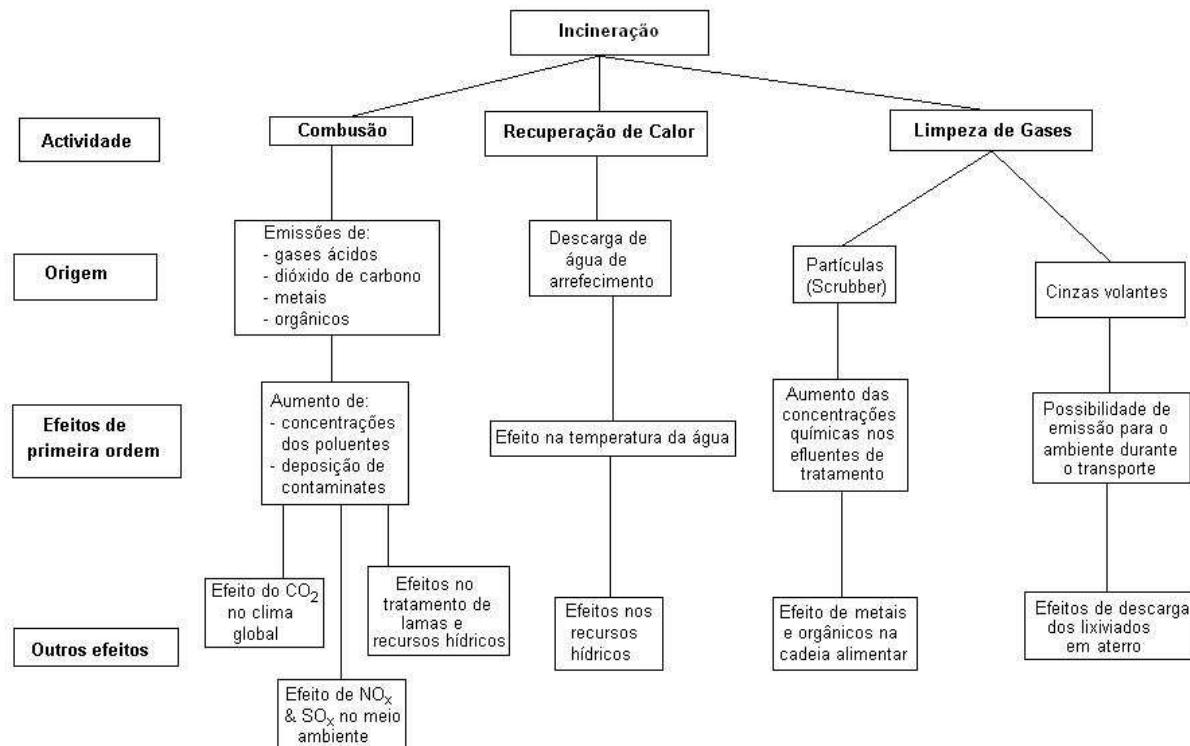
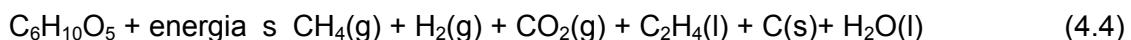


Figura 4.27 Efeitos ambientais da incineração [25]

4.3.2 Pirólise

A pirólise é a degradação térmica dos resíduos orgânicos na ausência de oxigénio, vaporizando os componentes voláteis, para produzir carvão, água, dióxido de carbono, óleos e gases combustíveis.

Este processo consiste numa destilação destrutiva em que os produtos obtidos são constituídos por um sólido, um líquido e um gás. Na pirólise, o calor é adicionado a uma alimentação complexa de material orgânico, por exemplo, se o material alimentado for celulose, a reacção obtida será dada pela equação [1]:



Obtém-se assim o gás metano (CH₄), o líquido etileno (C₂H₄) e o carbono que são combustíveis de uso frequente.

A Figura 4.28 apresenta um esquema de processamento deste tipo de tratamento.

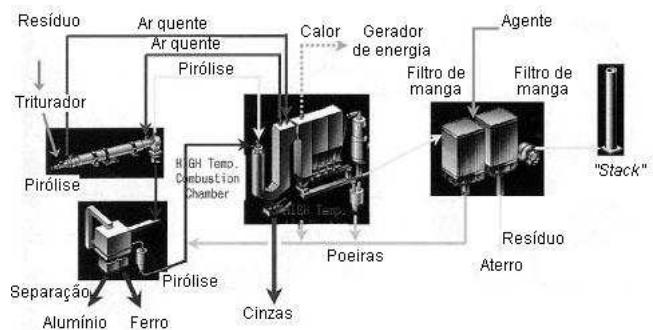


Figura 4.28 Esquema de um sistema de pirólise [28]

As duas variáveis mais importantes neste sistema são as taxas de aquecimento, que indicam a rapidez com que o combustível permite alcançar uma temperatura elevada, e a temperatura final. Estas taxas podem ser visualizadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 Taxa de aquecimento para a pirólise [1]

Taxa de Aquecimento	°C/seg	Temperatura	°C
Lenta	<1	Baixa	500-750
Intermédia	5-100	Intermédia	750-1000
Rápida	$500-10^6$	Elevada	1000-1200
Muito Rápida	$> 10^6$	Muito Elevada	>1200

A escolha destas variáveis permite definir os produtos obtidos na pirólise, ou seja, a temperaturas elevadas e a um aquecimento lento origina-se um gás, enquanto que, quando sujeito a um aquecimento lento a baixa temperatura, obtém-se mais facilmente um produto sólido [1]. Normalmente são usadas temperaturas relativamente baixas, entre 400 a 800°C. A Figura 4.29 permite demonstrar estes efeitos.

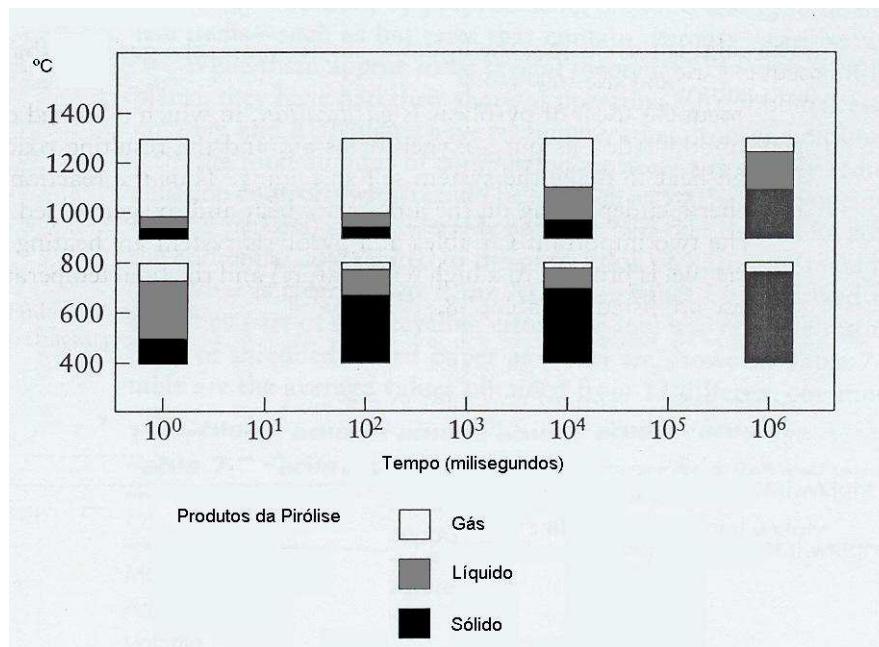


Figura 4.29 Efeito da temperatura e do tempo na formação de produtos da pirólise [1]

A aplicação deste processo ao tratamento de resíduos é recente. Têm sido investigadas as várias aplicações do combustível produzido, que varia consoante o resíduo utilizado, podendo ser aplicado como corrente de entrada em variados processos químicos. O produto obtido tem uma elevada densidade e consequentemente um maior conteúdo energético que o resíduo utilizado. O carvão obtido pode ser utilizado como carvão, ou carvão activado e os gases obtidos podem conter energia suficiente para abastecer uma instalação de pirólise.

Geralmente, a pirólise de RSU permite obter um produto com 35% de sólidos, que tem uma quantidade de cinzas superior a 37%. Em condições de taxas de aquecimento lentas verifica-se a produção de 50% de sólidos contendo 10% de cinzas.

Os gases obtidos da pirólise de resíduos são essencialmente dióxido e monóxido de carbono, hidrogénio, metano e baixas concentrações de hidrocarbonetos gasosos.

O processo é ambientalmente excelente, diminuindo a poluição e resultando na produção de vários combustíveis úteis, pelo que se poderia esperar que a pirólise de RSU resultasse numa excelente aplicação. No entanto, este sistema não funciona com sucesso com RSU de carácter heterogéneo, falhando aquando a sua aplicação em larga escala [1].

Há uma grande variedade de tecnologias de pirólise a ser investigadas para a sua aplicação aos RSU, sendo de salientar alguns exemplos como leitos fluidizados, reactores de leito fixo, fornos giratórios, pirólise em vácuo, entre outros, sendo a sua escolha

dependente do tipo de pirólise a ser utilizada [25]. A Figura 4.30 apresenta um esquema de pirólise deste tipo.

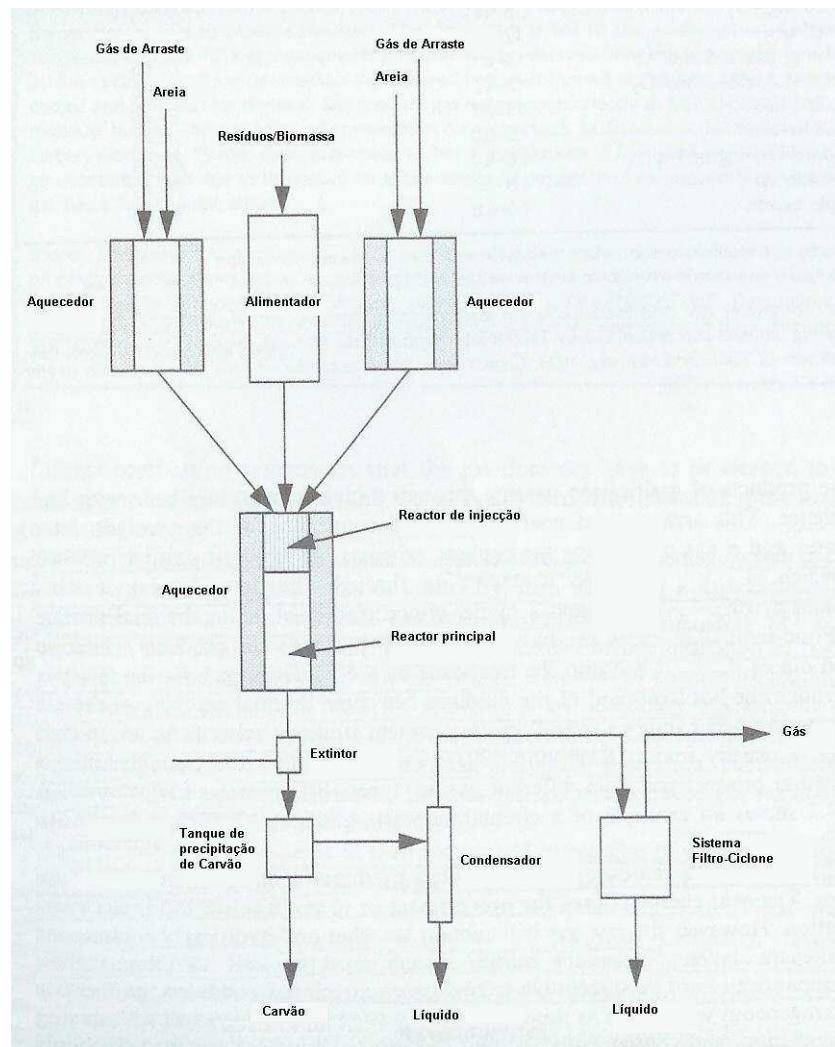


Figura 4.30 Exemplo de um sistema de pirólise para tratamento de RSU [25]

4.3.3 Gaseificação

Uma modificação do processo de pirólise é a gaseificação, que consiste na introdução de uma limitada quantidade de oxigénio, oxidando o material existente e formando gases combustíveis capazes de produzir calor suficiente para tornar o sistema auto-sustentável. A reacção pode ser exo ou endotérmica, dependendo das quantidades adicionadas de calor e oxigénio. De uma forma geral, pode referir-se que é uma tecnologia de conversão térmica em que o sólido é convertido num gás.

A gaseificação difere da pirólise no sentido em que o oxigénio em forma de ar, vapor ou puro reage a elevadas temperaturas com o carbono existente nos resíduos para produzir

um produto gasoso, cinzas e alcatrão. A combustão parcial ocorre para produção de calor e a reacção prossegue exotermicamente para produzir um gás comburente com um poder calorífico mediano ou baixo. As temperaturas de operação são mais elevadas que a pirólise, entre 800 a 1100 °C com ar e 1000 a 1400 °C com oxigénio.

O poder calorífico do produto gasoso é baixo para gaseificação com ar (4 a 6 MJ/m³) e médio para gaseificação com oxigénio (10 a 15 MJ/m³).

A gaseificação com vapor é endotérmica para a maior parte das reacções com carbono, sendo o vapor usado como um suplemento na gaseificação com oxigénio para o controlo da temperatura. No entanto, a gaseificação de vapor sobre pressão é exotérmica.

As principais reacções que ocorrem durante a gaseificação em ar são as seguintes:



Os principais produtos obtidos da gaseificação são o monóxido de carbono, o dióxido de carbono, o hidrogénio e o metano, podendo verificar-se a presença de azoto em grandes proporções para o caso de gaseificação com ar.

Os principais tipos de sistemas de reactores de gaseificação mais utilizados são os seguintes:

- Gaseificação em leito fixo;
- Gaseificação em leito móvel;
- Gaseificação em leito fluidizado.

Os produtos obtidos da gaseificação incompleta dos resíduos são o carvão, hidrocarbonetos gasosos e alcatrão.

A utilização de produtos gasosos é frequentemente directa em fornalhas, sendo usada para aquecer a corrente de entrada ou para produzir vapor para geração de electricidade. No entanto, os gases obtidos neste processo contêm impurezas que provocam a corrosão de tubos e a deposição de água e alcatrão. Para este efeito, podem ser utilizados filtros de mangas ou ciclones na remoção de pequenas partículas em suspensão na corrente gasosa, bem como realizar um *cracking* secundário para a remoção de alcatrão.

O gás produzido pode também ser utilizado em motores e turbinas, células de combustível ou como alimentação de processos químicos.

Algumas tecnologias mais recentes têm utilizado processos que combinam a pirólise com a gaseificação, conforme representado na Figura 4.31.

Uma vantagem da gaseificação reside no cumprimento dos requisitos de introdução de ar para a combustão de materiais sólidos, pelo que se aguarda que, num futuro próximo, esta tecnologia possa ser aplicável sem problemas secundários na sua operação.

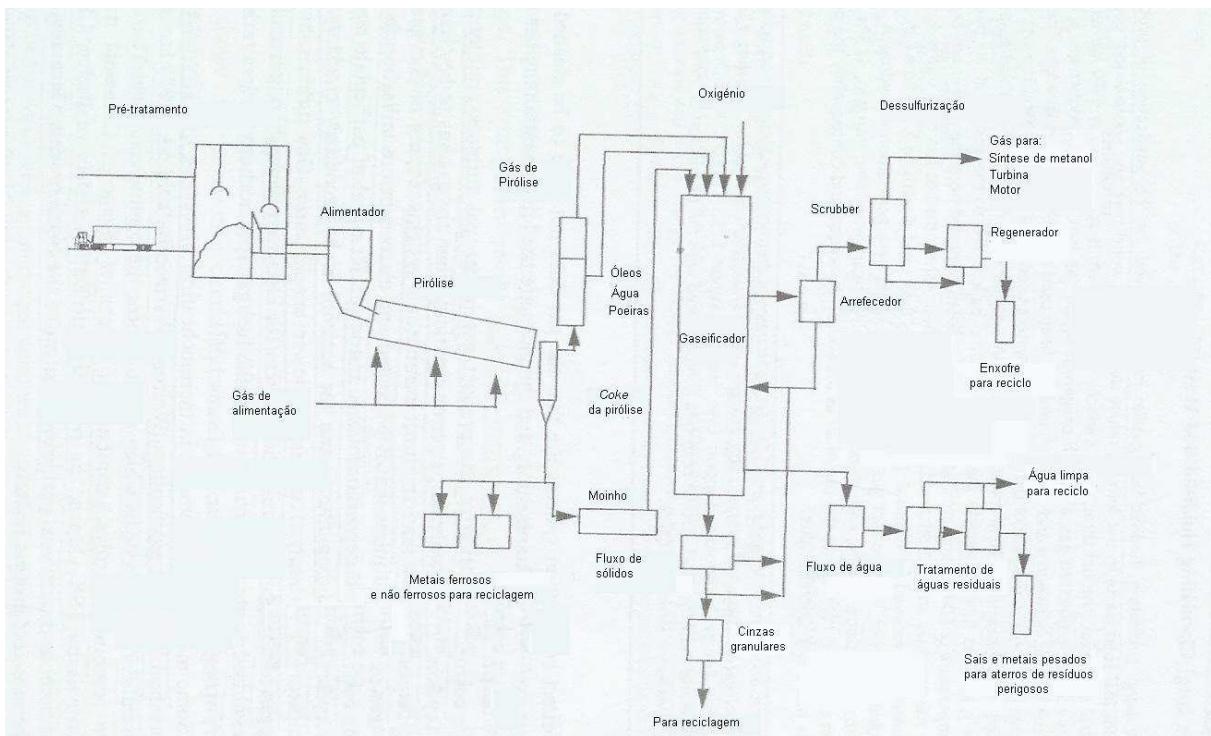


Figura 4.31 Exemplo de uma tecnologia de gaseificação e pirólise de RSU [25]

5 Eliminação de Resíduos Sólidos Urbanos

5.1 Deposição em Aterro

Os resíduos podem ser depositados em locais, mais vulgarmente designados de locais de fim-de-vida. Anteriormente estes locais eram designados por lixeiras, de baixos custos de aquisição e exploração, que continham os resíduos abandonados a céu aberto sem qualquer cuidado na sua deposição, pelo que constituíam um perigo para a saúde pública e para o ambiente, conforme pode ser visualizado na Figura 5.1. Face a estes problemas foi desenvolvido ao longo do tempo uma nova infra-estrutura de deposição final para os resíduos de fim-de-linha, a qual foi denominada por aterro sanitário. Este tipo de unidades são projectadas e operadas tendo em consideração um maior grau de controlo da poluição, segundo padrões de sustentabilidade ambiental aceitáveis.



Figura 5.1 Imagem de uma lixeira com libertação de fumos [7]

O aterro sanitário é uma solução técnica de tratamento e destino final dos RSU. Segundo a legislação, é uma instalação de eliminação utilizada para a deposição controlada de resíduos acima ou abaixo da superfície do solo.

Os aterros podem ser classificados segundo as suas classes:

- Aterro para Resíduos Perigosos;
- Aterro para Resíduos Não Perigosos;
- Aterro para Resíduos Inertes.

Os aterros sanitários são destinados à deposição de resíduos não perigosos. Pela legislação existente são admissíveis a aterro os RSU provenientes da zona geográfica em que se inserem, os resíduos valorizáveis (monstros, resíduos verdes, vidro) e outros resíduos que sejam equiparáveis a RSU, nos termos da legislação em vigor.

A deposição em aterro só deve ser utilizada para deposição de refugos, ou seja, resíduos que não possam ser submetidos a qualquer tipo de tratamento ou valorização. Quanto maior for a taxa de tratamento e valorização atingida, menor será a quantidade a depositar em aterro, facto que permite aumentar o tempo de vida do aterro e diminuir os custos de exploração.

Os aterros permitem garantir a protecção das águas subterrâneas e superficiais, o controlo dos lixiviados e de biogás, o controlo de assentamentos e a monitorização global.

O projecto de um aterro deve ter em consideração alguns factores [7]:

- perfil final do aterro;
- capacidade da unidade;
- possibilidade de assentamento;
- densidade do resíduo;
- materiais necessários para a gestão do aterro;
- capacidade de drenagem.

A preparação de um aterro sanitário compreende as seguintes fases [7]:

- localização;
- exploração;
- encerramento e pós-encerramento através de um enquadramento paisagístico adequado.

A construção de um aterro impõe a necessidade de cumprir alguns objectivos, como [7]:

- planificação e selecção de sítios;
- projecto dos aterros;

- qualidade dos aterros;
- sistemas de drenagem e tratamento para biogás e lixiviados;
- medidas de pós-encerramento.

Os aspectos contemplados no projecto dos aterros são os seguintes [7]:

- impermeabilização do fundo e taludes;
- drenagem e tratamento de lixiviados e biogás;
- monitorização de águas subterrâneas, superficiais e emissões, durante as fases de exploração e pós-encerramento;
- encerramento e integração paisagística;
- equipamento e infra-estruturas de apoio.

O princípio básico da exploração de um aterro consiste na preparação do local para evitar a poluição de águas subterrâneas, o depósito dos refugos nas valas, a compactação com equipamentos adequados e a cobertura diária do material com terra de modo a evitar a propagação de doenças.

A capacidade de um aterro é expressa em termos de volume, devendo também ser estimada a capacidade do material a depositar à medida que este é depositado no aterro.

As duas emissões potencialmente poluentes características dos aterros sanitários são o biogás (maioritariamente metano e dióxido de carbono) e os lixiviados, derivados das transformações físicas, químicas e biológicas da matéria orgânica, verificadas no interior da massa de resíduos por via anaeróbia. Estes produtos apresentam uma potencial capacidade poluidora quando em contacto com as águas subterrâneas.

A Figura 5.2 representa um corte esquemático da vista lateral de um aterro.

Um aterro é construído e preparado de forma a ficar completamente estanque para permitir a correcta deposição dos resíduos. Como tal, a parte inferior do aterro encontra-se normalmente revestida por diferentes camadas:

- Geotêxtil: um não tecido que actua como uma tela de separação;
- Geomembrana: normalmente de PEAD, actuando como uma tela de impermeabilização;

- **Barreira Ecológica:** um solo com uma elevada percentagem de argila, de modo a evitar que os lixiviados contaminem as águas subterrâneas.

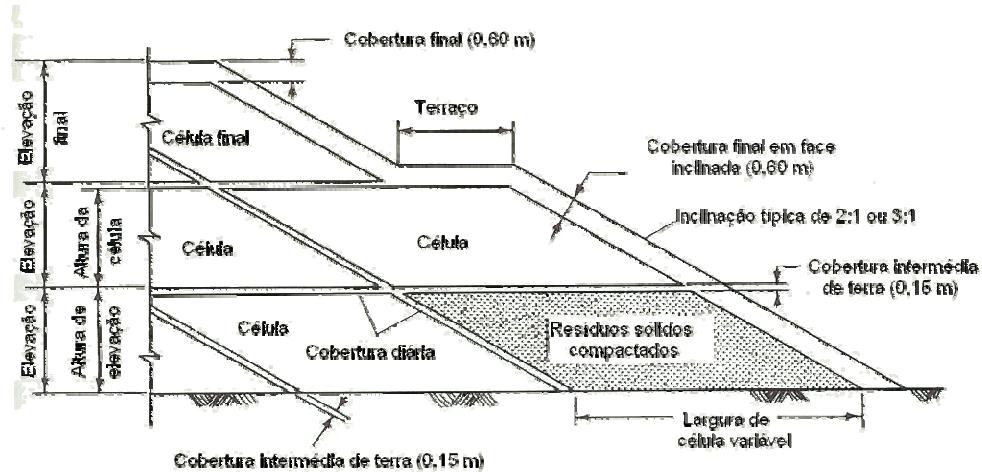


Figura 5.2 Vista lateral de um aterro [12]

A selecção de locais para construção de um aterro é uma tarefa que permite planejar a ocupação do solo e o estado de desenvolvimento de uma determinada região. Esta selecção deve ser estruturada tendo em consideração duas etapas principais de vida do aterro:

- etapa transitória que corresponde ao tempo de vida útil do aterro, terminando com o fim da exploração e o seu encerramento;
- etapa de uso final, após o encerramento do aterro, consistindo numa recuperação e integração paisagística do local.

5.1.1 Critérios de Localização de Aterros

A escolha de um local para a deposição dos resíduos é uma decisão complexa e delicada, uma vez que ainda existem na memória das populações os efeitos negativos e nefastos das lixeiras e a atitude característica do egoísmo, usualmente conhecida como *nimby* (*not in my back yard*). No entanto, é impreterível a construção deste tipo de instalações, pelo que as autoridades locais deverão efectuar os esforços para estabelecer uma legislação adequada e empenhar-se na resolução da situação.

A selecção de um local de deposição de resíduos deve ter em atenção alguns factores, como a proximidade dos centros de produção de resíduos e as características dos locais, pelo que a determinação da área de colocação é um factor primordial, uma vez que permite garantir a proximidade aos centros produtores.

Neste sentido, têm sido elaborados documentos que visam a utilização de critérios de localização destas unidades. A Directiva 1999/31/CE, relativa à deposição de resíduos em aterros, define os resíduos admissíveis, as condições gerais de localização, admissão de resíduos, controlo, protecção e monitorização. No entanto, é deficiente na apresentação de alguns critérios, como o afastamento aos aglomerados populacionais.

A antiga Direcção Geral do Ambiente refere que o local de deposição dos resíduos deve satisfazer, tanto quanto possível, os seguintes critérios [30]:

- Ser geológica e hidrogeologicamente aceitável, isto é, que não constitua um risco de contaminação das águas (subterrâneas ou superficiais) e terrenos adjacentes (recomendável um coeficiente de permeabilidade do solo inferior a 10^{-9} m/s);
- Situar-se de modo a conjugar os melhores acessos com os menores percursos (maiores distâncias significam maiores custos de transporte);
- Não afectar locais relativamente ao arrastamento de cheiros e materiais pelo vento, devendo preferencialmente encontrar-se afastado um mínimo de 250 metros de qualquer habitação isolada e de 400 metros de qualquer aglomerado populacional;
- Garantir a existência de grandes quantidades de solo apropriado para cobertura diária e recobrimento final dos resíduos
- Estar afastado no mínimo 100 metros de captações de água subterrânea;
- Não constituir risco de incêndio (ou outros) para as zonas envolventes;
- Possuir facilidade para a instalação de electricidade e água;
- Não ocupar terrenos afectos à Reserva Agrícola Nacional (RAN) ou à Reserva Ecológica Nacional (REN);
- Permitir uma boa inserção na paisagem tanto durante a exploração como após o encerramento.

Por outro lado, a UNEP apresenta um estudo mais elaborado neste sentido [30], embora este tenha sido realizado para aterros de resíduos industriais perigosos.

A Organização Mundial de Saúde, no Código Europeu, recomenda o estabelecimento de distâncias mínimas de protecção em relação a espaços urbanizados, zonas verdes, cursos de água, entre outros e aconselha a utilização de locais para implantação dos aterros em terrenos baldios, charnecas, solos de rendimento pobre, locais onde foi efectuada a extração de saibro ou areia, antigas escavações mineiras e antigas pedreiras, bem como em locais cujos terrenos poderão vir a beneficiar com a instalação de um aterro.

Desta forma, a metodologia a adoptar para a selecção de locais baseia-se em efectuar uma:

- avaliação inicial;
- selecção de locais com maiores potencialidades;
- escolha final.

A Figura 5.3 apresenta um diagrama de fluxo que exprime as várias etapas necessárias para a selecção de locais de deposição.

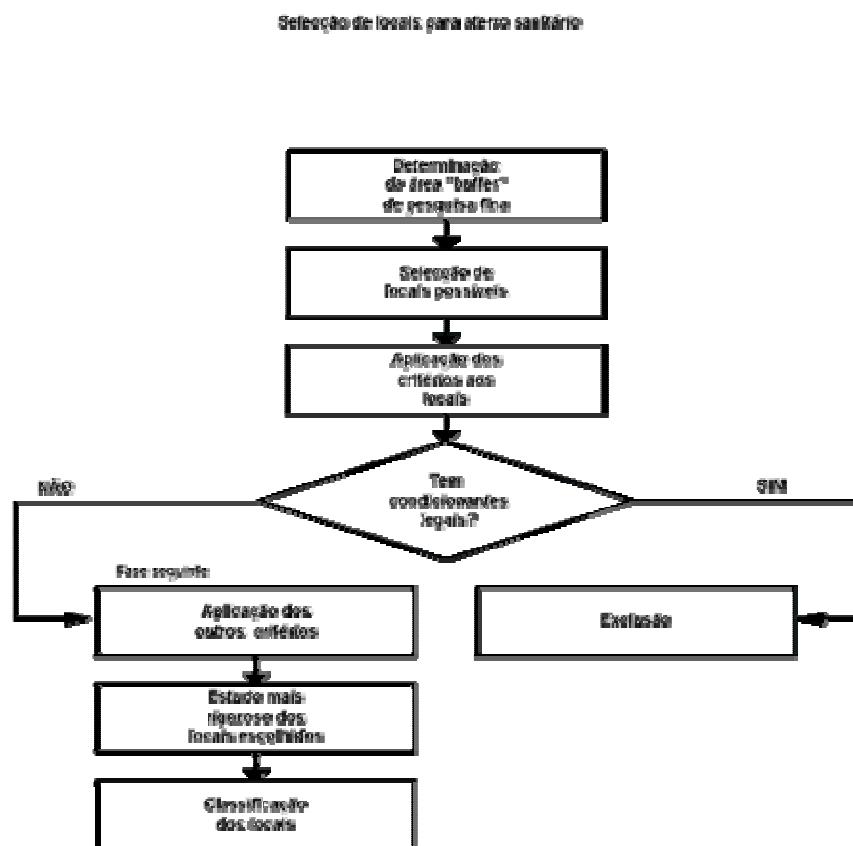


Figura 5.3 Fluxograma para a selecção de locais de instalação de Aterros Sanitários [22]

O processo de selecção tem como intervenientes as autoridades nacionais e regionais, as autarquias, os produtores de resíduos, a equipa de projecto e a população da região. A estratégia de selecção tem em conta uma abordagem técnica, ambiental e sócio-económica. Desta forma, devem ser seguidas algumas regras para a selecção dos locais para construção de aterros, sendo adoptados um conjunto de metodologias que, normalmente envolve três fases:

- selecção preliminar;
- selecção definitiva;
- demonstração da viabilidade do local escolhido.

A Figura 5.4 permite visualizar o processo de selecção de locais segundo as fases apresentadas.

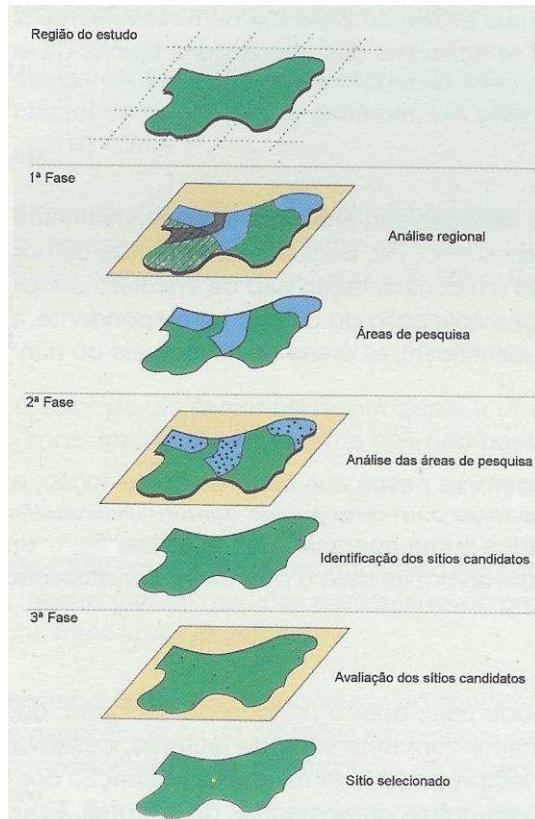


Figura 5.4 Fases de decisão de locais para deposição [7]

De uma forma globalizada podem ser apresentados dois níveis de controlo utilizados na selecção de locais [30].

Controlo de nível I: Definição de Áreas Não Elegíveis

Os critérios e limitações colocadas num processo de selecção para este tipo de controlo são os seguintes:

- Ordenamento territorial: previstos no Plano Director Municipal, o qual permite excluir as áreas urbanas e urbanizáveis, industriais, zonas verdes, de Reserva Ecológica Nacional (REN), e, em princípio, as de Reserva Agrícola Nacional (RAN);
- Isolamento: impõe-se uma distância mínima das povoações ao aterro de modo a protegê-las dos odores e outras matérias desagradáveis;
- Hidrologia: permite garantir a distância a linhas de água superficiais e a sua importância, bem como a determinação da susceptibilidade do local à poluição das águas superficiais;
- Acessibilidade: garantir um adequado acesso através da caracterização da acessibilidade rodoviária, ferroviária, fluvial e marítima, devendo apresentar um mínimo de tráfego;
- Geologia, Litologia e Controlo Estrutural: devendo considerar-se a litologia dos maciços rochosos e o controlo estrutural, tendo especial cuidado com a observação de fissuras existentes. Devem ter-se em atenção as unidades geológicas e litológicas que pela sua composição são permeáveis à circulação de contaminantes e as áreas que apresentem grandes estruturas de falhas, fracturas e desligamentos;
- Hidrogeologia: verificar que as características geológicas e litológicas do local não colocam em causa a poluição dos recursos hídricos subterrâneos, bem como deve ser efectuada uma avaliação aos solos para observar a impermeabilidade dos mesmos. Devem ser adoptadas soluções de tratamento adequadas, como a impermeabilização do aterro e o controlo de lixiviados;
- Visibilidade: deve ser garantida a invisibilidade ou o bom enquadramento da unidade;
- Volumetria disponível: o local a seleccionar deverá ter uma área igual ou superior à necessária para a implantação do aterro.

Controlo de nível II: Seleccão de Áreas Favoráveis

Encontram-se entre as zonas de deposição potencialmente favoráveis as seguintes:

- locais onde se realiza ou realizou a deposição de resíduos;
- áreas designadas para uso industrial;
- locais que se situem próximo dos centros produtores de resíduos ou das suas principais vias de comunicação.

Os custos globais de localização do aterro devem ser considerados, devendo para tal serem avaliados os custos de aquisição do terreno, de construção, acessos, operacionais e relativos ao transporte de resíduos para o aterro.

5.1.2 Mecanismos de Produção do Biogás

O biogás é uma mistura de gases, maioritariamente constituído por metano e dióxido de carbono, quase em partes iguais e cerca de 5% de outros gases.

O biogás é recolhido e queimado. No entanto, pode também produzir-se energia eléctrica a partir do biogás libertado pela decomposição natural dos resíduos.

A produção de biogás num aterro dá-se em quatro ou cinco fases mais ou menos bem caracterizadas [22].

, Fase I

É caracterizada pela aclimatação ou ajustamento dos microrganismos presentes, na qual os componentes orgânicos dos RSU sofrem uma decomposição biológica aeróbia logo que são depositados.

As principais fontes de organismos responsáveis pela decomposição, são o solo utilizado para o recobrimento dos resíduos, os lixiviados provenientes de sistemas de recirculação, as lamas de ETAR quando depositadas (que transportam os microorganismos decompositores dos RSU).

, Fase II

É uma fase de transição, a qual se caracteriza pelo início da anaerobiose no interior do aterro, funcionando este como um bioreactor químico. Nesta fase inicia-se também a formação de metano e dióxido de carbono.

O pH do lixiviado começa a diminuir devido à presença de ácidos orgânicos e ao efeito das elevadas concentrações de dióxido de carbono na massa de resíduos.

, Fase III

Esta fase caracteriza-se pelas transformações químicas e biológicas dos resíduos depositados. É uma fase ácida, que se inicia com a produção de metano e é acelerada pelos microorganismos de produção de ácidos orgânicos.

Inicia-se com a hidrólise dos componentes de maior massa, transformando-os em compostos passíveis de serem utilizados como fonte de energia e carbono pelos microorganismos. Em seguida dá-se a acidogénese, na qual os componentes formados anteriormente são convertidos em ácido acético, compostos de menor massa molecular e pequenas concentrações de ácido fúlvico. O primeiro gás formado nesta fase é o dióxido de carbono, através de reacções dos decompositores não-metanogénicos, nomeadamente facultativos e anaeróbios, designados microrganismos formadores de ácidos, verificando-se também a formação de pequenas quantidades de hidrogénio.

Os ácidos orgânicos e o dióxido de carbono em elevadas concentrações, provocam um abaixamento do pH do lixiviado. A par destas alterações verifica-se um aumento significativo da CBO₅, CQO e da condutividade devido à dissolução dos ácidos orgânicos no lixiviado.

O baixo pH do lixiviado provoca a solubilização de muitos constituintes inorgânicos, principalmente os metais pesados. Também muitos nutrientes presentes nos lixiviados, tais como N, P e K, são removidos nesta fase. Se não houver formação de lixiviados, os produtos resultantes das conversões desta fase permanecem adsorvidos na massa de resíduos e na água contida nos mesmos.

, Fase IV

Esta etapa é denominada por fase metânica, ou seja, é a fase de fermentação metanogénica, na qual um segundo grupo de microorganismos (metanogénicos ou metânicos), estritamente anaeróbios, convertem o ácido acético e o hidrogénio gasoso em CH₄ e CO₂. É acompanhado pelo aumento do pH da massa de resíduos e do lixiviado para valores neutros (6,8–8) e uma diminuição na concentração de CBO₅, CQO e condutividade.

, Fase V

Esta é uma fase de maturação, na qual a quantidade de material biodegradável inacessível passa a estar disponível por migração da humidade para conversão pelos microorganismos. Há uma diminuição significativa da taxa de produção de biogás e o lixiviado pode conter nesta fase ácidos fúlvico e húmico, de difícil tratamento biológico.

A duração de cada fase é dependente das características do aterro, ou seja, da distribuição da matéria orgânica e a sua quantidade, do clima e modo de operação do aterro (como o grau de compactação).

A produção de biogás depende dos seguintes factores:

- constituição dos RSU;
- distribuição dos RSU no aterro;
- disponibilidade de nutrientes;
- teor de humidade;
- distribuição da água nos alvéolos;
- grau inicial de compactação.

A ausência de água e a elevada compactação dos resíduos retardam o processo de degradação dos mesmos, sendo a produção de biogás mais lenta e em menor quantidade.

A presença de água é um factor importante porque acelera os processos de bioconversão, pelo que é aconselhável efectuar a recirculação de lixiviados em aterros mumificados (sem humidade) contendo matéria orgânica.

Normalmente, a taxa de decomposição da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos atinge o seu máximo em dois anos [12], diminuindo até aos 10 anos, idade em que a sua produção é terminada. No entanto, é de referenciar que a actividade no interior do aterro pode prolongar-se para além dos 25 anos, sendo dependente da composição dos resíduos depositados em aterro.

A Figura 5.5 permite visualizar, de uma forma geral, a variação na composição dos gases produzidos segundo as diferentes fases de deposição dos RSU em aterro.

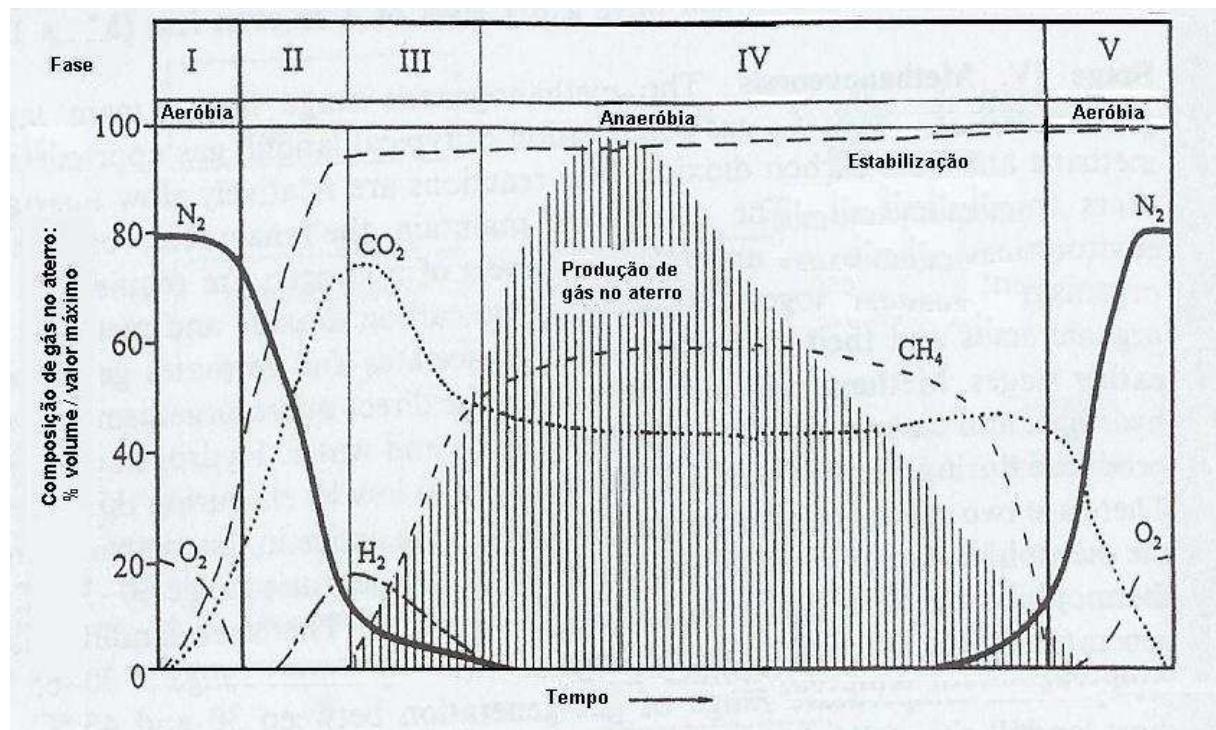


Figura 5.5 Variação da composição dos gases em aterro [25]

A Tabela 5.1 apresenta a variação da distribuição de gases de um aterro, ao longo do tempo, após encerramento da célula ou do alvéolo.

Na Tabela 5.2 apresenta-se a constituição do biogás nos seus principais gases em percentagem do seu peso.

Tabela 5.1 Constituição dos gases de aterro ao longo do tempo (%) [25]

Intervalo (meses)	N ₂	CO ₂	CH ₄
0-3	5,2	88	5
3-6	3,8	76	21
6-12	0,4	65	29
12-18	1,1	52	40
18-24	0,4	53	47
24-30	0,2	52	48
30-36	1,3	46	51
36-42	0,9	50	47
42-48	0,4	51	48

Tabela 5.2 Constituição do biogás [25]

Componente	% volume
Metano	45-60
Dióxido de carbono	40-60
Azoto	2-5
Oxigénio	0,1-1,0
Amónia	0,1-1,0
Hidrogénio	0-0,2
Aniões de enxofre	0-1,0
Monóxido de Carbono	0-0,2
Gases vestigiais	0,01-0,6

Pode estimar-se a quantidade de biogás produzido num aterro considerando que a matéria orgânica presente nos RSU, com excepção dos plásticos, é representada pela fórmula C_aH_bO_cN_d e assumindo-se a decomposição da matéria orgânica em CH₄ e CO₂. O volume total de gás estima-se através da aplicação da seguinte equação [22]:

$$C_a H_b O_c N_d - \frac{1}{4} A_a H_2 O \rightarrow \frac{A_a}{8} CH_4 - \frac{A_c}{8} CO_2 - dNH_3 \quad (5.1)$$

sendo:

$$A_a = 4a - b - 2c - 3d$$

$$A_c = 4a - b + 2c + 3d$$

Pode assumir-se os seguintes valores para os coeficientes $a = 75$; $H = 122$; $O = 55$ e $N = 1$, como representativos da fracção rapidamente biodegradável dos RSU e que é responsável pela produção de gás.

Aplicando-se esta equação pode determinar-se a quantidade máxima possível de produção de biogás em $874\text{ m}^3/\text{t}$ de matéria orgânica biodegradável decomposta em condições óptimas, o que corresponde a cerca de 2,5 toneladas de RSU. Considerando a existência de cerca de 40% de matéria orgânica biodegradável nos RSU, o biogás formado é de aproximadamente $350\text{ m}^3/\text{t}$ de RSU. No entanto, tal não acontece na realidade porque não existem condições para se processarem as transformações em ambiente óptimo, devido a uma multiplicidade de factores. Deste modo, considerando um rendimento aproximado de 60% pode obter-se o valor de $200\text{ m}^3/\text{t}$ RSU ou $520\text{ m}^3/\text{t}$ de matéria orgânica biodegradável destruída biologicamente, como valores realísticos para efeitos de avaliações económicas do aproveitamento do biogás [22].

O aproveitamento energético do biogás produzido num aterro só é rentável para deposições diárias de 200 toneladas. Devendo o biogás ser queimado em tocha para valores inferiores, com um tempo de residência mínimo de 0,3 segundos na câmara de combustão, a uma temperatura de pelo menos $850\text{ }^\circ\text{C}$, para destruir e minimizar o efeito da emissão de gases nocivos. Um aterro que receba os refugos provenientes de outras formas de valorização não produz biogás nem lixiviados.

Num aterro, para efectuar o controlo do movimento do gás produzido, devem ser construídos poços, como apresentado na Figura 5.6, e trincheiras horizontais de extracção de gás.

Os poços são equipados com válvulas de controlo de fluxo de entrada de ar no sistema, que entram em funcionamento sempre que se verificar uma taxa de extracção excessiva, face à diminuição de gás produzido (fracção do tempo), ou ao raio de influência ser inferior ao determinado.

O biogás tem um elevado poder calorífico, de aproximadamente 50-60% do valor do gás natural, pelo que é importante salientar a importância do aproveitamento energético dos gases produzidos em aterro.

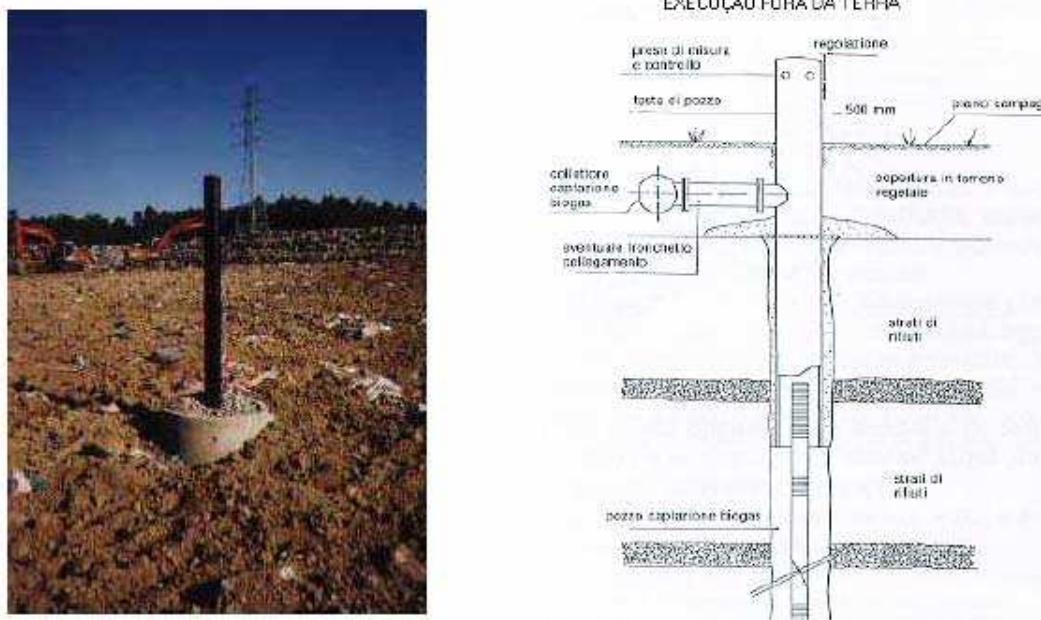


Figura 5.6 Poço de extração e sua representação esquemática [22]

O aproveitamento do biogás é efectuado em três etapas:

- drenagem, captação e extração;
- pré-tratamento e valorização;
- aproveitamento do gás produzido com recurso a diferentes tecnologias.

O biogás obtido pode ser usado como combustível para produzir calor, ser aproveitado para energia primária de uma central de energia eléctrica ou ser utilizado como combustível de veículos.

Para aplicação do biogás como combustível, deve-se purificá-lo para o enriquecer em termos energéticos. Nestes casos há necessidade de remover o anidrido carbónico, efectuar a secagem e remover compostos de enxofre e halogenados. As técnicas de purificação do biogás mais utilizadas consistem em:

- adsorção química;
- adsorção sob pressão (*Pressure Swing Adsorption*);
- separação por membranas.

Normalmente, o biogás apresenta características de corrosividade, pelo que é necessário efectuar um pré-tratamento por desidratação extensiva e remoção dos componentes vestigiais.

O conteúdo energético do gás é utilizado como combustível para accionamento de um gerador eléctrico. O biogás pode ser transformado em electricidade com o auxílio de:

- motores de combustão interna;
- turbinas a gás;
- turbinas a vapor;
- sistemas de co-geração.

Depois de melhorado, o biogás pode ser introduzido na rede de gás natural. A introdução de biogás na rede de gás natural implica que este seja livre de componentes sólidos e líquidos e seja odorizado. A Tabela 5.3 permite avaliar as diferenças existentes entre o biogás e o gás natural.

Tabela 5.3 Comparação entre a composição do biogás e o gás natural [7]

Tipo de gás	Gás natural	Biogás
Principais componentes (% vol. Metano)	85	50-60
Etano	2,85	
Propano	0,37	
Butano	0,14	
Dióxido de carbono	0,89	40 – 45
Azoto	14,35	0 – 10
Oxigénio	<0,5	0 – 2
Poder calorífico superior (MJ/m ³)	35,1	19,9 – 23
Densidade relativa	0,645	0,91 – 0,89
Índice de Wobbe (MJ/m ³)	43,6 – 44,1	20 – 25
Componentes vestigiais: Enxofre (mg/m ³)	<5	0 – 200
Hidrocarbonetos cloretados (mg Cl/m ³)	<5	0 – 50
Humidade	Ponto de orvalho a -10°C	Saturado

As diferenças existentes entre os dois tipos de gases baseiam-se na composição dos principais componentes, no poder calorífico, na razão poder calorífico e densidade relativa (índice de *Wobbe*), na presença de componentes vestigiais e no teor de humidade.

É importante referir que pode haver formação de condensados devido às temperaturas registadas no interior do aterro, às fermentações (decomposição dos orgânicos - gás quente) e à temperatura existente à superfície (mais baixa) da tubagem de recolha do biogás. Desta forma é aconselhável a instalação de tubos de drenagem dos condensados para o aterro com uma inclinação mínima de 3%, como apresentado na Figura 5.7.

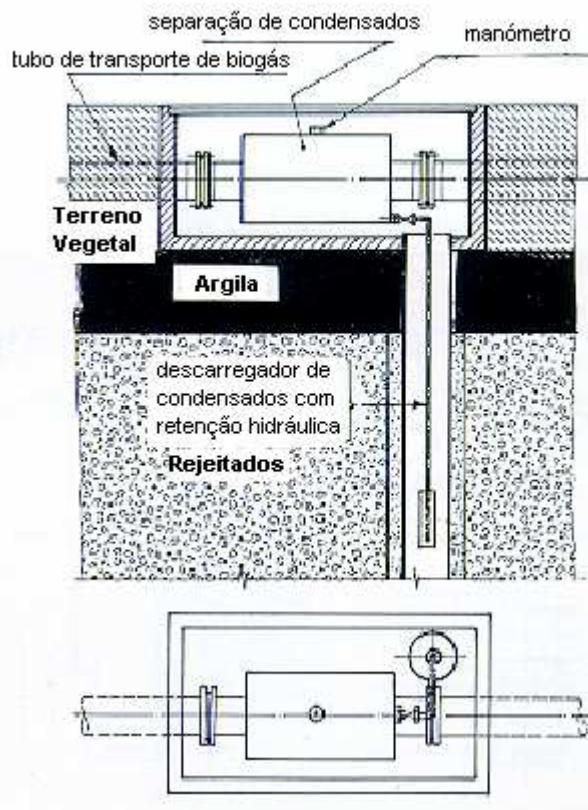


Figura 5.7 Vista de corte de um poço com tubagem de condensados [22]

5.1.3 Produção de Lixiviados

Os lixiviados são efluentes resultantes da drenagem da água das chuvas e da quantidade de água presente nos resíduos. Estes efluentes transportam no seu fluxo até à

base do aterro os compostos dissolvidos ou suspensos dos resíduos, bem como aqueles resultantes das reacções de transformação dos resíduos no aterro.

A produção de lixiviados está associada a:

- clima local (pluviosidade);
- composição da matéria orgânica;
- grau de compactação dos resíduos.

Na Figura 5.8 é representado o ciclo de água existente num aterro.

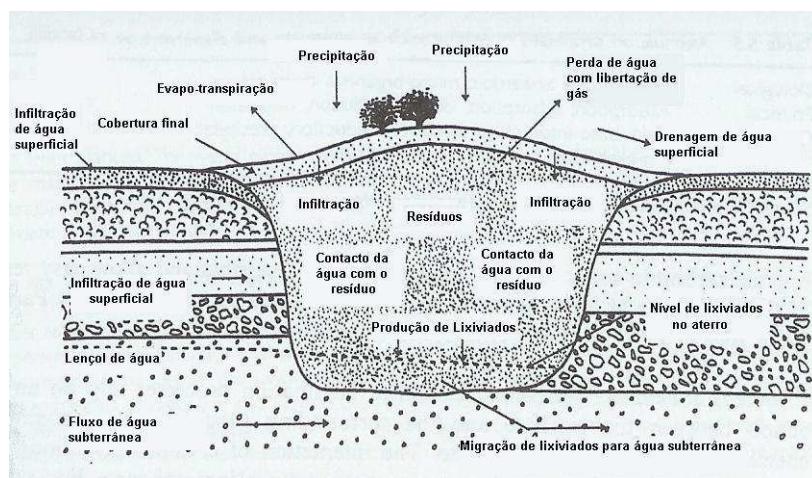


Figura 5.8 Ciclo de água num aterro [25]

A quantidade de lixiviados produzida deve ser minimizada, pelo que devem ser adoptadas medidas que visem a drenagem de água envolvente para fora do aterro através de uma rede de recolha. Deve também ser construída nos alvéolos uma rede constituída por valas, tubagens, poços de visita e bueiros, que conduzirão toda a água proveniente das chuvas para fora do sistema.

Os lixiviados deverão ser tratados numa ETAR antes de serem lançados no sistema de saneamento municipal.

Geralmente os lixiviados apresentam variações na sua composição, dependendo dos materiais envolvidos na decomposição e das condições em que esta se processa. A Tabela 5.4 apresenta a composição dos lixiviados ao longo do tempo. Poderá ser observada uma evolução da composição em função da idade do lixiviado, o que indica que cada alvéolo de um aterro, com idades diferentes, produzirá lixiviados diferentes. Esta variação na

composição dificulta a implementação de um sistema de tratamento adequado para os lixiviados, uma vez que o tratamento adoptado para um aterro recente deverá ser diferente dos aterros de idade avançada.

Tabela 5.4 Composição dos lixiviados para duas fases de exploração do aterro [22]

Parâmetros	Valores típicos	
	Aterros recentes	Aterros com mais de 10 anos
CBO ₅ (mg/l)	2000 – 30000	100 – 200
CQO (mg/l)	3000 – 60000	100 – 500
COT (mg/l)	1500 – 20000	80 – 160
SST (mg/l)	200 - 2000	100 – 400
Azoto orgânico (mg Norg/l)	10 – 800	80 – 120
Azoto amoniacial (mg NH ₄ /l)	10 – 800	20 – 40
Nitratos (mgNO ₃ ⁻ /l)	5 – 40	5 – 10
Fósforo total (mg P/l)	5 – 100	5 – 10
Ortofosfatos (mg PO ₄ ³⁻ /l)	4 – 80	4 – 8
Alcalinidade em (mgCaCO ₃ /l)	1000 - 10000	200 – 1000
Dureza total (mg CaCO ₃ /l)	300 – 10000	200 – 500
pH	4,5 – 7,5	6,6 – 7,5

Na Figura 5.9 pode ser visualizada a variação da composição da produção de lixiviados ao longo das várias fases do aterro.

A biodegradabilidade do lixiviado é controlada pela relação CBO₅/CQO. Inicialmente este indicador é de cerca de 0,50 ou maior. O intervalo de valores entre 0,4 a 0,6 indica uma boa e rápida biodegradabilidade do lixiviado. Para aterros com idade de exploração mais avançada, verifica-se a existência de valores inferiores a 0,20, uma diminuição que se deve à existência de ácidos fulvico e húmico, de lenta biodegradabilidade.

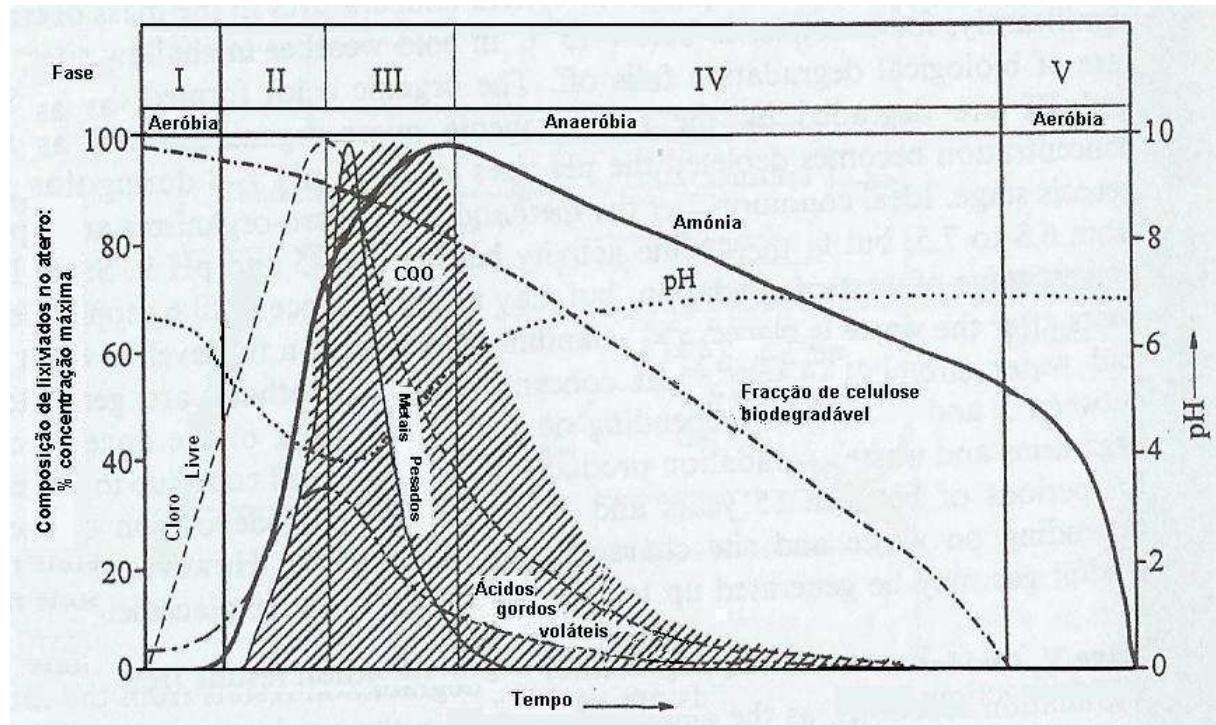


Figura 5.9 Composição do lixiviado no aterro ao longo do tempo [25]

5.1.4 Encerramento do Aterro Sanitário após a Exploração

A fase de encerramento é efectuada após o preenchimento total da célula do aterro, sendo coberta com terras e vegetação, onde mais tarde serão construídos espaços verdes. É caracterizada pela integração do aterro no meio natural envolvente. Pretende-se nesta etapa efectuar uma integração paisagística agradável e harmoniosa. Esta fase é contemplada logo na fase de projecto do aterro de modo a assumir um compromisso sério de devolução ao meio ambiente, a qual poderá consistir numa área de relvados, num arranjo paisagístico e florestação, numa zona desportiva ou de recreio ou num parque municipal.

A revegetação do aterro é dependente da preparação de um solo favorável ao desenvolvimento das espécies vegetais e à sua plantação de acordo com a região e o clima.

Para a vegetação do aterro deverão ser escolhidas espécies resistentes, susceptíveis de suportar condições difíceis e que permitam melhorar a estrutura e a qualidade do solo.

O aterro assume uma forma elevada, ajustada à envolvente natural através de curvas de nível.

Deve ser realizada a drenagem do aterro através da utilização de drenos superficiais para evitar a formação de toalhas de água, designadamente os drenos perimetéricos,

escavados no solo natural, permitindo captar as águas pluviais e desviá-las do contacto com a massa de resíduos.

As camadas de resíduos são inclinadas para facilitar o escoamento das águas e evitar a estagnação à superfície.

É de salientar a necessidade de construção de um ligeiro relevo na plataforma de topo de modo a evitar a formação de depressões resultantes do desabamento de massas devido à biodegradação.

O solo de suporte do aterro deve ser permeável à água e ao ar, pelo que deverá ser colocado sem qualquer compactação. A sua textura deve ser equilibrada e não deve conter elementos grosseiros e duros, dado que estes poderão prejudicar o funcionamento dos equipamentos de plantação e a manutenção da vegetação. Poderá ser usado o composto proveniente de estações de valorização orgânica no sentido de adicionar nutrientes ao solo.

Como solos de suporte poderão ser apontados os seguintes:

- material proveniente da terraplanagem preliminar do local;
- material proveniente de escavações em obras nas redondezas;
- material proveniente de escavações feitas para formação de alvéolos ou lagoas de tratamento de lixiviados;
- estrume e/ou composto;
- lamas secas de ETAR.

O material de cobertura deverá ter uma espessura de pelo menos 0,3 m, sendo aconselhada uma camada média de 0,8 m, situada acima da geomembrana de impermeabilização da cobertura, em cima da qual se deve colocar uma camada dos solos seleccionados para suporte da vegetação. No entanto, para a implantação de solos destinados à florestação, devem ser adoptadas espessuras de pelo menos 2 m.

Na Figura 5.10 apresentam-se exemplos de aplicação e espessura das camadas de materiais mais utilizados nos aterros.

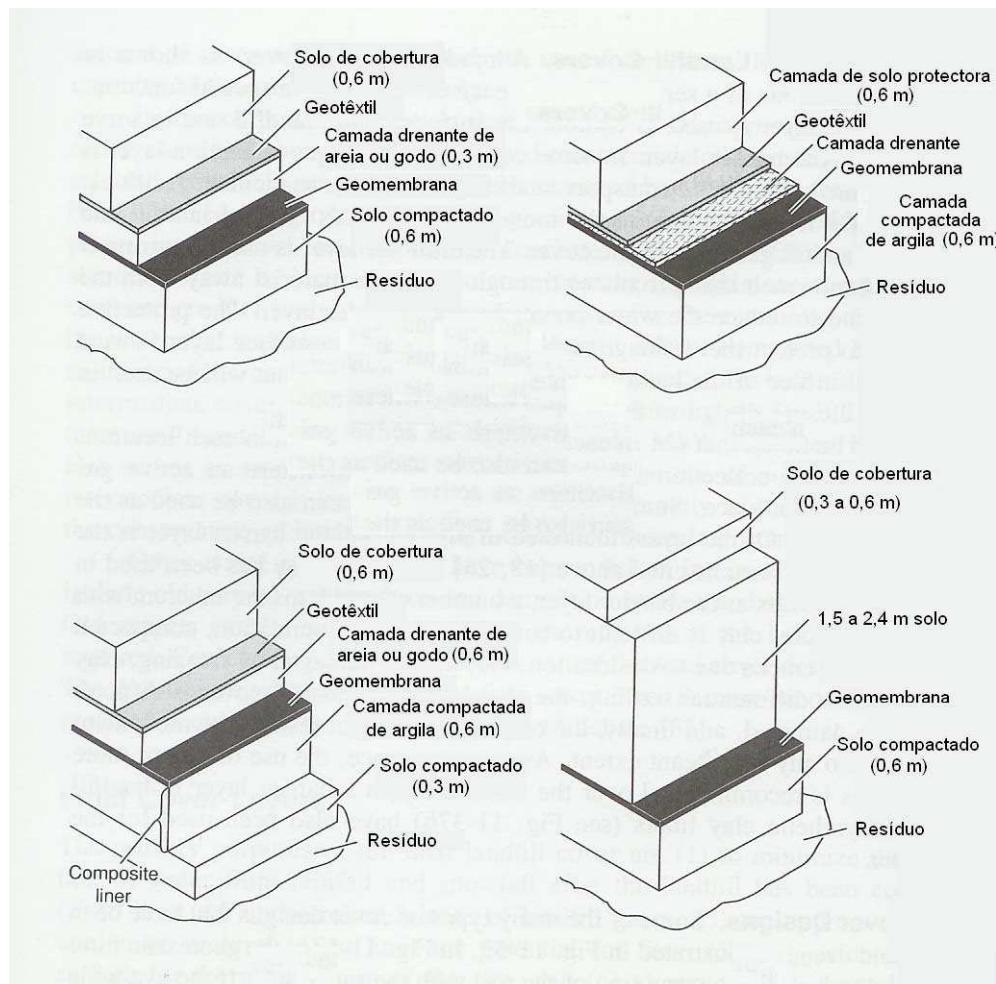


Figura 5.10 Configurações das camadas de um aterro [29]

Pode ser previsível a implantação de estruturas de irrigação do terreno de acordo com o clima e as características do solo de modo a assegurar o desenvolvimento das espécies.

É importante salientar que poderão surgir assentamentos nos aterros, durante a fase de exploração e após o encerramento deste, devido à presença de água, a alterações físicas e bioquímicas.

O escoamento de água através dos resíduos depositados provoca a erosão e o deslocamento de materiais finos que irão preencher os vazios maiores existentes entre os elementos grosseiros. Por outro lado, os fenómenos de oxidação e de fermentação anaeróbia poderão conduzir a uma perda importante de volume e ao desaparecimento de alguns materiais.

5.1.5 Vantagens e Desvantagens dos Aterros

A deposição em aterro é uma opção bastante competitiva do ponto de vista económico, dado que os custos de aquisição de terrenos são baixos e os custos de manutenção não são muito elevados. No entanto, os custos ambientais associados são dispendiosos. A deposição de matéria orgânica, devido ao seu teor de água e à sua fácil degradação biológica implicará a libertação de odores, a redução do volume do espaço ocupado, podendo provocar derrocadas e a produção de lixiviados.

É uma tecnologia atractiva uma vez que são admissíveis a aterro uma grande variedade de resíduos. Em muitos casos há uma forte interacção entre os processos de extracção de minérios e o enchimento do espaço disponível com os resíduos.

As principais vantagens dos aterros sanitários são as seguintes:

- grande flexibilidade para receber grandes quantidades de resíduos;
- fácil operacionalidade;
- baixo custo, quando comparado com outras soluções;
- disponibilidade de conhecimento;
- não conflituante com formas avançadas de valorização dos resíduos;
- devolução da utilização do espaço imobilizado durante a fase de exploração;
- permite a recuperação de áreas degradadas;
- reutilização do espaço do aterro por processos de biorremediação.

A maior parte dos aterros antigos existentes foram construídos antes da realização de estudos de impacte ambiental, pelo que muitos deles são actualmente fontes de poluição a nível de libertação descontrolada de biogás, provocando riscos de explosão, na formação de lixiviados não controlados, provocando a contaminação de águas superficiais e subterrâneas, e na possibilidade de ocorrência de assentamentos. Este problema é agravado devido à sua construção perto de zonas habitacionais, ou em alguns casos em que foram construídas habitações em aterros já encerrados [25].

As principais desvantagens destas instalações prendem-se com:

- não valorização do material;

- a fracção orgânica é colocada por “baixo do tapete” e tem uma degradação anaeróbia com a agravante de que, quando muito, 50% do metano produzido é captado e o restante é libertado para a atmosfera;
- a nível de efeitos ambientais o metano é 20 vezes superior ao dióxido de carbono;
- produção de organoclorados e ácido sulfídrico que não são depurados;
- o biogás de um aterro é pobre em metano;
- muitas vezes os lixiviados são mal tratados, pelo que constituem riscos de contaminação do solo.

A deposição em aterro da matéria orgânica provoca a formação de lixiviados, a produção de biogás, a propagação de odores desagradáveis e a proliferação de vectores de doenças. Por outro lado, provoca a ocupação de espaço, diminuindo o tempo de vida do aterro, podendo provocar derrocadas devido à sua facilidade de decomposição relativamente aos restantes materiais depositados.

Na Figura 5.11 são apresentadas de forma qualitativa as consequências ambientais da deposição dos resíduos em aterro.

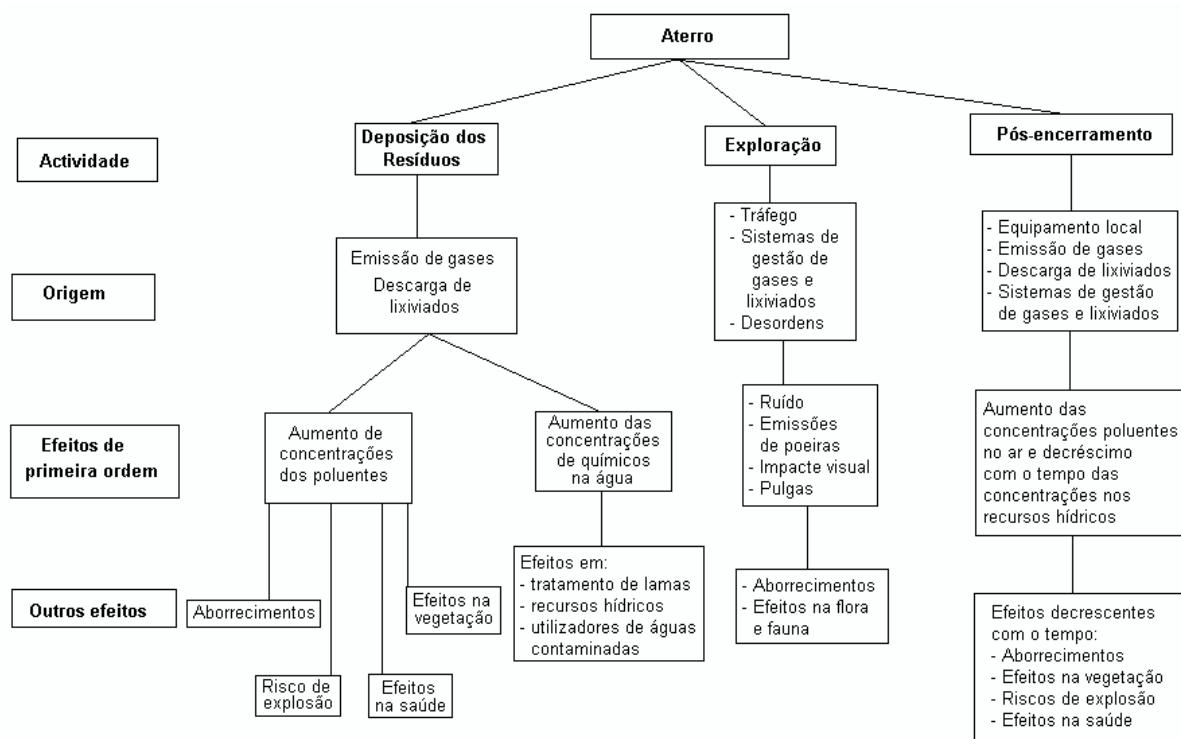


Figura 5.11 Efeitos ambientais da deposição em aterro [25]

6 Gestão dos RSU nos vários Continentes

A seguir, de forma sumária, apresentar-se-á a gestão de RSU nos restantes continentes, por forma a estabelecer uma visão comparativa do desenvolvimento em matéria de gestão de resíduos relativamente a Portugal.

Em 1991 produzia-se em Delhi, na Índia, cerca de 136 kg de resíduos/pessoa/ano e em Wuhan, na China cerca de 200 kg/pessoa/ano. No Reino Unido a evolução da composição dos resíduos ao longo dos anos pode ser verificada através da Figura 6.1. O componente maioritário no final do século XIX e no início do século XX eram as cinzas e poeiras resultantes do consumo de carvão para aquecimento. Este valor foi diminuindo à medida que surgiram novas jurisdições proibitivas da produção destes resíduos, associadas a uma maior implementação do consumo de gás e de energia eléctrica. Por sua vez, destaca-se um acréscimo da produção de resíduos putrescíveis e um aumento acentuado dos resíduos de papel e cartão, metais, vidros e plásticos, resultante do uso de embalagens, jornais, entre outros, devido à mudança para uma sociedade consumista.

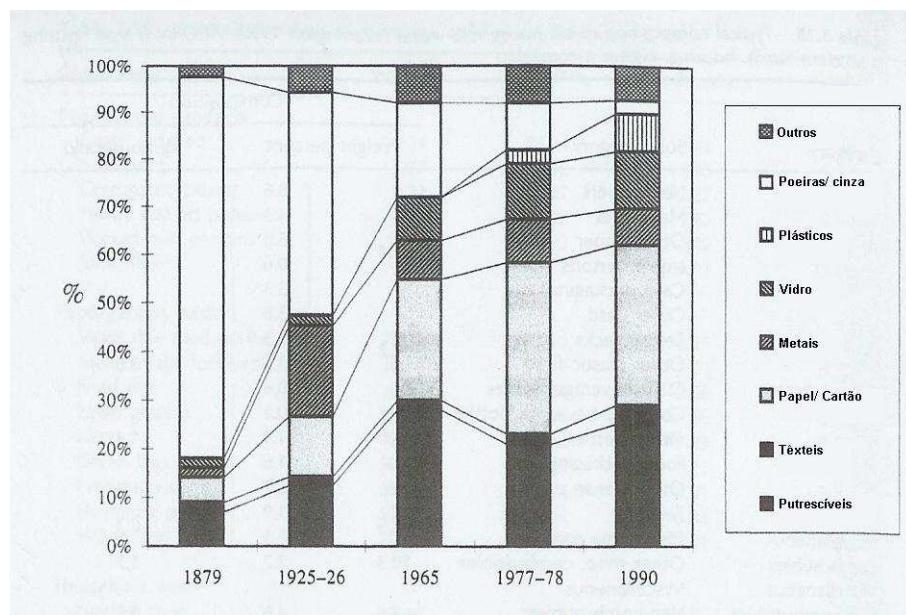


Figura 6.1 Evolução da composição dos resíduos no Reino Unido de 1879 a 1990 [25]

A Figura 6.2 apresenta a composição dos resíduos em variados países no ano de 1995.

Nesta ilustração poderá ser observada a variação existente na composição dos RSU. No entanto, é de salientar que esta comparação é difícil de ser realizada uma vez que os métodos de determinação, classificação e o grau de reciclagem são diferentes em cada país.

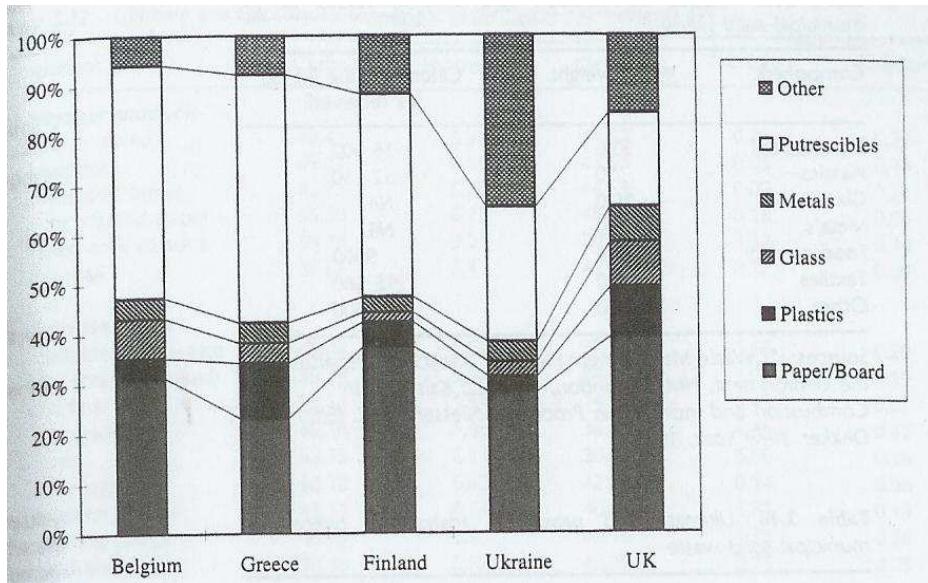


Figura 6.2 Composição de RSU na UE em 1995 [25]

As tendências para a gestão de resíduos nos vários continentes têm-se baseado na minimização, reutilização e reciclagem.

As opções de tratamento e deposição de RSU no Reino Unido, no ano de 1995, eram confinadas à deposição em aterro de 90% do total de resíduos (representando 18 milhões de toneladas), 5% encaminhados para incineração, sendo os restantes destinados a reutilização e reciclagem. Nesta data a deposição em aterro era vista como um método ambientalmente aceitável, podendo ser utilizada a produção de biogás para obter energia dos resíduos. No entanto, a maior parte dos aterros existentes tinham já uma idade avançada e não possuíam meios para utilização do biogás produzido. O Reino Unido estabeleceu então metas para minimizar a produção de resíduos através do recurso a novas tecnologias e processos, de forma a minimizar a quantidade de RSU a serem encaminhados para aterro. Como exemplo desta iniciativa foi o estabelecimento de metas de recuperação de RSU em cerca de 40% para 2005.

A compostagem e a digestão anaeróbia compreendiam menos de 1% das opções de tratamento existentes. A Tabela 6.1 apresenta uma comparação do destino dado aos resíduos produzidos em diferentes países no ano de 1995.

Tabela 6.1 Destino dos resíduos em alguns países (%) [25]

País	Incineração	Aterro	Compostagem	Reciclagem
Áustria	11	65	18	6
Bélgica	54	43	0	3
Canadá	8	80	2	10
Dinamarca	48	29	4	19
Finlândia	2	83	0	15
França	42	45	10	3
Alemanha	36	46	2	16
Grécia	0	100	0	0
Irlanda	0	97	0	3
Itália	16	74	7	3
Japão	75	20	5	⁶
Luxemburgo	75	22	1	2
Holanda	35	45	5	16
Noruega	22	67	5	7
Portugal	0	85	15	0
Espanha	6	65	17	13
Suécia	47	34	3	16
Suíça	59	12	7	22
Reino Unido	6	88	0	6
Estados Unidos da América	16	67	2	15

Conforme se poderá verificar, alguns países como a Grécia, o Canadá, a Irlanda, a Finlândia, Reino Unido e Portugal eram dependentes da deposição dos RSU em aterros. Outros países apostavam firmemente na incineração, como o Japão e o Luxemburgo. No entanto, países como a Dinamarca, a Holanda e a Suíça apresentavam políticas de valorização bem desenvolvidas, na qual uma grande percentagem dos RSU já eram reciclados e encaminhados para compostagem.

Em muitos casos, as características de cada país são factores decisivos na escolha das opções sobre o tipo de tratamento e destino a dar aos RSU, como é o caso da Holanda, um país com uma elevada densidade populacional e com uma capacidade de deposição em

⁶ No Japão os RSU são calculados depois da remoção de materiais recicláveis

aterro muito baixa, o que aumenta os esforços para a redução na produção de resíduos e o estudo das melhores tecnologias e processos de valorização a aplicar. No Japão, as políticas de gestão de RSU são baseadas na redução e reciclagem de RSU de forma a minimizar a quantidade de resíduos a depositar em aterro. Há uma responsabilização de cada município na preparação de um plano de gestão de RSU a aplicar aos resíduos produzidos na sua área, acontecendo o mesmo para a Suécia. No Canadá existia uma maior incidência na escolha de deposição de RSU em aterro, devido ao baixo custo de aquisição dos terrenos de implantação. Por outro lado, os custos das variadas fontes de energia eram baixos não incentivando a aplicação de unidades de valorização energética [25].

É importante referir que a necessidade de valorização dos resíduos produzidos não é só resultante do impacto directo que terá sobre a proliferação das doenças, a ocupação de espaços ou sobre o ambiente circundante, mas também pelo esgotamento dos recursos naturais, que se encontram actualmente a ser explorados até às últimas consequências. Como exemplo, podem apontar-se os recursos de cobre, zinco e estanho esgotados nos EUA [1]. As situações de escassez de materiais num determinado país leva à necessidade de importação de bens de outro país, o que implica, na maior parte dos casos, um aumento dos custos, como é o caso do petróleo. Por outro lado, o estilo actual das sociedades baseia-se na utilização de recursos naturais concentrados, como os minérios, distribuindo-os de uma forma descontrolada, o que torna a sua recuperação e reutilização muito difíceis. Neste sentido, justifica-se a redução dos resíduos a depositar em aterro, devendo ser reformulado o sistema económico e social no sentido de alcançar este objectivo.

A reutilização dos produtos é feita espontaneamente em muitos casos, podendo no entanto, ser incentivada pela sua capacidade de aplicação em variadas situações, evitando assim os gastos fortuitos.

O planeamento e tomada de decisões sobre a gestão de RSU é uma tarefa difícil e complexa. Em países em desenvolvimento, onde os recursos são limitados, estas decisões são ainda mais difíceis.

As decisões têm efeitos variados sobre o futuro da população de uma determinada área geográfica. O dinheiro despendido numa tecnologia ineficaz irá condenar as gerações futuras de determinado local. No entanto, a decisão acertada na escolha de uma tecnologia ou prática de gestão eficiente pode resolver os problemas adequadamente, preservando os fundos para resolução de outros problemas ambientais, económicos ou sociais.

O desenvolvimento de planos de gestão integrada requer o envolvimento de entidades públicas e privadas com vastos conhecimentos em gestão, tecnologias de tratamento, saúde pública, protecção ambiental, finanças públicas e fluxos sociais.

Em alguns países, a motivação para a redução deve-se aos elevados custos e escassez de locais de deposição, bem como a degradação ambiental associada à deposição de materiais tóxicos. Noutros países, onde os custos de deposição são baixos e há uma abundância de locais propícios à deposição têm sido implementados sistemas de gestão ambiental que permitam sensibilizar a sociedade para a problemática da deposição.

A promoção da redução de produção de resíduos pode ser feita:

- A nível nacional, através da reformulação de produtos ou embalagens, da promoção de acções de informação e responsabilização dos produtos consumidos.
- A nível local, através da separação dos materiais na fonte, seguido de recuperação, reutilização, pressionar as autoridades locais e regionais na elaboração de legislação sobre a redefinição dos processos de fabrico de produtos e embalagens, apoio à compostagem e outras tecnologias de tratamento.

Os países industrializados reduziram os seus mercados de bens utilizados, enquanto que na maior parte dos países em desenvolvimento existe ainda um intensivo mercado laboral que se baseia na reparação, reutilização e reciclagem, essencialmente, compra, venda e troca de resíduos. Desta forma, existe um maior potencial de redução de resíduos em países primários e a recuperação e processamento de materiais sintéticos está a ser agora realçada. Por outro lado, nos países em desenvolvimento, o grande potencial de redução de resíduos baseia-se na separação de resíduos orgânicos e de construção.

A Figura 6.3 compara a gestão de resíduos num país em desenvolvimento e num outro industrializado.

Redução de resíduos e recuperação de materiais: comparação entre Bangalore e Toronto

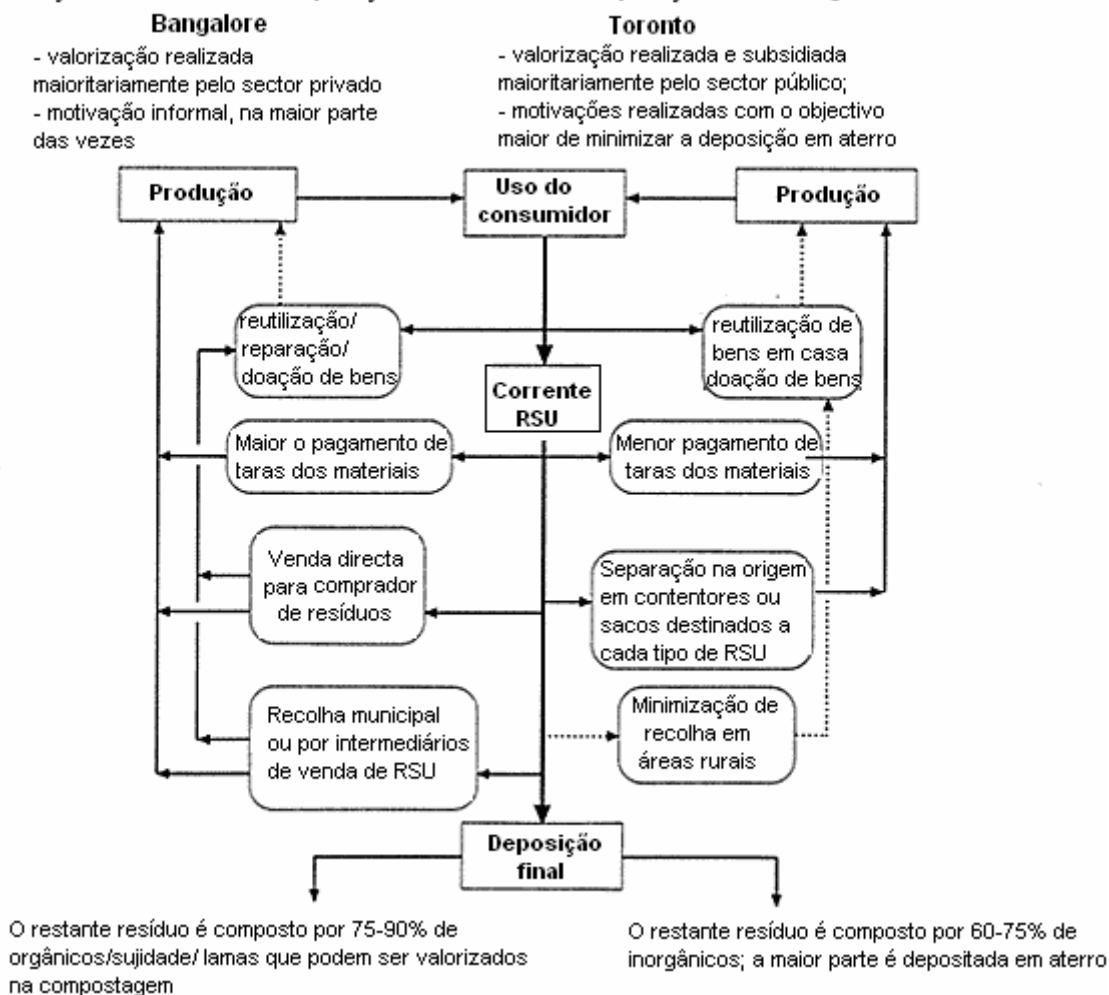


Figura 6.3 Comparação da gestão de RSU em dois tipos de países [31]

6.1 Países Desenvolvidos

Algumas cidades do Ocidente Europeu, América do Norte, Austrália, Nova Zelândia, Japão e Coreia adoptaram sistemas financiados de separação e recolha.

Em países industrializados os programas dos sistemas municipais para separação e recuperação de materiais consistem em:

- separação na origem em diferentes categorias de resíduos;
- recolha de matéria orgânica para compostagem em larga escala;

- promoção de compostagem doméstica;
- execução de campanhas de sensibilização e educação ambiental.

Em muitos países industrializados, a separação na fonte e a execução dos programas de recolha são financiados pelas autoridades governamentais, indústrias privadas ou fundações. Os cidadãos são consciencializados para os programas de gestão de resíduos verificando-se, no entanto, um fraco desenvolvimento de mercados de materiais recicláveis, limitando os custos de valorização dos materiais.

Deve ser fomentado o investimento na reciclagem nestes países. O potencial dos mercados para os produtos reciclados deve ser estudado antes de serem efectuados os investimentos em instalações de reciclagem. Os seguintes factores devem ser considerados:

- existência de fabricantes e intermediários;
- novos mercados potenciais;
- custos de transporte;
- especificações dos materiais;
- receitas e rendimentos;
- tipos de contratos com subcontratados.

As áreas urbanas podem aumentar os seus mercados através da formação de cooperativas. A cooperativa pode negociar com compradores e direcionar os recicláveis para centrais de armazenamento, tornando o transporte mais eficiente. As comunidades podem partilhar os riscos de mercado ao contratar serviços de reciclagem com os sectores privados.

Devem ser estabelecidos padrões de qualidade, ou seja, os compradores devem exigir padrões para a qualidade dos materiais que usam. Para que o programa seja um sucesso, a qualidade deve ser tão importante quanto os custos envolvidos. A garantia da qualidade deve ser feita através de acções de informação à população relativamente aos materiais que podem ou não ser reciclados.

Os custos de recolha podem ser minimizados através da recolha de recicláveis em veículos usando sacos de diferentes cores para os diferenciar do restantes resíduos.

A maximização da participação é feita através da divulgação da informação, colocação de contentores em locais conhecidos e divulgados, programas de educação escolares, contentores de reciclagem, linhas telefónicas de apoio. A literatura que ensina a separação dos resíduos deve ser curta e simples e distribuída frequentemente. Os residentes devem saber o que é esperado deles, a localização dos centros de deposição e os materiais que podem ser recebidos.

Face à crescente produção dos RSU e à rapidez de esgotamento de recursos, os países desenvolvidos têm vindo a desenvolver estratégias que evitem a produção de resíduos (produção de “zero resíduos”).

A estratégia “zero resíduos” tem vindo a merecer especial atenção por parte de alguns países como a Áustria, a Nova Zelândia e os Estados Unidos da América. Esta estratégia visa maximizar a reciclagem, minimizar a produção de resíduos, reduzir o consumo de materiais e garantir que os produtos são fabricados com o intuito de serem utilizados, posteriormente reutilizados, reparados, reciclados para a natureza ou recolocados no mercado. A adopção desta estratégia implica o refinamento dos sistemas de recolha, avanço das tecnologias de valorização e o desenvolvimento dos mercados, com a abertura à comercialização de materiais secundários. Por outro lado, permite minimizar os custos financeiros.

Esta estratégia requer a necessidade de assumir uma responsabilidade dupla:

- a comunidade tem que maximizar a reutilização, reparação, reciclagem e compostagem;
- a indústria tem que reprojectar e redefinir os processos de fabrico de modo a fabricar produtos valorizáveis, uma vez que a produção de resíduos indica ineficiência do processo de fabrico.

A indústria e a comunidade têm que reduzir as práticas desnecessárias como a utilização excessiva de embalagens e respectivo consumo.

Existem empresas que apontam como metas do processo de fabrico a produção de produtos sustentáveis, como a garantia de 99% de reciclagem de televisões, 98% de reciclagem de carros. Como exemplo pode apontar-se a Xerox que comercializou uma fotocopiadora na qual 90% dos seus componentes podem ser recicláveis [32].

O desenvolvimento de mercados de materiais secundários oferecem oportunidades que permitem estimular a inovação e criar novos locais de trabalho.

O consumo de materiais contribui indirectamente para as mudanças climáticas porque é necessário despender energia para extração, exploração e processamento, bem como efectuar o transporte de materiais. No entanto, mais energia é necessária para fabricar, transportar, e, depois de usados, depositar os materiais desnecessários.

6.2 Países em Desenvolvimento

A maior parte dos locais urbanos de países em desenvolvimento têm tido a experiência da redução na recuperação dos materiais reciclados e o correspondente aumento de resíduos pós-consumo.

A escassez de matéria-prima, a ocorrência de situações de pobreza, a disponibilidade dos trabalhadores para aceitar baixos ordenados e a existência de vastos mercados de bens usados e produtos derivados da reciclagem dos plásticos e dos metais leva à necessidade da população encontrar, nos resíduos, o seu meio de sobrevivência. Nestes países, os resíduos que eram conduzidos para a reciclagem ou depositados em aterros num país industrializado, têm um importante valor.

A redução de resíduos que seria alcançada unicamente com legislação, não tem, no presente, constituído uma elevada prioridade, embora alguns países deste grupo se estejam a deslocar nesta direcção. Os equipamentos velhos são vendidos a valores baixos para outras indústrias menores e menos avançadas. A saúde pública está a beneficiar com a reutilização de embalagens de plástico e de cartões que permitem reduzir os riscos de contaminação dos alimentos.

Todas as cidades têm mercados para bens usados, sendo este sistema adaptado às flutuações de mercado.

Muitas pessoas estão relacionadas com actividades de recuperação, processamento e reciclagem e as alternativas de encontrar outro tipo de trabalho são escassas.

As organizações governamentais são mais sensíveis às necessidades de emprego que às considerações governamentais, pelo que estão preparadas para correr alguns riscos ambientais e de saúde pública em prol da geração de empregos.

A Figura 6.4 apresenta a reciclagem de papel na Índia.



Figura 6.4 Pequena instalação de reciclagem de papel [31]

Do ponto de vista da redução de resíduos, as práticas de reparação e reutilização, e a venda, troca ou doação de bens usados são uma vantagem para os países pobres. Sem esta actividade, as quantidades de resíduos inorgânicos produzidas seriam muito elevadas.

Neste sentido, estas sociedades devem ser alertadas para mudanças socio-económicas que ameacem a conservação das tradições de reaproveitamento de materiais usados. Quando os padrões de vida se elevam, a separação voluntária tem tendência a diminuir a não ser que seja encorajada por um programa que incentive a gestão ou que se mantenham convenientes as vendas de materiais recicláveis. A importação de materiais pode encurtar o mercado de materiais locais resultando num decréscimo da recuperação de resíduos.

Quando as motivações económicas para a separação diminuem, a educação pública deve ser suficiente para garantir a gestão independente dos problemas ambientais.

O financiamento municipal da recolha selectiva de recicláveis requer o conhecimento de mercado, a coordenação da recolha de resíduos e a elaboração de planos de educação pública.

, Prioridades para os países em desenvolvimento

A hierarquia adoptada em muitos países industriais com elevados padrões de vida pode não ser apropriada para alguns países menos desenvolvidos. O departamento de gestão de RSU deve encorajar a redução e a recuperação de materiais pelo sector privado. Os municípios devem ter cuidado ao adoptar programas e tecnologias ocidentais, embora em alguns casos seja apropriado.

Embora a redução de resíduos não seja tão importante como é nos países industrializados, os países em desenvolvimento devem ser alertados para o crescimento das práticas de rejeição que resultem dos processos industriais e dos modos de consumo dos países desenvolvidos.

A primeira prioridade é separar os resíduos orgânicos dos restantes resíduos, uma vez que constituem uma parcela significativa na composição dos resíduos. A segunda prioridade é suportar a máxima redução/recuperação de materiais sintéticos sem separação dos RSU.

A Figura 6.5 apresenta um trabalhador a utilizar plásticos para produzir sandálias.



Figura 6.5 Produção de sandálias a partir de plásticos [31]

, Argumentos contra a recuperação de materiais em países em desenvolvimento

A recolha e negociação de resíduos exige recursos. Em muitos casos a separação na fonte apoiada pelas autoridades municipais não reduzirá necessariamente a quantidade de resíduos depositados pelas autoridades. Esta razão deve-se a que muitos recicláveis com valor já se encontram separados da corrente de RSU pelos produtores de resíduos, através de sistemas privados e/ou informais de comércio e reciclagem de resíduos. Nestes casos, o departamento de gestão de RSU não será capaz de suportar os elevados custos de recolha selectiva através da venda de materiais residuais que não são vendidos pelos produtores. Como exemplo, podem apontar-se algumas cidades como São Paulo e Rio de Janeiro, que não foram capazes de cobrir os custos de recolha de materiais mesmo quando as redes locais de recuperação diminuíram [31].

Um impedimento adicional ao apoio municipal de recuperação de materiais advém do facto da existência de muitos indivíduos e pequenas empresas que se desenvolvem através da recuperação e negociação de recicláveis, uma vez que os resíduos separados na origem, para posterior recolha municipal, seriam roubados antes do município os recolher.

Devido aos elevados problemas laborais em países em desenvolvimento, é muitas vezes problemático reduzir o emprego do sector privado de recuperação e negociação de resíduos e transferi-lo para o sector público, o que justifica a ineficiência do sector público na gestão de resíduos.

Os métodos de separação na fonte e recuperação de materiais usados nos países industrializados podem constituir boas práticas de gestão sempre que o sistema informal encolher (como em *Kuala Lumpur*) ou onde existem poucas indústrias de reciclagem (como o caso de cidades africanas).

, Estratégias de gestão de resíduos em países em desenvolvimento

Cada cidade ou local dos países em desenvolvimento deve estudar as características dos seus resíduos e aceder ao potencial de redução local. Existem locais com um elevado potencial de reciclagem (como o Cairo e Calcutá) e outros locais que possuem um baixo potencial de reciclagem (países visitados por turistas, como *Guam* e *St. Kitts*).

As ferramentas de promoção da redução e recuperação de resíduos nos países em desenvolvimento devem consistir em:

- realização de campanhas de educação promocional;
- estudo das correntes de resíduos produzidos (análises à quantidade e composição), sistemas de recuperação e reciclagem, mercados para materiais recicláveis e problemas de estabelecimento de estratégias para as autoridades locais;
- apoio à separação na fonte, recuperação e redes de negociação para o mercado de resíduos;
- facilidade de implementação de pequenas empresas e sociedades público-privadas;
- assistência a pessoas que recolhem de modo a remover a recolha manual através da implementação de programas de formação ou subsidiação de centros de escolha de materiais, controlando os compradores e negociantes;

- elaboração de legislação adequada para a redução de embalagens, recuperação e reciclagem de materiais;
- exportação dos materiais reciclados, quando há necessidade em países vizinhos, assegurando a inexistência de toxicidade;
- promoção da inovação através da criação de novos usos para os materiais e bens que poderiam ser depositados após o seu uso inicial.

Os trabalhadores e algumas pequenas empresas utilizam poucas tecnologias para optimizar os métodos de reciclagem e para produzirem novos resíduos. Usualmente não têm apoio financeiro. As condições de trabalho na recuperação e reciclagem são muito más, especialmente para trabalhadores do mais baixo nível laboral, como a utilização de mulheres na separação e “apanha” de resíduos, conforme apresentado na Figura 6.6. Os pequenos intermediários e compradores de resíduos trabalham com impedimentos, como a perseguição das autoridades locais e de grandes empresas do sector. A recolha de resíduos é abominada, mas são tomadas muito poucas medidas no apoio às pessoas que o fazem.



Figura 6.6 Recolha de resíduos por mulheres na América Latina [31]

Embora a recuperação e reciclagem sejam os princípios básicos de um desenvolvimento sustentável, impõem significativos riscos de saúde para as pessoas envolvidas, especialmente quando não existem cuidados com o seu manuseamento. Estes problemas acontecem frequentemente em locais onde as práticas sanitárias de segurança são in-existentes ou deficientes. Algumas indústrias de reciclagem de países em desenvolvimento podem ser mais poluentes que aquelas que utilizam matérias-primas provenientes dos recursos naturais, uma vez que não existe legislação regulamentar, nem, na maior parte dos casos, há capacidade para fiscalizar o seu cumprimento.

Na América Latina, as cooperativas e empresas de pequena escala têm tido algum sucesso na compra e venda de materiais recicláveis, tendo impactes benéficos para a sociedade.

Estas instituições necessitam de apoio externo para a fase inicial, sendo preferível que este apoio seja proveniente das autoridades locais. Idealmente, a autoridade local deve proporcionar a localização adequada onde os materiais recicláveis possam ser armazenados e separados antes de serem vendidos a empresas ou intermediários. A coordenação de esforços com empresas que usem os materiais secundários é importante uma vez que garante o fluxo de materiais. Estas empresas requerem formação e suporte no processamento dos materiais, tornando a gestão de resíduos num processo com baixos riscos para a saúde e o ambiente.

São exemplos da multiplicação destas organizações, as cooperativas de recolha situadas na Colômbia e no Peru.

Analistas da gestão de resíduos urbanos na América Latina concordam que este tipo de abordagem é mais viável em termos tecnológicos e económicos que a gestão municipal. Eles usam carroças motorizadas ou transportadas por pessoas, que são mais baratas e menos poluentes que os camiões de recolha. Os custos administrativos são mais baixos que os de gestão municipal. Por outro lado, as pessoas que recolhem os resíduos são membros de comunidades pobres, pelo que os empregos criados são necessários. Existem exemplos de tentativas de implementação do mesmo tipo de gestão de resíduos através do uso de cooperativas noutras continentes, como a Índia, Ásia e África, sendo que alguns não obtiveram sucesso devido a variados factores, tais como a diferença de áreas abrangidas e a necessidade de estabelecer sistemas de larga escala [31].

Por outro lado, em alguns locais de países em desenvolvimento verifica-se a recolha manual e directa dos resíduos, uma prática muito arriscada devido ao forte potencial de proliferação de doenças, uma vez que as pessoas não utilizam qualquer tipo de equipamento de protecção e muitas vezes é feito por crianças ou mulheres grávidas. As autoridades não têm capacidade para forçar a proibição, uma vez que se tratam de comunidades pobres que procuram nos resíduos uma forma de sobrevivência. Neste sentido, são sugeridas algumas acções por parte de organizações não governamentais e activistas que consistem em [31]:

- subsidiar o equipamento de protecção adequado para reduzir os riscos de recolha (muitas vezes este vestuário é vendido pela pessoa à qual é fornecido);

- providenciar o acesso aos cuidados básicos de saúde;
- regular o sistema de recolha, através da designação de áreas de recolha em estações de transferência;
- proporcionar a formação de cooperativas para melhorar os seus lucros e condições de trabalho;
- controlar a recolha de resíduos nas ruas e os compradores intermediários.

7 Gestão de RSU em Portugal

A Lei de Bases do Ambiente e outros diplomas conferiam às Autarquias, em 1995, a responsabilidade na gestão de resíduos. Estas efectuaram um enorme esforço na recolha e transporte de resíduos, abrangendo nessa data, cerca de 98% da população, sendo que 46% era servida por um sistema de tratamento de RSU. Este documento indicava também a necessidade de elaboração de um Livro Branco sobre o Estado do Ambiente que deveria ser entregue periodicamente à Assembleia da República.

O PERSU, publicado em 1997 constitui um dos primeiros documentos oficiais elaborados no sentido de avaliar o estado de gestão de resíduos em Portugal.

7.1 Evolução da Produção de Resíduos

Em 1995, a maioria das autarquias não realizava campanhas de caracterização de RSU sendo as estimativas baseadas na produção de resíduos numa ou outra região. A este facto está associado um elevado grau de incerteza que dificultava a realização de estudos mais rigorosos, registando-se flutuações de captações e produção de resíduos que podem colocar em causa as estimativas efectuadas. Um exemplo deste facto são as estimativas apresentadas no Livro Branco Sobre o Estado do Ambiente em Portugal (1991) publicado pelo MARN, as quais se encontram editadas na Tabela 7.1.

Como exemplo, a estimativa de produção de resíduos no distrito do Porto foi baseada no facto de se encontrar a par de Lisboa, como a mais fiável em termos de resultados por se efectuarem caracterizações sistemáticas e controlo de descargas de resíduos. Foi prevista uma taxa de crescimento da produção de RSU de cerca de 10% por triénio, tal como em Lisboa. No entanto, a Lipor constatou na prática que tinha sido cerca de 10% ao ano. Com efeito, os factores que influenciam a produção de resíduos sólidos são variados e impossíveis de se quantificarem com rigor, situação que se agrava quando não existem séries históricas, como é o caso da maioria das municipalidades portuguesas.

Tabela 7.1 Estimativa da produção de RSU (g/hab/dia) [22]

Distrito	1987	1990	1993
Aveiro	702	750	798
Beja	548	590	632
Braga	632	680	728
Bragança	542	590	638
Castelo Branco	641	740	839
Coimbra	858	990	1122
Évora	565	610	655
Faro	656	710	764
Guarda	642	720	798
Leiria	672	720	768
Lisboa	789	840	891
Portalegre	555	600	645
Porto	756	810	864
Santarém	699	750	801
Setúbal	746	810	854
Viana do Castelo	615	660	705
Vila Real	555	600	645
Viseu	628	700	772
Média	707	766	825

Em 1995 a produção de RSU foi estimada em cerca de 3500000 toneladas.

As campanhas de caracterização de resíduos permitiram obter os dados apresentados na Figura 7.1.

Nesta data, a fracção de resíduos de embalagem representava cerca de 25% dos RSU, sendo considerado para a obtenção deste valor que 30% de papel e/ou cartão, 100% de vidro e 90% de metais e plásticos existentes nos RSU são embalagens. Na Figura 7.2 é apresentada a composição dos materiais de embalagem tendo em conta estes pressupostos.

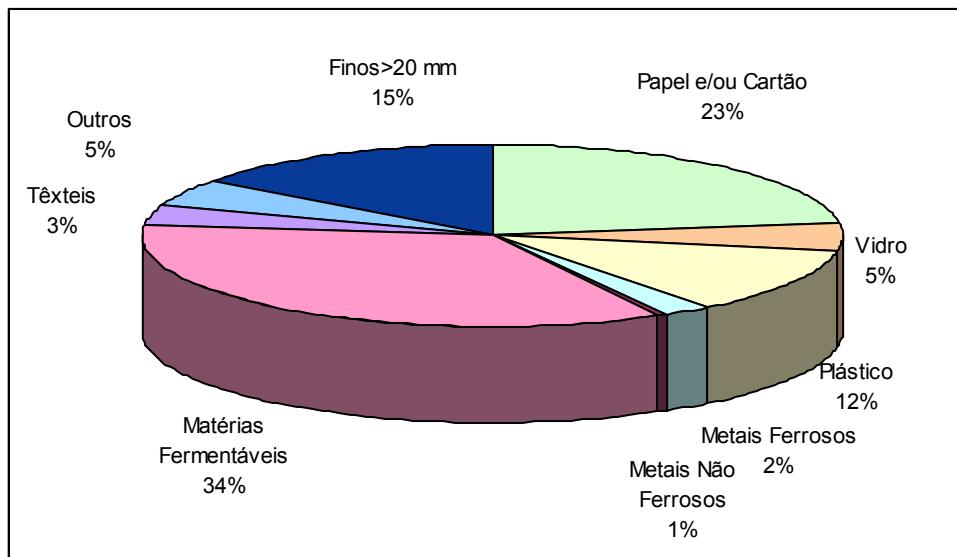


Figura 7.1 Composição média dos RSU, em 1993 [6]

Para estes materiais pode referir-se que em 1993 se verificou uma taxa de valorização reduzida, facto que poderá ser observado na Tabela 7.2.

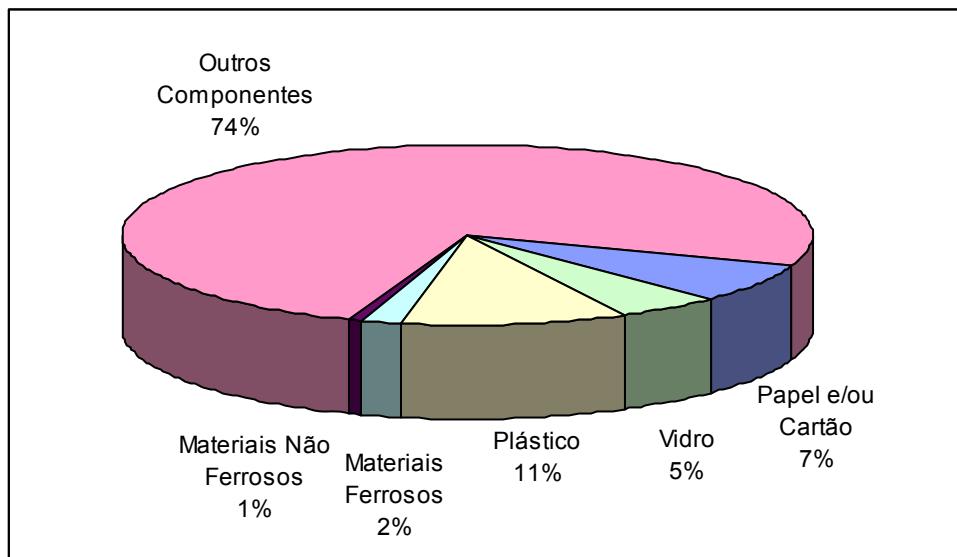


Figura 7.2 Composição dos materiais de embalagem dos RSU em 1993 [6]

Tabela 7.2 Taxa de reciclagem dos vários componentes de embalagens [6]

Componente de RSU	Recolha Selectiva (t)	Reciclagem (%)
Papel e/ou Cartão	12	0,005
Vidro (casco doméstico)	21977	13
Plástico	1577	0,4
Metais	300	0,3

Nesta data, a previsão da evolução dos resíduos foi efectuada com base num acréscimo anual de 3% na sua produção, o que permite apresentar a Figura 7.3.

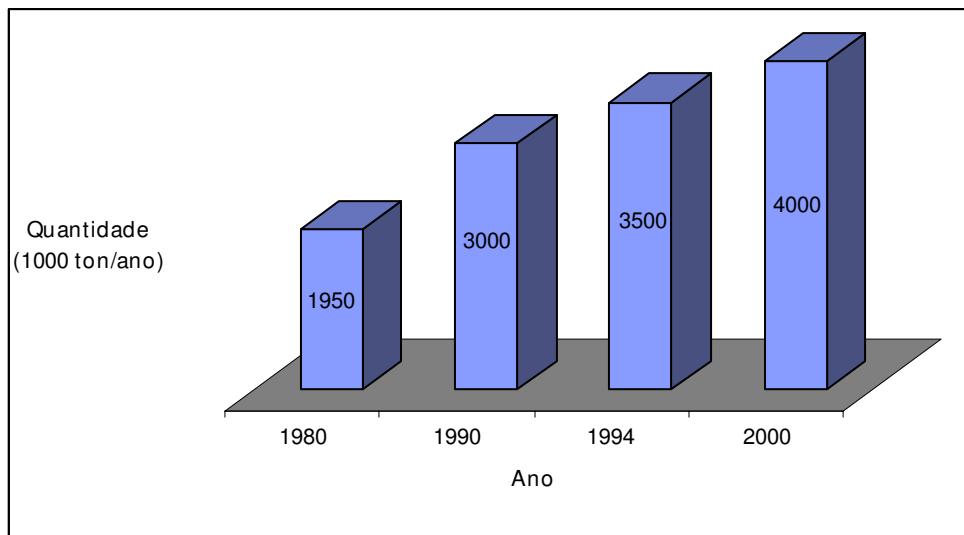


Figura 7.3 Previsão da evolução da produção de RSU [6]

À semelhança dos países desenvolvidos, Portugal tem registado uma crescente evolução na produção de resíduos urbanos, um fenómeno que está associado ao crescimento da economia e ao poder de compra da população. Nos últimos tempos verifica-se uma estabilização pouco significativa, a qual poderá dever-se à aplicação de diferentes estratégias de gestão de resíduos, resultado do aumento da legislação nesta matéria, bem como da elaboração de planos estratégicos de acção.

Face ao panorama da União Europeia (UE) pode referir-se que o País detém uma produção de resíduos urbanos inferior à maioria dos restantes países que a constituem, conforme pode ser observado para o ano 2001 na Figura 7.4.

Segundo o PERSU, no qual foram estabelecidas metas para a produção destes resíduos, os resultados atingidos são aproximadamente semelhantes aos esperados, embora se possa notar um ligeiro aumento da sua produção relativamente ao previamente estabelecido, tal como se vê na Figura 7.5.

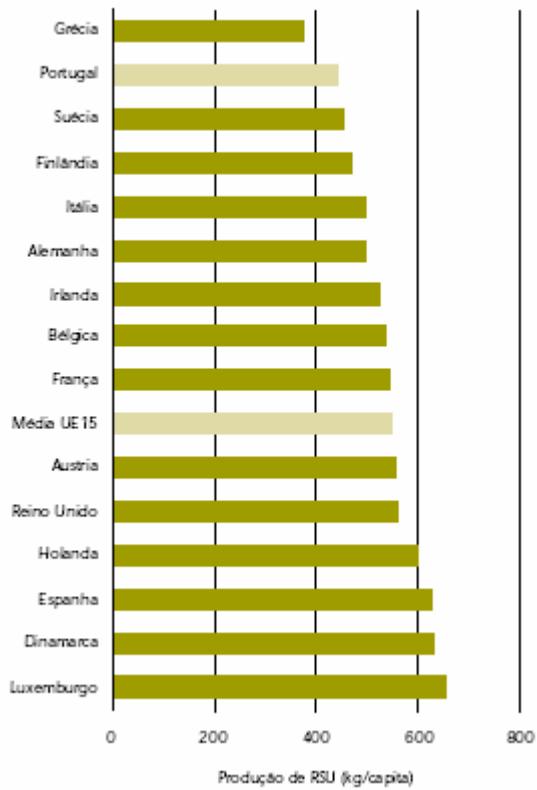
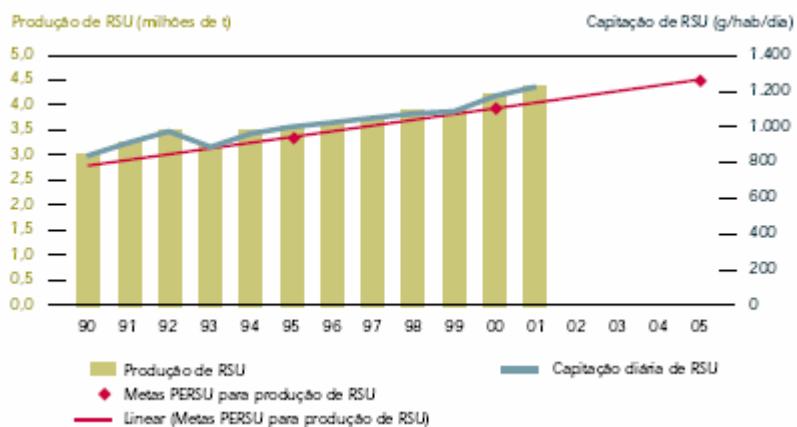
Figura 7.4 Produção de RSU, *per capita*, na UE [23]

Figura 7.5 Comparação entre a produção de RSU em Portugal e as metas definidas no PERSU [23]

7.2 Evolução da Gestão de Resíduos

Relativamente à gestão de RSU, em 1995 Portugal detinha-se perante um cenário degradante, resultado da aglomeração de várias lixeiras a céu aberto existentes no País. Este era caracterizado pela existência de detritos em contínua combustão, com despejos indiscriminados, facilitando uma exposição directa entre estes e as pessoas sem condições financeiras que procuravam materiais para reutilizar. A localização de uma lixeira era feita através da visualização de fumos e da inalação de intensos cheiros incomodativos para a vizinhança.

O PERSU apresenta, de uma forma sintetizada, o diagnóstico da situação de gestão de resíduos existente em 1995, os objectivos e as acções a desenvolver em cada grupo de resíduos. Este plano permite salientar que os resíduos urbanos mereceram e merecem uma posição de destaque perante a situação nacional, devido ao crescimento demográfico e consequente aumento da sua produção.

Em 1994, a deposição incontrolada de resíduos representava cerca de 50% da sua produção, sendo as únicas formas disponíveis para destino final, as lixeiras, os aterros e a compostagem. A Figura 7.6 permite visualizar o cenário existente nesta época, a partir da qual se pode referir que a maior parte dos resíduos eram encaminhados para as lixeiras.

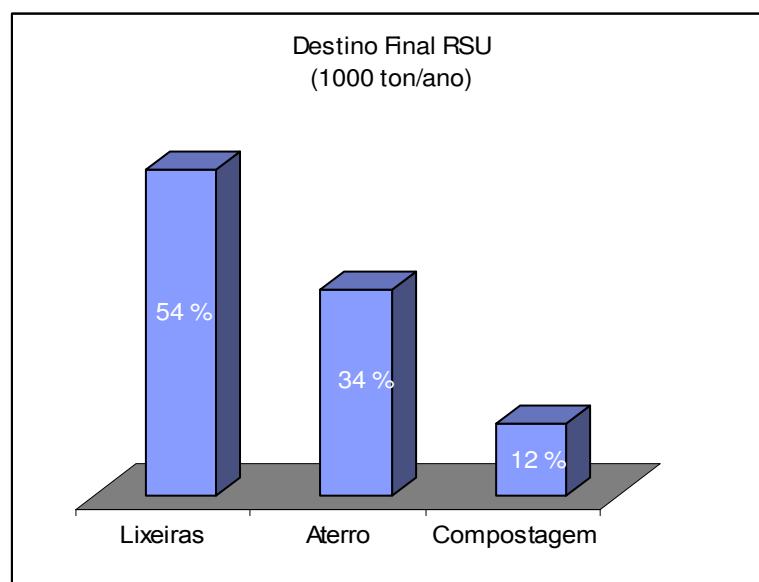


Figura 7.6 Destino final dos RSU em 1994 [6]

O PERSU, foi um documento que retirou às autarquias a competência exclusiva no tratamento e gestão dos resíduos, e possibilitou a entrega destas funções a empresas multimunicipais ou associações de municípios. Desta forma, pretendia-se atingir o objectivo

primordial de dotar o País de um sistema de gestão e tratamento estrategicamente adequado, tendo em conta o cenário degradante compreendendo 341 lixeiras, 13 vazadouros controlados e 5 estações de compostagem.

Este documento previa que até ao ano de 2000, a separação, reutilização e reciclagem teriam que fazer parte dos hábitos comportamentais do quotidiano da população portuguesa.

O PERSU colocou também alguns desafios e tomadas de acções a desenvolver entre o período de publicação do documento e o ano 2000. Entre elas destaca-se essencialmente a irradicação das lixeiras e a disposição municipal de sistemas de gestão de resíduos, tendo em consideração:

- a prevenção, através de uma mobilização e convergência de esforços entre os produtores e consumidores;
- o tratamento, colocando restrições na fracção de resíduos eliminados em aterro não ultrapassar os 30% e a fracção de resíduos a serem eliminados por incineração ser inferior a 30%, promovendo técnicas de baixo custo para as zonas rurais e de ocupação dispersa, instalando e incentivando novos sistemas de tratamento;
- a valorização, limitando a fracção de resíduos a serem eliminados por compostagem ao valor máximo de 15%, criando estratégias de recolha selectiva em função das características e dos aglomerados populacionais e incentivando a deposição e a recolha selectiva através da sensibilização da população e criando incentivos financeiros e fiscais nas várias instalações de valorização de resíduos.

A urgente necessidade de cumprimento destes objectivos e de aproveitamento dos financiamentos comunitários, levou a que o Ministério do Ambiente acelerasse o processo de aplicação dos pressupostos impostos.

Desta forma a situação do estado de exploração das lixeiras foi avaliada, tendo sido adoptada uma filosofia de remediação e não de descontaminação imediata dos locais, constituindo uma das primeiras prioridades de acções a desenvolver em matéria de gestão dos RSU. As intervenções efectuadas basearam-se na modelação da massa de resíduos, drenagem periférica e/ou pontual de lixiviados, drenagem de biogás, de águas pluviais, cobertura final, arranjo paisagístico, a queima de biogás em lixeiras de grande dimensão e situadas na proximidade de novos aterros e criação de um sistema de monitorização.

Como concretização dos objectivos pré-definidos no PERSU foram implantados sistemas de monitorização e acções de sensibilização.

A metodologia de encerramento das lixeiras teve como base o recurso a critérios físicos e ambientais [7]. Desta forma, as acções e intervenções realizadas foram as seguintes:

- Levantamento (Diagnóstico) que consistiu no estudo e análise da lixeira e da zona envolvente;
- Estudo, Projecto e Obra: baseado na concepção, planeamento, execução e fiscalização da obra;
- Monitorização: implementação de programas de controlo de lixiviados, águas subterrâneas e biogás.

O encerramento da última lixeira datado de 28 de Janeiro de 2002 marca o fim de anos de polémica associados a estas instalações que foram substituídas por unidades de deposição controlada dos resíduos.

A deposição descontrolada dos resíduos em lixeiras que se encontravam nas imediações de zonas habitacionais e dos riscos envolvidos deu azo a que se gerassem conflitos populacionais nos locais em que se previa a implantação de aterros sanitários para deposição de RSU. A origem destes conflitos centrava-se na descrença de uma população habituada a conviver com lixeiras na vizinhança durante toda a sua vida, pelo que a implementação destas unidades foi fortemente acompanhada pela desconfiança da credibilidade dos estudos efectuados, sendo agravada pelo célebre andamento dos processos.

A maior parte dos aterros construídos já demonstram alguns sinais de mau funcionamento, tanto a nível de deficiências encontradas nas respectivas estações de tratamento de lixiviados, como constatado pela Inspecção-Geral do Ambiente, como na falta de rigor na gestão e cumprimento dos fins inicialmente previstos. É de realçar que, em Portugal, um dos maiores problemas dos aterros para RSU está relacionado com a deposição dos resíduos de muitas indústrias que faziam a descarga dos seus resíduos nas lixeiras municipais. Este facto é devido à inexistência de situações alternativas, uma vez que no País o processo de construção dos aterros industriais se encontra atrasado, pelo que o Ministério do Ambiente foi autorizando a deposição deste tipo de resíduos nos aterros urbanos diminuindo o seu tempo de vida útil.

Em matéria de gestão de embalagens e resíduos de embalagens o plano de acções do PERSU centrou-se na concretização das seguintes metas:

- Criar legislação adequada para a gestão de embalagens reutilizáveis e não reutilizáveis;
- Incentivar a adesão da população a sistemas de recolha selectiva multimaterial;
- Diminuir a fracção de embalagens existente nos RSU, impondo um limite máximo de 25% (1000000 toneladas) para o ano 2000;
- Valorizar 50% das embalagens geradas em 2000 e dessas embalagens reciclar no mínimo 25%, sendo o material restante destinado a incineração com recuperação energética.

A Figura 7.7 apresenta a evolução da gestão dos resíduos urbanos em Portugal durante os anos de 1994 a 2001, apresentando também as metas definidas no PERSU para o ano 2000 e 2005. Este gráfico permite referir que, relativamente aos objectivos preconizados pelo PERSU, não foi atingida a valorização por compostagem e recolha selectiva dos resíduos para 2000.

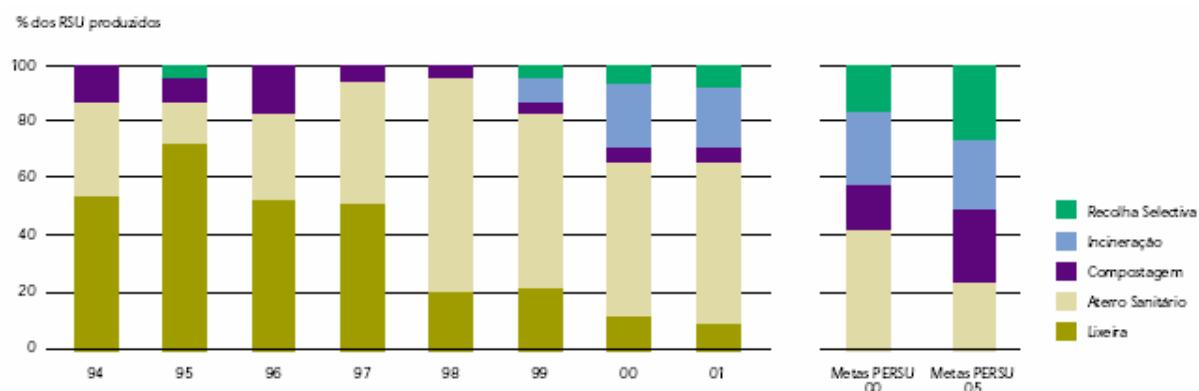


Figura 7.7 Tratamento e destino final dos RSU em Portugal continental [23]

Através de várias reformulações legais, foi possível alargar os horizontes da responsabilização e do mercado de resíduos em Portugal através da criação de sistemas gestores multimunicipais e intermunicipais em relação directa com os municípios.

Pode referir-se que em 2001, os aterros sanitários constituíam um destino de 56,5% dos RSU produzidos.

Actualmente, a gestão de RSU em Portugal é realizada por 30 sistemas, abrangendo 100% dos resíduos tratados adequadamente. Neste momento pode afirmar-se que a taxa de cobertura da população com destino adequado de RSU é de 100% para o continente.

Foram construídas unidades de tratamento e de destino final adequadas, através da implementação de estações de compostagem, incineração e de deposição controlada em aterro. Foram instaladas estações de transferência e desenvolvidos sistemas de recolha selectiva, através da instalação de ecopontos e ecocentros em sistema trifluxo.

Até 2002 pode dizer-se que o incentivo à recolha selectiva levou à instalação de vários ecopontos distribuídos pelo País, sendo que em 2001, se obteve uma densidade média de 700 hab/ecoponto. Por sua vez, a implantação de ecocentros em várias localidades do País permitiu a recolha de diversos fluxos de resíduos e de fileiras de materiais. Este facto permite evidenciar o êxito da recolha selectiva, através da utilização de campanhas de sensibilização às populações.

Algumas estações de compostagem existentes foram encerradas, alteradas e ampliadas, tendo em vista a optimização dos processos de tratamento e a melhoria de controlo da poluição e da proliferação de odores. O composto produzido é utilizado para fins agrícolas, como correctivo orgânico em vinhas, jardins e culturas hortícolas.

Devido às elevadas densidades populacionais e à produção de resíduos associada, foram construídas duas centrais de incineração de RSU com recuperação de energia. Cada instalação tem um consumo interno de cerca de 10% da energia produzida, sendo o restante exportado para a Rede Eléctrica Nacional.

No Anexo B são apresentadas as unidades de valorização orgânica e energética existentes em Portugal, bem como as respectivas capacidades de tratamento.

De uma forma geral, pode dizer-se que para a gestão dos RSU em Portugal são utilizados 37 aterros, 5 unidades de valorização orgânica, 2 unidades de incineração e 77 unidades de transferência. Em termos de recolha selectiva pode referir-se que, em 2002, estavam instalados cerca de 133 ecocentros, 13492 ecopontos e 29 unidades de triagem, cobrindo uma área ocupada por 80% da população. A recolha selectiva passou de 28000 toneladas de RSU em 1996 para 190600 toneladas em 2001.

7.3 Sistemas de Gestão de Resíduos

Actualmente, a percentagem de população servida pelos 30 sistemas de gestão existentes é de 100% [33].

É da responsabilidade de cada entidade gestora de resíduos de uma dada região a realização de um plano de avaliação e controlo das estratégias desenvolvidas.

Dado que uma grande parte dos resíduos recicláveis são embalagens, em Portugal, a entidade gestora do Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Embalagens (SIGRE) é a Sociedade Ponto Verde.

Esta entidade é uma sociedade anónima, sem fins lucrativos que possui como objectivos principais os seguintes [8]:

- gestão e destino final de embalagens não-reutilizáveis;
- valorização e reciclagem dos resíduos recolhidos selectivamente, triados e retomados segundo os diferentes tipos de materiais de embalagem;
- apoio técnico-financeiro às entidades gestoras responsáveis pela recolha de resíduos e aderentes ao Sistema Ponto Verde;
- sensibilização ambiental para a separação e deposição selectiva das embalagens usadas junto dos produtores de resíduos de embalagens;
- apoio financeiro a projectos de investigação e desenvolvimento que promovam a recolha selectiva, a reciclagem e valorização de embalagens não-recicláveis, entre outros.

Os embaladores/importadores de embalagens não-reutilizáveis que são responsáveis pela introdução de embalagens no mercado são obrigados a pagar uma determinada contrapartida financeira que é calculada com base no peso e tipo de material que constitui as embalagens introduzidas.

Por outro lado, os sistemas de recolha municipal que estabeleceram contratos com a SPV recebem uma contrapartida financeira consoante o peso e a tipologia de material recolhido selectivamente. A SPV garante a retoma e a reciclagem da totalidade dos materiais que respeitem as especificações técnicas específicas acordadas no vínculo contratual.

A Figura 7.8 apresenta o mapa de evolução da cobertura territorial da SPV até Setembro de 2003.

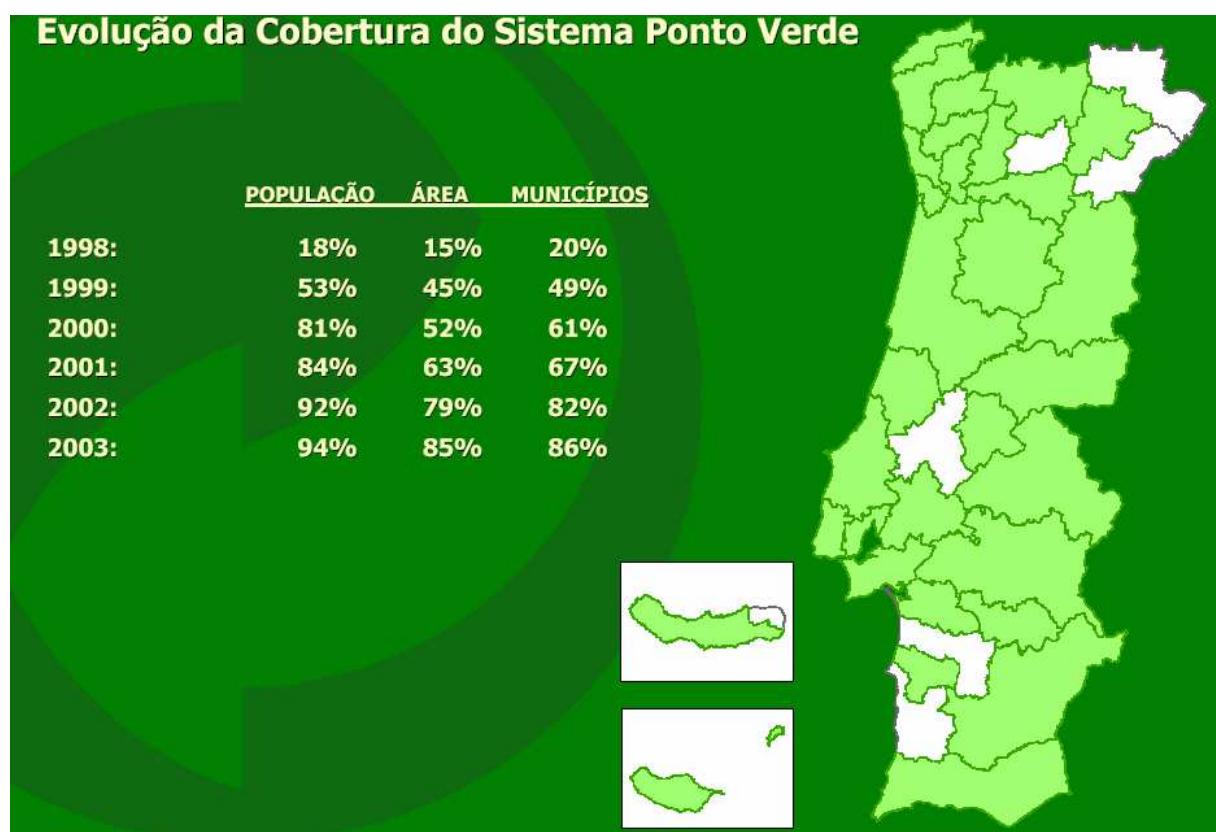


Figura 7.8 Evolução da cobertura territorial da SPV [34]

Face ao apresentado e à celebração de contratos entre a SPV e as entidades gestoras, pode referir-se que houve um aumento da quantidade de resíduos de embalagem retomados, prevendo-se o seu constante crescimento num futuro próximo. A Figura 7.9 apresenta a evolução da retoma e encaminhamento de embalagens pela SPV, desde 1998 a Setembro de 2003.

A nível financeiro foram mobilizados cerca de 993 milhões de euros para a construção do cenário actual de gestão de RSU. A nível do II Quadro Comunitário de Apoio (QCA) foram investidos 773 milhões de euros, dos quais 58% para sistemas multimunicipais e os restantes para sistemas municipais.

O financiamento dos sistemas integrados foi efectuado através do Fundo de Coesão (FC), do Programa Operacional Regional (POR) e do Programa Operacional do Ambiente (POA).

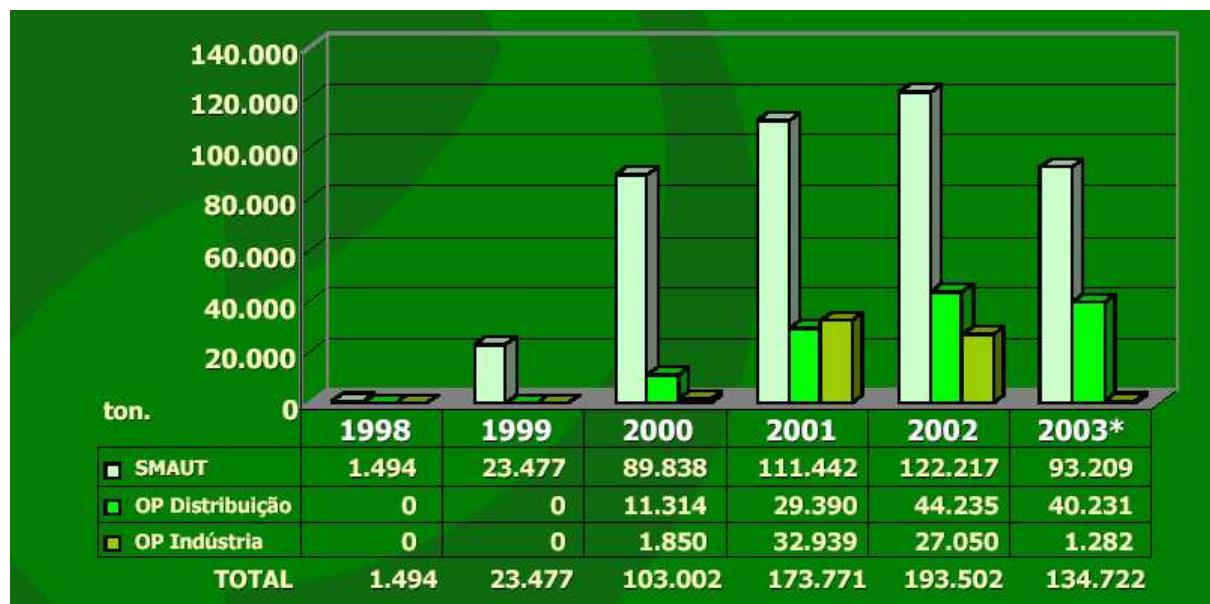


Figura 7.9 Resíduos de embalagens retomados e encaminhados pela SPV [34]

Um sistema integrado consiste num conjunto de operações de acondicionamento e transporte dos resíduos e soluções de valorização e eliminação adoptadas que, dentro de um modelo institucional ou particular de gestão, responde aos objectivos gerais e sectoriais dos interesses de uma região e das prioridades da política nacional e comunitária [7].

Um sistema integrado de RSU comprehende as seguintes fases:

- deposição;
- recolha;
- transporte/transferência;
- tratamento;
- valorização;
- destino final;
- modelo institucional e de gestão;
- sistema financeiro de suporte.

A política de gestão integrada de RSU tem como objectivos gerais os seguintes pressupostos:

- garantir a qualidade ambiental e de saúde pública;
- acompanhar e responder ao desenvolvimento económico da população;
- valorizar os recursos associados aos resíduos sólidos;
- atingir um maior nível de eficiência no serviço prestado;
- apresentar soluções que permitam concretizar as metas pré-estabelecidas.

Só a partir do funcionamento dos sistemas de gestão de resíduos sólidos é que se pode fazer uma avaliação correcta dos quantitativos de resíduos produzidos pela população portuguesa, em cada um dos 30 sistemas.

7.3.1 Entidades Gestoras

Para a concretização do PERSU foi necessário dividir as cinco regiões do País em sistemas autónomos de gestão tecno-economicamente adequada. O PERSU preconizava a constituição de 40 sistemas, mas foi possível reforçar a sustentabilidade de alguns sistemas através da adesão e integração dos inicialmente previstos. No início de 2002 foram identificados 30 sistemas de gestão RSU, os quais se encontram apresentados na Figura 7.10 e divididos em:

- 14 sistemas multimunicipais, com gestão e exploração concessionada;
- 16 sistemas municipais, de gestão intermunicipal, podendo ser efectuada pelos respectivos municípios ou concessionada a qualquer entidade pública ou privada.

No Anexo C são apresentados os municípios abrangidos por estas entidades.

- 1 - SMM Vale do Minho (VALORMINHO)
- 2 - SMM Vale do Lima e Baixo Cávado (RESULIMA)
- 3 - SMM BRAVAL
- 4 - AM Vale do Ave (Amave)
- 5 - Lapor
- 6 - AM Vale do Sousa
- 7 - SMM Gaia e Feira (SULDOURO)
- 8 - AM Alto Tâmega (RESAT)
- 9 - AM V. Douro Norte
- 10 - AM Terra Quente/Terra Fria/ D.Superior
- 11 - AM Baixo Tâmega (REBAT)
- 12 - AM Douro Sul (RESIDOURO)
- 13 - SMM Alta Estremadura (VALORUS)
- 14 - SMM Litoral Centro (ERSUC)
- 15 - AM Planalto Beirão
- 16 - AM Cova da Beira
- 17 - AM Raia/ Peneda
- 18 - SMM RESIOESTE
- 19 - Resiurb
- 20 - Amanejo
- 21 - Resitejo
- 22 - Amires
- 23 - SMM VALORSUL
- 24 - AMARSUL
- 25 - AM Distrito de Évora (Amde)
- 26 - Amagaia
- 27 - Amcal
- 28 - AM Norte Alentejano - VALNOR
- 29 - Amalga
- 30 - SMM ALGAR

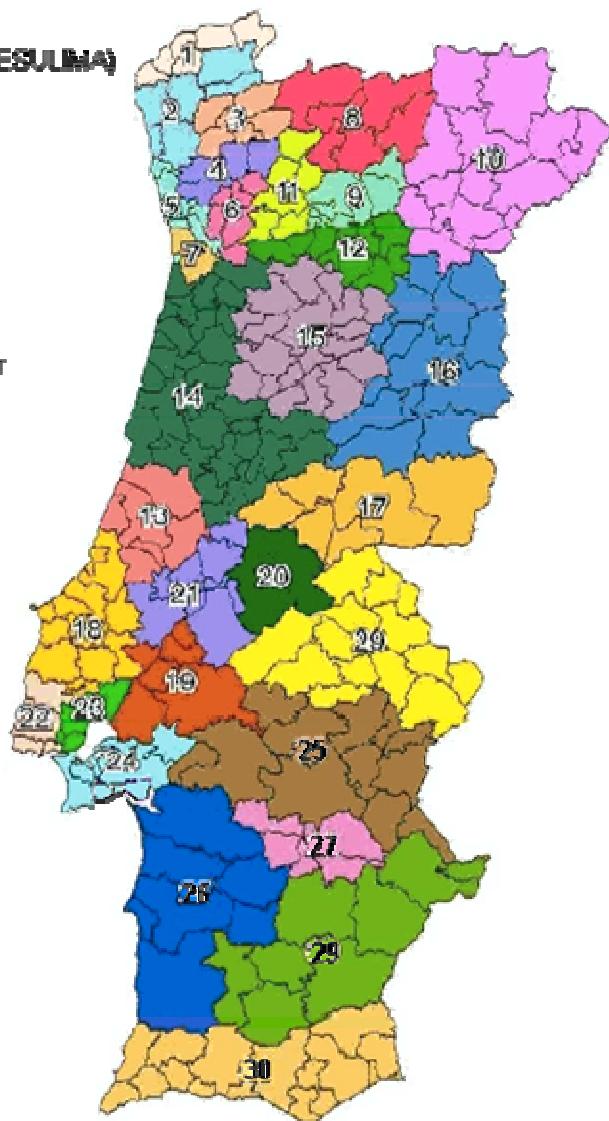


Figura 7.10 Sistemas de gestão de resíduos em 2002 [adaptado de 35]

7.3.2 Câmaras Municipais

Face à necessidade de verificar o que na realidade se passa em Portugal, e uma vez que a problemática de gestão dos RSU é da responsabilidade directa dos consumidores, houve interesse em realizar um inquérito às várias câmaras municipais existentes no País, de modo a retratar com maior fiabilidade a visão estratégica de gestão de resíduos incutida a cada município e ao conjunto de autarquias existente.

7.3.2.1 Âmbito de Aplicação

O inquérito baseou-se na elaboração de um conjunto de questões baseadas nos sistemas de gestão de RSU, aos quais esteve associado o conhecimento da faixa etária da população portuguesa. Este estudo reporta-se ao ano 2001, tendo sido realizado no sentido de abranger todos os municípios portugueses.

7.3.2.2 Metodologia Adoptada

Para a realização do inquérito, foram utilizados os dados disponíveis na Associação Nacional de Municípios Portugueses [36], a partir da qual foram retiradas as informações relativas aos meios de contacto, área ocupada, número de freguesias e número de habitantes de 307 municípios existentes em Portugal Continental e nas Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira.

Foi elaborado um questionário inicial para efectuar um estudo-piloto na Câmara Municipal da Maia, o que permitiu realizar algumas modificações que foram implementadas para as restantes câmaras.

Das 307 câmaras abrangidas pelo inquérito, 8 estavam em situação incontactável, sendo enviados os questionários às restantes 299. As respostas vieram de 112 municípios que são designados posteriormente como municípios inquiridos. No Anexo D são apresentadas as câmaras municipais que responderam aos inquéritos solicitados.

As respostas obtidas foram inseridas numa base de dados construída para o efeito e posteriormente analisadas de acordo com os objectivos requeridos.

7.3.2.3 Questionário Utilizado

O questionário utilizado para inquirir as câmaras municipais baseou-se no modelo a seguir apresentado.

Sistema de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos das Câmaras Municipais – dados de 2001

1. Número de habitantes do município abrangido pela recolha de RSU:
 _____ habitantes

2. Qual a distribuição da faixa etária da população do município?

< 9 anos: _____ %

10-19 anos: _____ %

20- 29 anos: _____ %

30-39 anos: _____ %

40-49 anos: _____ %

50-59 anos: _____ %

60-69 anos: _____ %

> 70 anos: _____ %

3. Quantidade de resíduos recolhida por ano: _____ t/ano

4. Dos resíduos recolhidos, qual a quantidade que é diferenciada?

_____ t/ano

Dessa quantidade, identifique:

(por favor, indique a unidade a que se refere: t, l, %, etc)

- quantidade de resíduos de papel e cartão: _____

- quantidade de resíduos de Embalagens: _____

- quantidade de resíduos de Vidro: _____

- quantidade de resíduos verdes: _____

- quantidade de resíduos de entulhos: _____

- quantidade de resíduos de madeiras: _____

- quantidade de resíduos de monstros metálicos: _____

- quantidade de resíduos de monstros não metálicos: _____

- quantidade de resíduos de Pilhas: _____

- quantidade de resíduos de Óleos Usados: _____

- quantidade de resíduos de Lâmpadas: _____

- quantidade de resíduos de Plásticos: _____

- quantidade de resíduos de Orgânicos: _____

5. Área abrangida pelo sistema de recolha (área do município):

_____ m²

6. Número de Ecopontos no município:

- de papel/embalagens/vidro: _____

- de vidro (verdes): _____

- de contentores selectivos subterrâneos (embutidos no solo): _____

7. Número de Contentores de resíduos indiferenciados

- Contentores subterrâneos (tipo molok): _____

- Contentores verdes (de recolha geral – 750 l): _____

- Contentores verdes (de recolha individual): _____

8. Número de Ecocentros: _____

9. Qual o volume dos contentores de recolha no transporte de resíduos?
_____ m³

10. Qual a periodicidade de recolha dos resíduos sólidos no município?
Percursos Urbanos: _____ dias/semana;
Percursos Rurais: _____ dias/semana.

11. Número de veículos de transporte disponibilizados para a recolha de resíduos, por dia?
_____ E porta-a-porta? _____

12. Número de deslocações (viagens/dia) necessárias para cada transporte realizar a recolha: _____

13. Distância percorrida por esses transportes na recolha: _____ km/mês

14. Número de pessoas envolvidas no sistema de recolha (motoristas e cantoneiros):
_____ pessoas

15. Valor total de despesas relacionadas com os salários do pessoal envolvido:
_____ €/mês

16. O município recebe algum tipo de comparticipação para as embalagens ou resíduos de embalagens por parte de alguma entidade (entidade produtora ou sociedade ponto verde)?

Qual o seu valor? _____ €/t/ano

A que percentagem de resíduos é aplicável? _____ %

17. Para onde enviam os resíduos produzidos?
(indique com uma cruz)

- unidade de triagem _____
- valorização _____
- eliminação _____
- armazenagem durante algum tempo _____

18. Qual o custo que acarreta por tonelada de resíduos a valorizar/eliminar?

_____ €/ t de resíduo indiferenciado
_____ €/ t de resíduo diferenciado

19. Se o município tem algum contrato de concessão para a gestão de resíduos com alguma entidade, indique, os gastos comportáveis pela câmara municipal para esse efeito:
_____ €/ano. Qual a entidade gestora? _____

20. Gastos necessários para a formação da população:
_____ €

21. Existe alguma central de valorização/eliminação (aterro, compostagem, reciclagem) no município (ou arredores)? _____

Onde? _____, _____, _____ (Freguesia,
Concelho, Distrito)

A que distância fica do local de armazenagem de resíduos (se existir) ou da câmara?
_____ km

7.3.2.4 Análise dos Resultados Obtidos

Das respostas aos inquéritos, verifica-se que há algumas diferenças existentes entre os vários municípios.

Nos inquéritos recebidos observou-se várias situações de ausência de resposta, devido à inexistência de dados, ao deixar o preenchimento do campo em branco e a casos de não aplicabilidade ao município.

Na maior parte dos casos verificou-se a ausência de preenchimento do campo relativo à distribuição da faixa etária da população em cada município, pelo que foi necessário consultar os dados obtidos pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) [37] para obter os valores requeridos.

Verificou-se também, para alguns casos, que as respostas eram inconsistentes, o que impossibilitou o seu uso para efectuar uma análise rigorosa sobre a produção dos RSU nos municípios portugueses.

Com base nas respostas fornecidas pelas várias entidades autárquicas não foi possível cruzar os dados de produção de resíduos, e consequente recolha selectiva, com a distribuição da faixa etária da população.

Das respostas obtidas apenas é possível retratar, de uma forma aproximada, a situação em que se encontram a nível de deposição, recolha e gastos com a formação, neste último caso o estudo não é muito conclusivo, devido à elevada percentagem de ausência de resposta.

Os municípios inquiridos têm um total de 4910645 habitantes e apresentam uma produção de aproximadamente 2449435 t/ano para uma área de recolha de $3,3 \times 10^6 \text{ km}^2$.

A Figura 7.11 apresenta, de uma forma geral, o tipo de recolha praticado em Portugal, tendo por base as respostas obtidas nos questionários recebidos (houve 6 municípios do total de 112 que não responderam à questão relativa à recolha de diferenciados e 2 autarquias que não responderam à questão sobre a quantidade de resíduos produzidos). Esta figura permite salientar uma baixa percentagem de recolha selectiva dos resíduos produzidos, o que indica que há ainda muito a realizar em matéria de sensibilização da população.

Neste gráfico pode concluir-se que apenas 9% dos resíduos são recolhidos selectivamente, um valor muito baixo para os municípios portugueses.

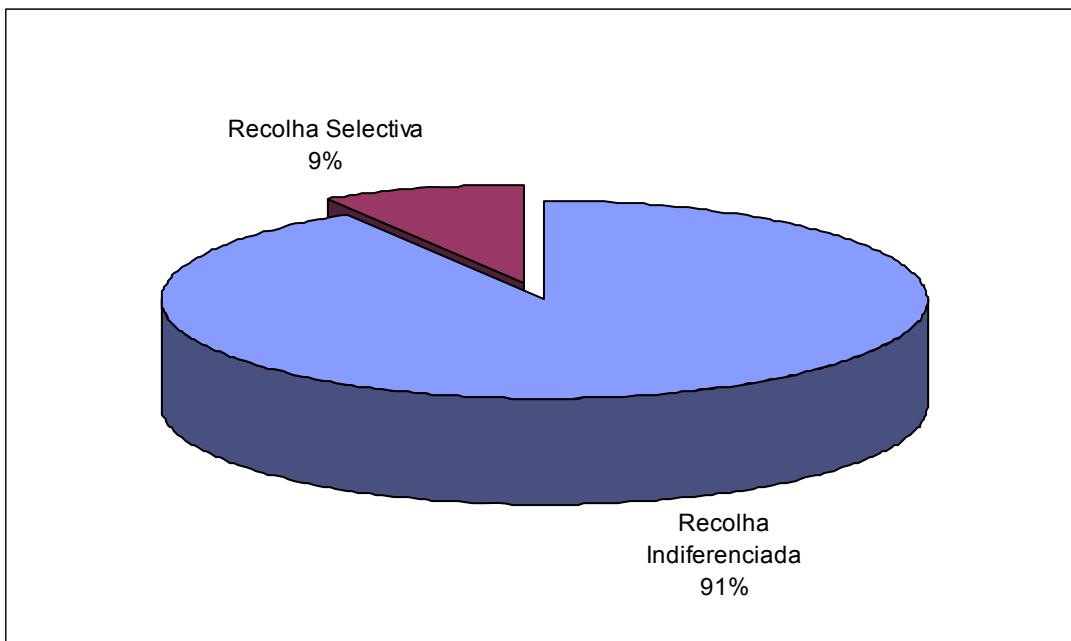


Figura 7.11 Tipo de recolha nos 112 municípios inquiridos

O número de ecopontos que servem os 112 municípios inquiridos, é apresentado na Figura 7.12.

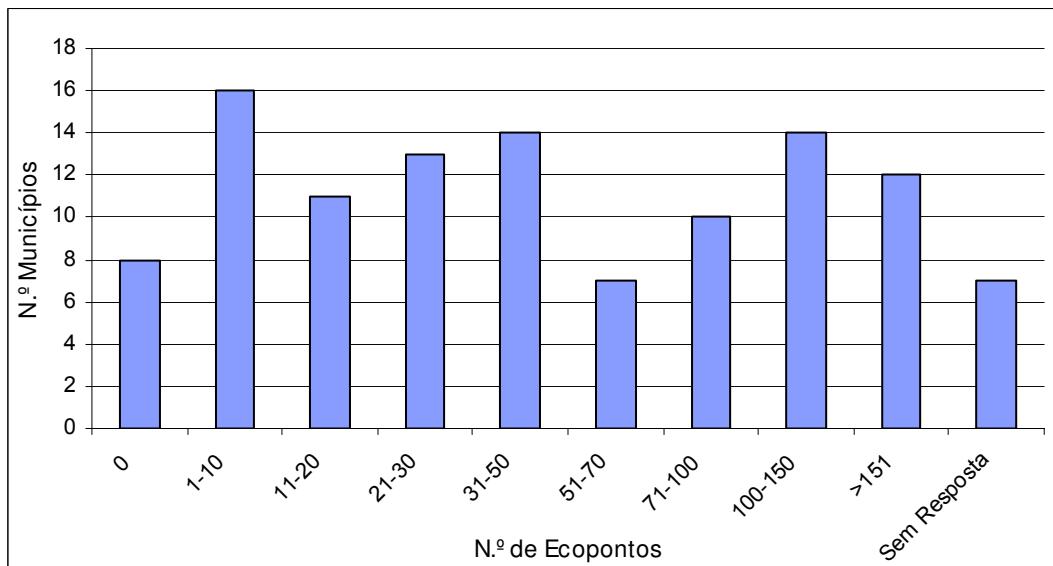


Figura 7.12 Número de ecopontos nos municípios inquiridos

A Figura 7.13 apresenta a distribuição do número de habitantes por ecoponto nos municípios. Verifica-se que existem 7% de municípios que não têm ecopontos e a existência de 23% de municípios com um baixo número de habitantes por ecoponto devido, em muitos casos, à baixa população local ou ao sucesso da recolha selectiva em alguns municípios.

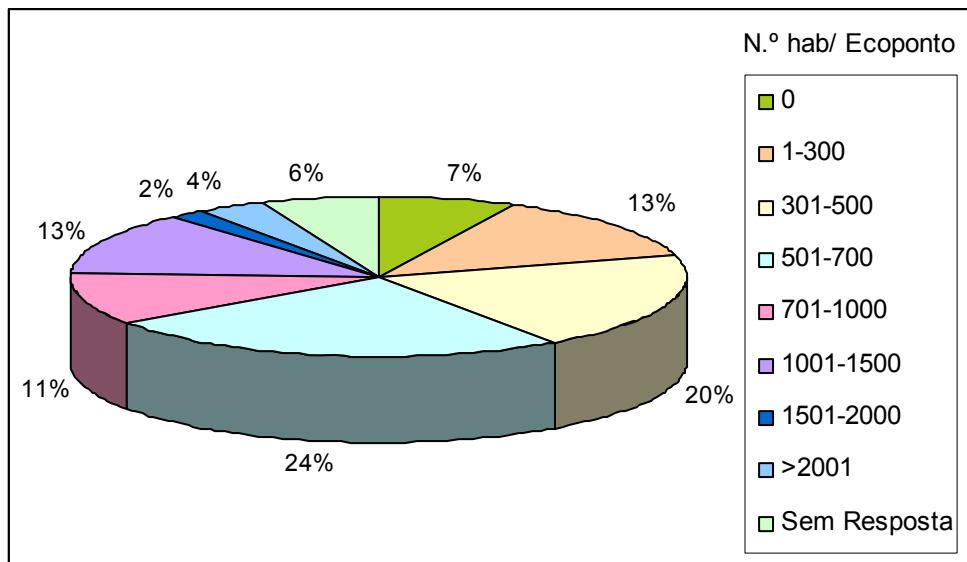


Figura 7.13 Distribuição do n.º de habitantes por ecoponto nos 112 municípios

Para além dos ecopontos foi questionada a existência do número de ecocentros em cada município, aspecto a que se refere a Figura 7.14. Nesta Figura pode observar-se um desvio ao número médio de ecocentros, verificando a existência de um município de aproximadamente 20000 habitantes com sete ecocentros, o que se poderá dever às flutuações da população existente em determinadas estações do ano, dado que se trata de uma zona balnear.

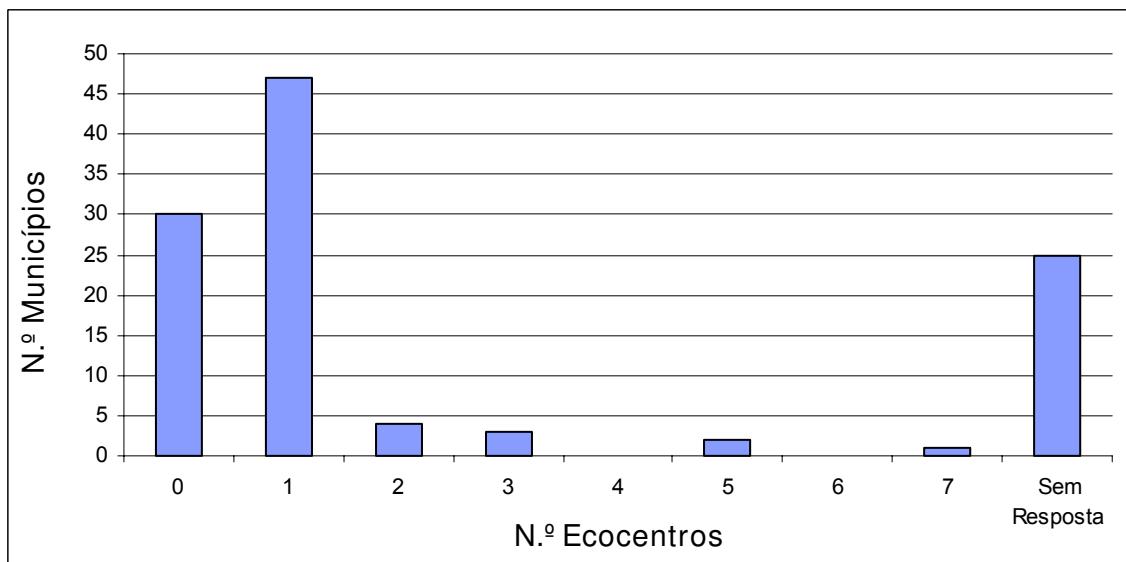


Figura 7.14 Número de ecocentros existentes nos 112 municípios

Relativamente à distância percorrida pelos veículos de recolha pode apresentar-se a Figura 7.15, tendo em conta os km percorridos em cada município. Alguns destes valores são inconclusivos devido à elevada distância percorrida apresentada em casos pontuais.

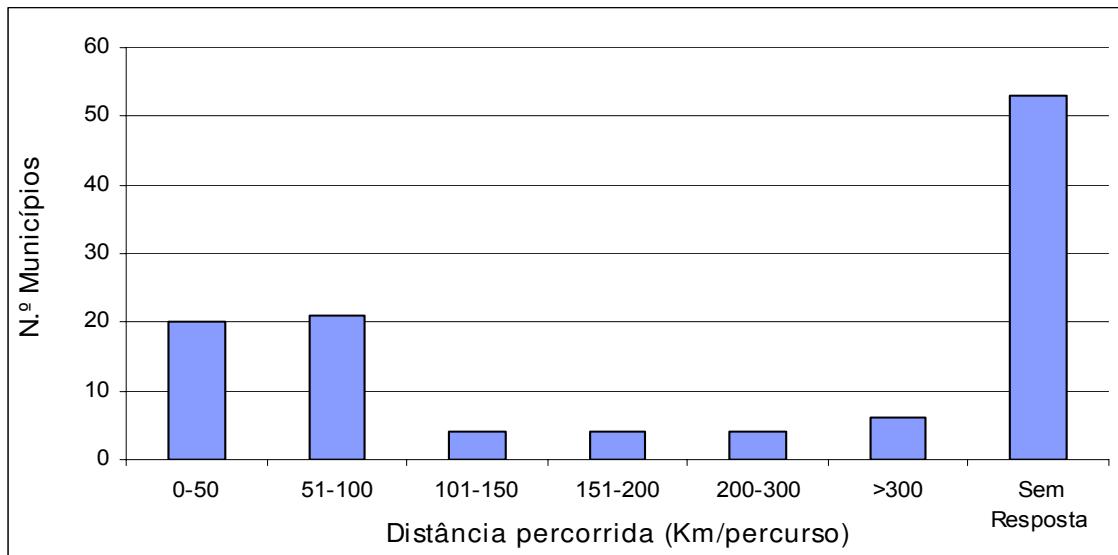


Figura 7.15 Distância percorrida por percurso efectuado em cada município

A frequência de recolha nos municípios inquiridos, segundo o percurso rural e urbano, é apresentada na Figura 7.16. A elevada percentagem de ausência de respostas para os percursos rurais é devida não só à omissão de valores como também à inexistência de percursos rurais em alguns dos municípios inquiridos.

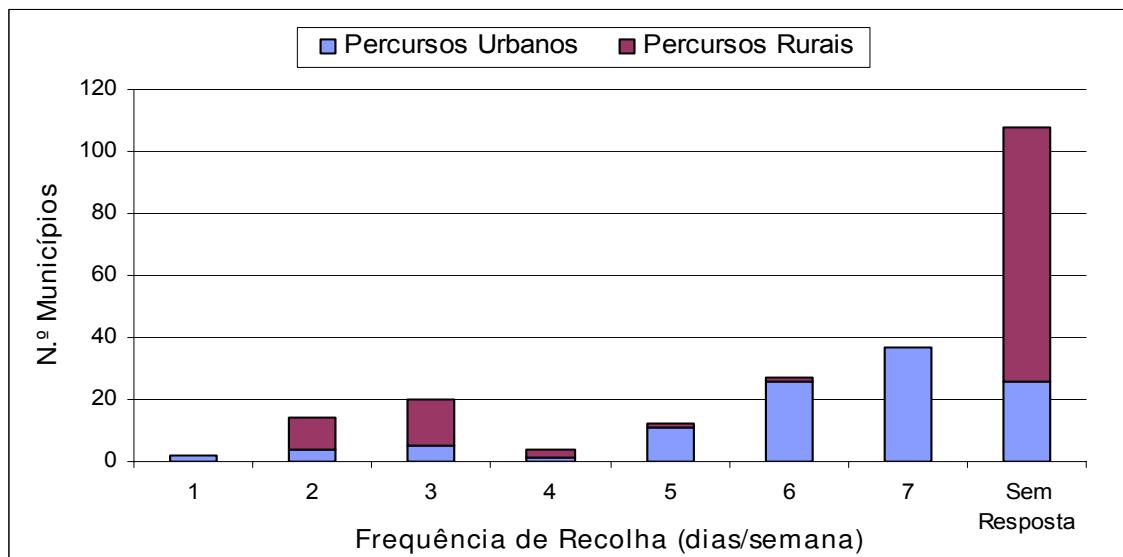


Figura 7.16 Frequência de recolha nos 112 municípios

A Figura 7.17 apresenta, na forma intervalar, as deslocações diárias dos veículos de recolha utilizados nos municípios.

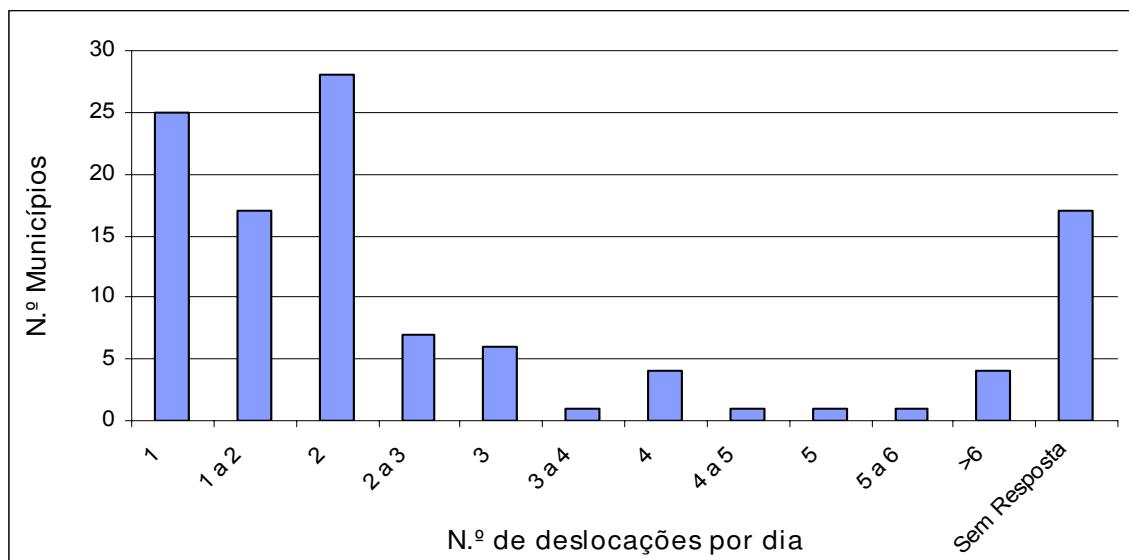


Figura 7.17 Número de deslocações diárias dos veículos de recolha

Na Figura 7.18 é possível identificar os investimentos em acções de sensibilização para os municípios que responderam aos inquéritos.

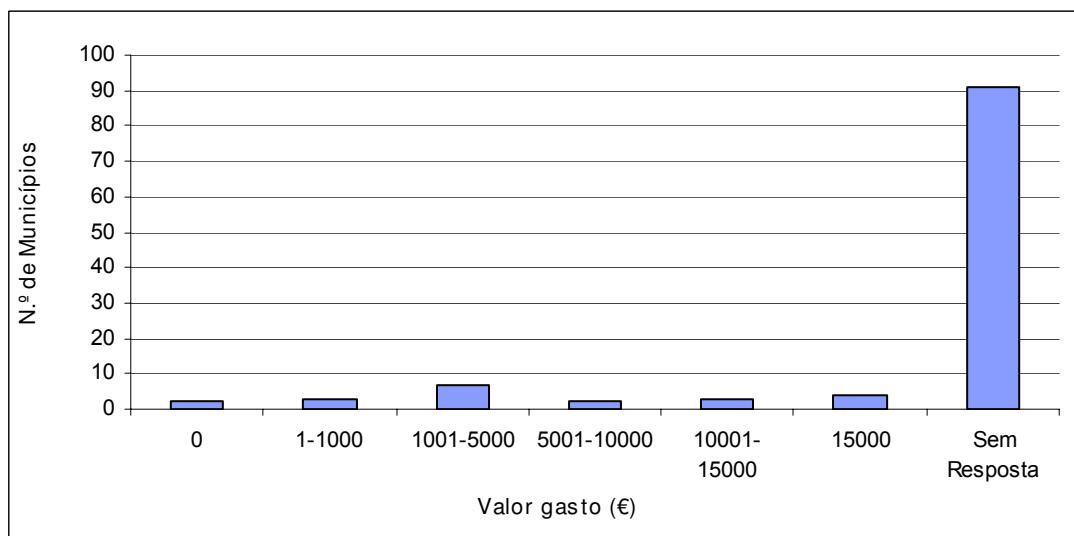


Figura 7.18 Custos de sensibilização nos municípios inquiridos

A Figura 7.19 apresenta os intervalos médios de distância às unidades de tratamento e eliminação dos RSU existentes na vizinhança dos municípios inquiridos. Os resultados

obtidos permitem apontar um valor médio para a distância às unidades de processamento de aproximadamente 28 km.

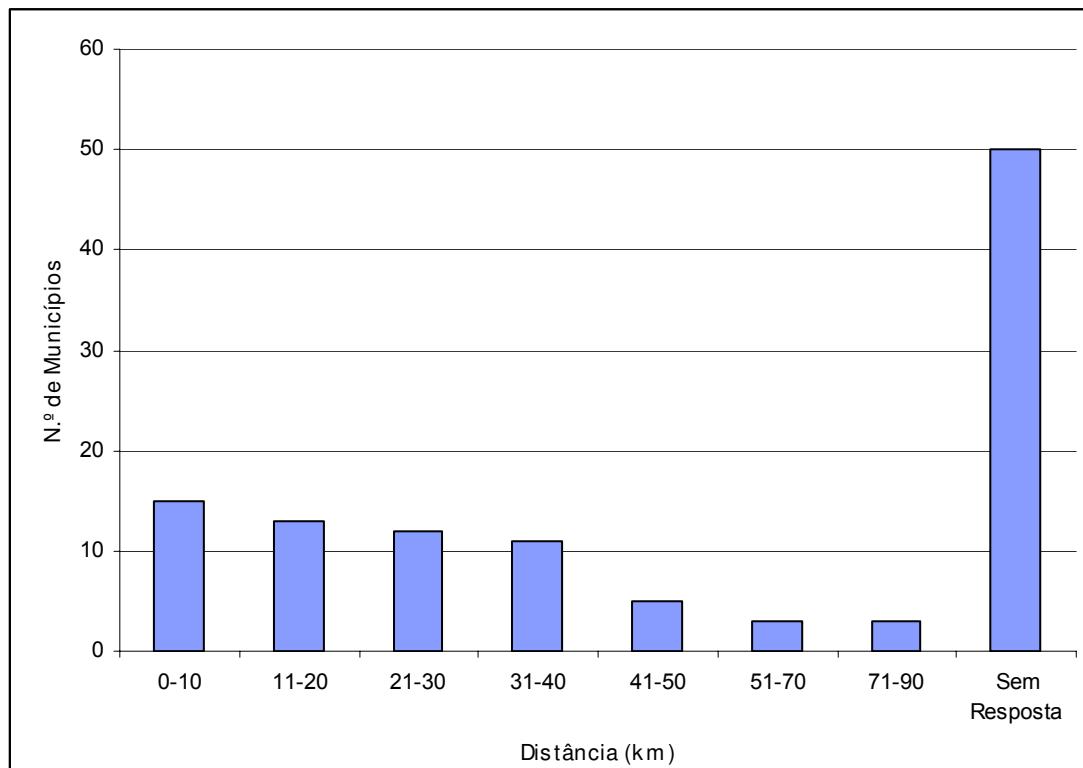


Figura 7.19 Distâncias entre as câmaras e as unidades de processamento dos RSU

7.3.2.5 Conclusões dos Inquéritos

De uma forma geral, pode concluir-se que na maior parte dos casos não foi possível cumprir os objectivos pretendidos aquando da realização destes inquéritos, uma vez que estes se podem considerar inconclusivos face às omissões no preenchimento e à existência de grandes variações de resposta de município para município.

No entanto, pelos dados obtidos, é possível identificar ainda situações de deficiente recolha selectiva, bem como de algumas falhas na optimização dos circuitos, resultado de possíveis ineficiências no sistema de recolha.

Por outro lado, podem apontar-se variações significativas de valores para a mesma questão por exemplo através da resposta ao custo de valorização/eliminação de resíduos indiferenciados que varia entre €2,1 - 541/t e €1,7 - 265/t de resíduos diferenciados.

8 Estratégias de Gestão Integrada de Resíduos

As estratégias de gestão de resíduos assentam na adopção de um conjunto de regras de gestão previstas para as diferentes fases de utilização dos materiais, ou seja, as etapas de produção, minimização, reutilização, recolha, transporte, armazenamento, tratamento, valorização e eliminação dos resíduos.

A EPA desenvolveu uma estratégia nacional que segue a seguinte ordem hierárquica descendente:

- Redução da quantidade de resíduos gerados;
- Reutilização de materiais;
- Reciclagem e recuperação de materiais;
- Deposição em aterro.

O objectivo de proceder à implementação das primeiras estratégias é aumentar o tempo de vida de um aterro ou reduzir o custo de deposição.

Um estudo revelou que a frequência de recolha afecta a produção de RSU, ou seja, quanto mais frequente for a recolha, maior a quantidade de resíduo que é produzida [1].

Verificou-se também que quanto menor for o número de pessoas numa habitação, maior a quantidade de resíduo produzida, ou seja, habitações unifamiliares produzem mais RSU *per capita* que as habitações plurifamiliares, conforme representado na Figura 8.1 [1].

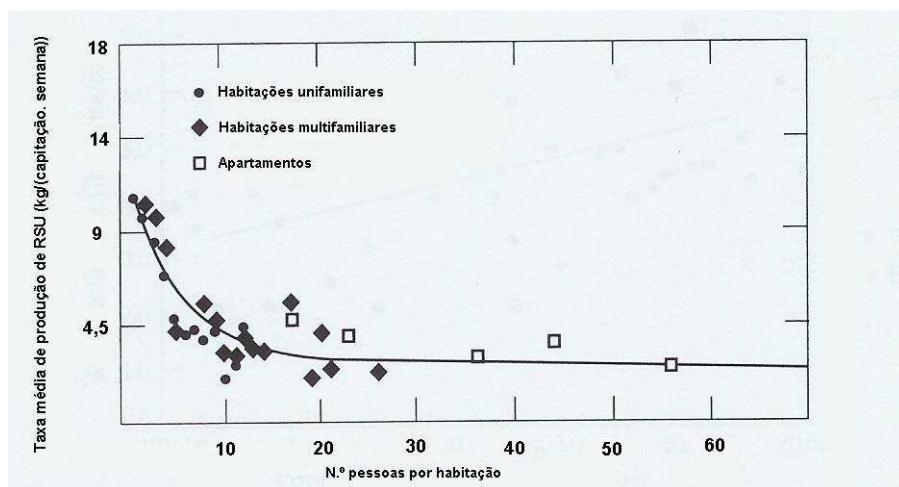


Figura 8.1 Produção de RSU por tipologia de habitação [1]

Para além deste facto, é importante notar que a população de uma determinada região deve determinar quais as estratégias a adoptar, de modo a enquadrar-se nas necessidades locais. Devem ser avaliadas todas as opções e as condições especiais a integrar numa decisão. A economia, o historial, a política e as aspirações sociais são importantes na tomada de decisões.

A escolha do destino dos resíduos deve ter em conta as seguintes características:

- Composição dos resíduos;
- Humidade;
- Tamanho das partículas;
- Composição química;
- Capacidade calorífica;
- Densidade;
- Propriedades mecânicas;
- Biodegradabilidade.

A lista de condições que permitem determinar a sustentabilidade de estratégias de gestão de resíduos são as seguintes:

, Nível de desenvolvimento

- desenvolvimento económico, incluindo custos de capitais, operacionais e outros recursos;
- desenvolvimento tecnológico;
- desenvolvimento de recursos humanos no campo de gestão de RSU e da sociedade.

, Condições naturais

- condições físicas, como topografia, características do solo e tipologia, e proximidade de massas de água;

- condições climatéricas, como temperatura, precipitação, propensão para inversões térmicas, ocorrência de ventos;
- sensibilidades ambientais da região;
- características dos resíduos, como a densidade, humidade, combustibilidade, capacidade para reciclagem;
- características locais, como o tamanho geográfico, a densidade populacional e o desenvolvimento de infra-estruturas.

, Considerações sociológicas e políticas

- grau de aceitação das decisões políticas e natureza das atitudes de rejeição;
- grau de importância assinalado pelo envolvimento da comunidade nas actividades de gestão de RSU;
- práticas sociais e culturais.

A constituição de um programa de recolha selectiva deve compreender a separação dos resíduos segundo categorias principais: separação de materiais recicláveis (papel/cartão, embalagens e vidros), resíduos biodegradáveis (resíduos alimentares e verdes) e resíduos indiferenciados. Desta forma, o período de recolha pode ser racionalizado, ou seja, a recolha de biodegradáveis pode ser feita uma a duas vezes por semana, o material reciclável pode ser recolhido mensalmente e os indiferenciados bisemanalmente.

Se forem fornecidos à população o material de que precisam para a recolha selectiva de resíduos, haverá uma participação de maior alcance. Para que esta meta seja cumprida devem ser garantidos os seguintes esforços:

- distribuição de contentores;
- sensibilização e formação da população através de folhetos, brochuras;
- monitorização do sistema de recolha;
- renovar as acções de sensibilização através do recurso a folhetos e visitas de pessoal formado, de modo a garantir uma forte interacção entre a população e o sistema de recolha.

O sector industrial e comercial pode ser incentivado através da sensibilização dos industriais, realização de auditorias gratuitas que permitam aumentar o grau de participação na minimização da produção de resíduos e penalizá-los caso não correspondam às expectativas geradas.

Como bases estratégicas pode salientar-se:

- redução da deposição em aterro;
- sistemas mais eficientes de taxação que permitam incentivar a redução;
- elaborar um plano estratégico a nível regional para facilitar a introdução de economias de escala;
- grande utilização de instrumentos legislativos, responsabilizando o produtor.

As estratégias de gestão devem compreender:

- envolvimento de todos os sectores da comunidade;
- integração dos elementos do programa de gestão de resíduos: prevenção, minimização, reutilização, reciclagem e valorização;
- construir e implementar programas de suporte a acções de sensibilização, como o incentivo ao recrutamento de voluntários para formação e motivação;
- criar programas acessíveis;
- implementar a separação na fonte;
- desviar a deposição de materiais em aterro;
- incentivar a implementação de programas de reutilização e locais de troca de materiais, como a bolsa de resíduos;
- desenvolver mercados de materiais secundários;
- incentivar a investigação no desenvolvimento de novas metodologias de fabrico de materiais e valorização dos resíduos.

A estratégia de produção de “zero resíduos” implica:

- realizar campanhas de educação/sensibilização ambiental;
- interacção activa entre a população e os programas de gestão implementados;
- anunciar periodicamente os resultados alcançados pelo esforço da população;
- educar a população no sentido de utilizar correctamente os recursos colocados à disposição;
- estabelecimento de mecanismos eficientes de monitorização;
- criar parcerias com indústrias, incentivando o recurso às melhores técnicas disponíveis;
- estabelecer metas de alcance aceitável;
- liderar pelo exemplo;
- organizar actividades recreativas de sensibilização;
- descobrir e incentivar os mercados de materiais secundários;
- todas as estratégias devem ser continuamente estudadas, uma vez que uma solução não resolve todos os problemas.

Os incentivos económicos são uma ferramenta muito útil para as autoridades locais no aumento das taxas de redução de resíduos. Estes incentivos podem assumir várias formas como o pagamento de taxas de deposição e de serviços de recolha. Os baixos custos dos aterros são inimigos da reciclagem, pelo que as autoridades locais devem demonstrar os verdadeiros custos de deposição.

A população pode ser taxada da seguinte forma:

- volume de resíduo, utilizando sacos, etiquetas ou tamanhos padrão para contentores de resíduos;
- peso do resíduo.

A experiência internacional demonstra que o pagamento por taxas variáveis (*Pay-as-You-Throw (PAYT)*) é o método mais eficiente para encorajar a redução de resíduos. Este sistema de pagamento permite também encorajar os consumidores a reconsiderar a

necessidade de utilização das embalagens desnecessárias, levando à escolha de produtos que possuam menos embalagens [4].

A nível de consumo e produção devem ser adoptadas as seguintes medidas:

- evitar o consumo de produtos com muitas embalagens e supérfluos;
- adquirir produtos reutilizáveis e/ou reciclados e de maior durabilidade;
- adquirir produtos com a marca de Rótulo Ecológico;
- adoptar uma série de boas práticas na utilização e manutenção de produtos e equipamentos;
- reparar os produtos e equipamentos e reutilizá-los;
- utilizar embalagens com depósito;
- doar ou vender bens ou outros materiais que possam ser úteis a outros;
- recorrer a sistemas de compostagem caseira dos resíduos de cozinha e jardins.

A adopção da atribuição do Rótulo Ecológico Comunitário, baseada no cumprimento de critérios ecológicos específicos aplicáveis a cada grupo de resíduos, impõe aos produtos a minimização dos impactes ambientais, sociais e económicos, resultantes do consumo de matérias-primas, energia, emissão de poluentes e produção de resíduos. Por outro lado, o Sistema Comunitário de Ecogestão e Auditoria, que entrou em vigor em Abril de 1995, permitiu funcionar como um incentivo à eficiência económica e ecológica da indústria, prevendo a realização de auditorias do ambiente e a elaboração de uma Declaração Ambiental de Compromisso, validada por um verificador ambiental acreditado.

A aplicação de incentivos económicos na adopção de metodologias e técnicas capazes de produzir materiais mais ecológicos e menos dispendiosas, permite que as empresas sejam estimuladas pelo desenvolvimento deste tipo de tecnologias e realizar uma mudança radical no seu comportamento face ao ambiente circundante.

Devido às suas diferentes características (tipologia, natureza, diversidade, perigosidade, entre outros) a gestão de resíduos urbanos deverá ter em conta as variadas vertentes envolvidas num programa de gestão abrangente, que são as seguintes:

- , Vertente Ambiental;
- , Vertente Técnica;

- , Vertente Económico-Financeira;
- , Vertente Social.

É interessante dividir geograficamente o município em diferentes circuitos de recolha e caracterizar os resíduos produzidos. Através desta caracterização pode-se avaliar a evolução comportamental da população e estudar os procedimentos estratégicos a aplicar no âmbito da sensibilização da população abrangida por esses circuitos.

Antes de tomar qualquer tipo de acção, deve ser realizado um estudo intensivo acerca da viabilidade de aplicação de um sistema de gestão de resíduos. Este estudo deverá incorporar a área geográfica a cobrir, pois quanto maior a área, maior é a diversidade de fontes de resíduos ou seja, deverá ser determinado o tipo de utilização do local alvo, estudando a zona industrial, residencial (baixa ou elevada), comercial ou de agricultura. Devem constar como elementos deste tipo de estudo as quantidades e tipos de resíduos, a identificação do equipamento a utilizar (como os contentores e equipamento de recolha e processamento de resíduos) e as condições em que se irá realizar a gestão de resíduos.

A determinação da quantidade de RSU produzida pode ser efectuada através da aplicação de vários métodos, como a análise de contagem de cargas/contentores e características dos resíduos, a análise peso/volume e a análise ao balanço de massa dos RSU.

Devem ser identificados os potenciais utilizadores do sistema, a viabilidade técnica e económica e os aspectos sociais e políticos.

A nível de planeamento de uma estratégia de gestão de RSU deve-se ter em consideração os conceitos e a tecnologia aplicada, os programas a desenvolver e o tipo de zona abrangente (local, regional ou nacional).

A nível de alterações futuras relativamente à produção de alguns fluxos de resíduos pode antever-se uma diminuição na produção de resíduos de papel e/ou cartão e de plásticos. Por outro lado, não pode ser dito muito acerca da produção de matéria orgânica.

9 Aspectos Económico-Financeiros

Seguidamente abordam-se os rendimentos e custos de gestão dos RSU, os quais são necessários para efectuar uma análise de viabilidade económica das estratégias apresentadas. Por outro lado, pretende-se comparar a informação dos vários modelos financeiros usados pelas autoridades locais e nacionais, focando as melhores tecnologias disponíveis.

Um estudo que abrangeu 15 Estados-Membros referente aos custos associados à recolha selectiva, tratamento e eliminação dos resíduos, permitiu verificar que estes valores variam consoante a classificação e definição dos RSU em cada Estado Membro [38].

As principais questões que se prendem com a aplicabilidade dos aspectos financeiros num programa de gestão de RSU são:

- Que entidades/instituições (autoridades locais ou nacionais) são responsáveis pela gestão dos resíduos;
- Quem irá pagar pelo serviço;
- Até que ponto irão as autoridades locais suportar os custos dos serviços de gestão dos seus municípios e qual será a taxa aplicável a cada município.

Muitos dos estudos efectuados para a Comissão Europeia têm tendência a utilizar estimativas de taxas de remuneração uma vez que os custos das diferentes opções de gestão não se encontram disponíveis. Essas taxas representam uma unidade de pagamento (normalmente por tonelada de resíduo) feita pela autoridade local ao gestor do serviço. Muitas vezes o pagamento feito pela autoridade local não é suficiente para realizar o tratamento, facto que pode acontecer quando a instalação de tratamento aceita outros resíduos além dos RSU, representando uma possibilidade de subsidiar o custo de processamento dos RSU.

Por outro lado, o tempo de vida da unidade, a etapa em que se encontra no ciclo de investimento e a estratégia da entidade podem agir independentemente ou em conjunto com outros factores, afectando o mercado de serviços de tratamento de resíduos e encorajando a descida do valor pago pelos mesmos, sendo em qualquer dos casos esperados lucros de operação.

Do ponto de vista da política de gestão de resíduos aplicada na União Europeia, sabe-se que a aplicação de custos pela produção de resíduos constitui uma das medidas

mais apropriadas porque reflecte os recursos usados na implementação de novas políticas de gestão.

Em alguns países os municípios agrupam-se em associações que permitem gerir os resíduos de forma mais colectiva. A França tem cerca de 35000 comunidades, enquanto que o Reino Unido, com a mesma população, apresenta cerca de 400 autoridades locais. Em média, a comunidade deverá ter 100 vezes o tamanho da média da autoridade local.

O envolvimento do sector privado difere de país para país. A nível Europeu está em expansão, mas não em todos os Estados-Membros.

Em alguns casos a responsabilidade de gestão é completamente da responsabilidade de organizações específicas (Áustria, Bélgica, Finlândia, França, Alemanha, Luxemburgo e Suécia), sendo que os municípios não pagam pela recolha. Noutros, como a França, Irlanda, Itália e Espanha, as autoridades locais recebem um pagamento que não cobre o custo total de recolha.

Países como a Dinamarca, Grécia, Holanda e Reino Unido, não têm um fundo directo de recolha de fracções de embalagem. No entanto, na Dinamarca, todos os municíipes são aconselhados a colocar de lado os materiais rejeitados e a recolher o papel e vidro. Na Holanda, um acordo entre a VNG (uma associação representante dos municípios) e a AOO (Conselho de gestão de resíduos da Holanda) requer que as autoridades locais encontrem medidas para alcançar elevadas taxas de reciclagem para embalagens. No entanto, no Reino Unido e na Grécia, não existem este tipo de atitudes, embora em Inglaterra fossem estabelecidas metas de reciclagem para cada autoridade local.

Em Portugal, os 30 sistemas de gestão de RSU foram criados tendo em conta a eficiência económica no tratamento e valorização dos resíduos produzidos, tendo sido formados de modo a que um sistema gerisse pelo menos dois municípios. De facto, a nível financeiro não é viável existir mais do que uma unidade de tratamento, valorização ou eliminação de RSU numa determinada área geográfica.

Existem várias fases associadas à gestão de resíduos, cujas estimativas de custos são estabelecidas pela entidade responsável, tornando-se num processo muito complexo, dependendo também das pessoas que habitualmente recolhem os resíduos e a forma como o fazem. Quando os sistemas de recolha são fragmentados (através da introdução de responsabilidades sobre determinado poluidor para um material específico), implicará um aumento dos custos dos sistemas de recolha.

Alguns estudos efectuados para a Comissão Europeia apresentam custos de investimento e exploração para diferentes tecnologias de tratamento, sendo também estudados os custos de mudança de processo de tratamento, como a utilização da

compostagem em detrimento da deposição em aterro, entre outros, os quais demonstram ser benéficos para o ambiente e para os custos financeiros associados ao sector [39].

9.1 Custos de Recolha

As estratégias de gestão devem actuar no sistema como um ciclo: alterando a composição dos resíduos, os custos de tratamento, desenvolvendo novas e mais eficientes tecnologias e melhorando o desempenho do sistema.

Conforme já referido anteriormente em 3.3, os custos de recolha e transporte representam uma vasta parcela dos encargos do sistema de gestão de resíduos. A eles estão associados vários factores como:

- selecção da tipologia de recolha;
- quantidade e tipos de resíduos recolhidos;
- área geográfica de recolha e transporte;
- modelo do veículo, de acordo com as características do resíduo;
- número de veículos de recolha e transporte;
- frequências de recolha, segundo um modelo de optimização de custos;
- destino dos resíduos.

À medida que os sistemas de recolha mudam, alteram-se as opções de tratamento. O desafio para aqueles que se iniciam nas estratégias de recolha selectiva é garantir que as opções de tratamento são suficientemente flexíveis para permitir o desenvolvimento da recolha selectiva sem comprometer o valor dos investimentos fixos. Neste contexto, o aterro tem um valor estratégico como local de armazenagem de materiais.

Tem sido feito muito pouco trabalho no sentido de estabelecer valores de recolha selectiva para todos os países. Desta forma, a avaliação de custos é efectuada por estimativas de tonelada de resíduo produzido.

A recolha selectiva de materiais recicláveis reduz a quantidade de resíduos indiferenciados a recolher, permitindo reduzir os custos para a recolha de resíduos de deposição final. Neste sentido, devem ser optimizados os percursos de recolha de modo a garantir também a variação na produção e recolha de resíduos, evitando possíveis falhas na recolha *versus* capacidade do contentor, afectando a adesão da população ao sistema de

separação na fonte. A taxação e educação ambiental pode ser usada na monitorização deste processo, uma vez que permite aumentar a separação dos materiais.

A recolha selectiva de resíduos biodegradáveis, principalmente de resíduos alimentares, permite a redução de odores desagradáveis bem como a redução da quantidade de resíduos indiferenciados a depositar em aterro. Este facto facilita a redução na frequência de recolha dos indiferenciados, o que poderá acarretar custos significativamente mais baixos.

Os custos comparativos para a recolha de resíduos biodegradáveis em diferentes Estados Membros apresentam-se na Tabela 9.1.

Tabela 9.1 Custos de recolha dos materiais putrescíveis dos RSU [38]

País	Natureza dos compostáveis recolhidos	Frequência	Custo estimado
Áustria	Ambos	Semanalmente no verão e de duas em duas semanas noutras estações	€ 82/t – promoção de compostagem doméstica
Bélgica	VFG Verdes	Semanalmente e em cada duas semanas	€ 45-146/t, média € 111/t (resíduos VFG) € 16/hab € 38/t (resíduos verdes) € 3,7/hab
Dinamarca	Jardim e alimentares	Recolha dual (todos os 14 dias)	Os custos de recolha aumentam 25% relativamente ao padrão semanal de recolha de indiferenciados
Finlândia	Ambos	Semanalmente/ todas as 2 semanas	€ 63/t
França	Ambos	Rural – semanal Urbano – 2 vezes por semana	€120-142/t € 36-45/t
Alemanha	Ambos	Alternativamente com os indiferenciados, algumas vezes por semana (ex. verão)	€ 67-159/t (€ 100/t) – a compostagem doméstica é importante
Grécia	N/d	N/d	N/d
Irlanda	Ambos	Alternando com recolha de resíduos indiferenciados Resíduos de compostagem recolhidos semanalmente	Nenhum aumento relativamente aos resíduos indiferenciados, excepto € 6-8/hab/ano em investimentos (contentores e sacos) Aproximadamente € 33/hab
Itália	Resíduos alimentares	Uma a duas vezes por semana	€ 54-302/t; € 4,4-9,3/hab
Luxemburgo			
Holanda			
Portugal			
Espanha	Secos e húmidos Recolha de resíduos alimentares		€ 40/t Incremento de custo acima da recolha de rejeitados é zero
Suécia			
Reino Unido	Ambos	Alternando com os indiferenciados (todas as duas semanas) Recolha semanal (pré-selectiva)	

O sistema de recolha deve ter em consideração a natureza do resíduo, o custo dos contentores, a variação da quantidade de resíduo por cada ponto de produção, os encargos com os funcionários, a frequência de recolha (relacionada com a capacidade de armazenamento dos resíduos nas habitações, o mecanismo de recolha, o clima, e mais significativamente a presença ou ausência de resíduos alimentares) e a automatização dos veículos de recolha.

Os custos de transporte dos resíduos acrescem aos custos da recolha destes pelas habitações. Os custos de mão-de-obra representam cerca de 50% dos custos de recolha.

Alguns países que apresentam baixos valores por tonelada de resíduo são aqueles que recolhem grandes quantidades de resíduos indiferenciados.

A Tabela 9.2 permite visualizar os custos de recolha de resíduos indiferenciados em vários Estados-Membros, segundo dados fornecidos pela LIPOR.

Tabela 9.2 Custos de recolha de resíduos indiferenciados

País	Custos (€/t)			Custos (€/hab)			Frequência de Recolha
	Baixo	Elevado	Melhor Estimativa	Baixo	Elevado	Melhor estimativa	
Áustria			70				2 em 2 semanas, mais frequente no Verão
Bélgica	58	92	75	14	22	18	Normalmente de 2 em 2 semanas, às vezes semanalmente
Bruxelas			56				
Dinamarca			126			62	Semanalmente
Finlândia	15 (urbano)	32 (rural)		17 (urbano)	37 (rural)		Porta-a-porta semanalmente, bissemanal ou mensal dependendo da área (exclui os custos dos contentores das casas)
França	54 (urbano) 63 (rural)	65 (urbano) 74 (rural)	60 (urbano) 70 (rural)				5 vezes por semana nas zonas urbanas 2 vezes por semana nas zonas rurais
Alemanha	39 (urbano) 48 (rural)	81 (urbano) 91 (rural)	67 (urbano) 71 (rural)			30 (urbano) 40 (rural)	2 em 2 semanas, semanalmente. Os custos são mais baixos na recolha bissemanal. Diariamente nas zonas urbanas, semanalmente nas zonas rurais
Grécia	25 (urbano) 40 (rural)	36 (urbano) 67 (rural)	30 (urbano) 55 (rural)			32 (urbano) 57 (rural)	Diariamente nas zonas urbanas, semanalmente nas zonas rurais
Irlanda	60	70	65	70	80	75	Semanalmente
Itália	48	255	75	15	45	25	Semanalmente ou 2 vezes por semana nos sistemas de recolha de matéria orgânica. 3 ou 4 vezes por dia nas áreas sem recolha da matéria orgânica.
Luxemburgo	85	104	85				De 2 em 2 semanas
Holanda	75	123	100				Semanalmente
Portugal			45				
Espanha	19	91	60	10	43	25	Diariamente em zonas urbanas
Suécia	59	80	65				De 2 em 2 semanas nas casas unifamiliares e semanalmente nas zonas mais urbanizadas
Reino Unido	32 (urbano) 50 (rural)	50 (urbano) 80 (rural)	42 (urbano) 60 (rural)	24 (urbano) 38 (rural)	38 (urbano) 60 (rural)	61 (urbano) 45 (rural)	Normalmente diária - algumas entidades alternam a recolha dos resíduos com a recolha da matéria orgânica.

Os custos da recolha de materiais recicláveis dependem também de:

- tipo de estratégia de recolha utilizada (tipo de materiais seleccionados, veículos usados na recolha, grau de separação requerido após recolha e frequência de recolha);
- composição do resíduo municipal e taxas de recolha para os diferentes materiais.

Os custos de recolha de diferentes fracções de resíduos num determinado local dependem do modo como são recolhidos, o que está a ser recolhido juntamente, devido ao risco de contaminação, e a percentagem de recolha dos diferentes materiais.

O número de veículos de recolha está relacionado com a densidade populacional e a tipologia dos RSU.

Existem veículos que recolhem os recicláveis conjuntamente com os indiferenciados, reduzindo os custos de recolha. No entanto, este facto implica a necessidade de proceder posteriormente à separação dos recicláveis, o que acarretará maiores custos e uma menor eficiência de separação devido à forte possibilidade de contaminação. Desta forma, para obter um maior grau de separação dos recicláveis, poderão ser utilizados veículos contendo mais compartimentos, e, provavelmente, um novo veículo será necessário. Por outro lado, os percursos dos veículos bicompartmentados para recicláveis e não recicláveis devem ser optimizados tendo em conta que ambos os contentores tenham aproximadamente a mesma percentagem de enchimento.

A Tabela 9.3 apresenta os custos de recolha dos materiais recicláveis para alguns países da UE. Esta Tabela permite referir que os sistemas de recolha porta-a-porta são mais dispendiosos que os sistemas de recolha de contentores, ou seja, recolha dos materiais em ecopontos/ecocentros.

O custo de recolha de fracções de embalagens e plásticos são da ordem de €200-300/t, podendo ser efectuados investimentos na separação após a recolha que poderão baixar o valor para €100, apresentando, no entanto, custos adicionais.

Tabela 9.3 Custos de recolha de resíduos recicláveis [38]

País	Abordagem	Embalagens	Plástico	Metal	Têxteis	Vidro	Cartao	Jornais e Revistas	Papel					
Áustria	Centralidade/ Porta-a-Porta				€190 / t	€48 / t			€74 / t					
	Deposição selectiva													
	Deposição													
	Centro de deposição													
Bélgica	Centro de deposição/porta-a -porta	€298 /t		€296 / t		€97 - 194/t €48/t (SPV)			€44 /t (SPV) € 61 / t (Flandres), € 100 / t (Bruxelas); € 61 /t					
	Porta-a-Porta	€169 - 184 /t (SPV)		€21,50/hab										
	Porta-a-Porta	€194 - 359 / t												
	Porta-a-Porta	€100 /t												
Dinamarca	Deposição					€3,4/hab €91/t			€21,50 /hab para a recolha dos materiais em sacos de plástico, estimado €100-180/t.(dependendo das taxas); €15/hab para o papel. Vidro €3,4/hab, €91/t; Papel €4,7/hab, €74/t					
	Porta-a-Porta													
	Centros de Reciclagem													
Finlândia	Centrais de deposição								Custos adicionais para pequena recolha dos indiferenciados (semanalmente/mensalmente) Os custos da recolha semanal a mensal dos materiais recicláveis estimado em €78/t. €108/t para os materiais recicláveis não separados (incluindo os lucros do operador)					
	Recolha de resíduos													
	porta-a-porta + indiferenciados													
França	Ecocentros								Todos os materiais excepto o vidro e os têxteis - duas vezes por semana -€111-133/t. 96Kg/hab/ano ou €12 - €14 /hab Todos os materiais excepto o vidro e os têxteis - semanalmente - €171- 202/t. 144Kg/hab/ano ou €24-29 /hab					
	Porta-a-Porta (urbanos)													
	Porta-a-Porta (rural)													
Alemanha	Deposição					€70/t			€125/t para as embalagens de papel					
	Porta-a-Porta	€230-300/t												
Grécia	Contentores de Rua (voluntario)	€575/t. Embala gens leves							Materiais recicláveis não separados €59/t					

Tabela 9.3 Custos de recolha de resíduos recicláveis (continuação) [38]

País	Abordagem	Embalagens	Plástico	Metal	Têxteis	Vidro	Cartão	Jornais e Revistas	Papel
Irlanda	Porta-a-Porta em caixas								Embalagens e vidro €19/hab (inclui os custos da separação no Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos)
	Porta-a-Porta em cestos								Embalagens não plástico e revistas €51/hab (inclui os custos da separação no Centro de Tratamento de Resíduos Sólidos e subsidiado pelo REPAK)
	Porta-a-Porta em sacos transparentes								Embalagem e revistas €38-51/hab (inclui os custos de separação no Centro de Tratamento de resíduos sólidos)
	Deposição								Embalagens e revistas €65-96/hab (triados no veículo) Valores estimados para a recolha do vidro e do alumínio das centrais de deposição €63,5/t.
Itália	Porta-a-Porta			€300-750/t.	Com vidro		Com metal €50		€30-125/t €2,5-4/hab €90-150/t €1,5-3/hhld
				€1,5-6/hab	€50-70/t.		70/t		
					€1,7-3/hab		€1,7-3/hab €20		
				€230-500/t.	€20-40/t.		40		
	Contentores de rua				€1,2-5/hab		€4-1,3/hab		
Luxemburgo	Porta-a-Porta						€139/t		€139-146/t. €82/t €60/t.
	Contentores						€32/t		
	Centro de Reciclagem						€7/t		
Holanda	Porta-a-Porta						€27/t		€40/t
	Deposição								
	Recuperação após incineração						€73/t (aço)		
Portugal	Contentores de rua		€803/t	Aço €125/t		€ 39/t			€60/t (embalagens)
				Alumínio €964/t					

Tabela 9.3 Custos de recolha de resíduos recicláveis (continuação) [38]

País	Abordagem	Embalagens	Plástico	Metal	Têxteis	Vidro	Cartão	Jornais e Revistas	Papel		
Espanha	Contentores de rua, urbanos	€180/t				€30/t			€40-60/t		
	Contentores de Rua, semi-urbanos	€200/t							€50-70/t (papel e cartao, só embalagens)		
	Contentores de Rua, rural	€270/t (embalagens leves)				€40-50					
Suecia											
Reino Unido	Porta-a-Porta, em veículo								€130-200 para os materiais não separados, sistemas de recolha de plásticos		
	Porta-a-Porta, não separado								Custos de implementação baixos, resíduos (custos dos sacos com um valor aproximado €20/t/ano) €50-80 / t papel/vidro		
	Deposição										

9.1.1 Estações de Triagem

O grau de triagem e a complexidade da instalação dependem da natureza do sistema de recolha.

Os requisitos de triagem de materiais aumentam com o acréscimo do número de materiais recolhidos e a necessidade de separação dos resíduos em categorias mais complexas.

A desagregação dos custos por material é difícil. No entanto, os custos do equipamento de triagem dependem do volume. Assim, materiais de elevadas densidades apresentam menores custos por tonelada para a separação enquanto que pequenas fracções de embalagens implicam custos mais elevados. Por esta razão, em alguns países como Portugal, o papel e cartão são recolhidos conjuntamente, bem como as suas embalagens, sem misturar com os outros materiais de embalagem.

A Tabela 9.4 apresenta os custos unitários de separação de materiais para alguns países da UE.

Tabela 9.4 Custos unitários de triagem de RSU (€/t) [38]

País Material	Áustria	Bélgica	Finlândia	França	Alemanha	Irlanda	Reino Unido
Papel	28			Para recicláveis misturados (excl. vidro) 183-229			
Plásticos	272					127	30-66 (excl. vidro)
Vidro	14						
PMD		193			Embalagens leves: 250		
Separação em sacos ou compostagem dos resíduos indiferenciados			8				

A promoção de um comportamento positivo sobre a compostagem doméstica e a necessidade de minimização de resíduos fazem parte de campanhas de informação e sensibilização ambiental. Estes programas necessitam de investimentos avultados para permitirem educar a população, e, consequentemente, reduzir os custos de recolha. Existe um valor mínimo anual de custo de sensibilização por habitante que se destina a garantir a

continuidade e qualidade de separação dos resíduos. No entanto, é necessário despender um grande valor na fase inicial do projecto, um investimento que se baseia na preparação de um programa de separação de resíduos para uma população com hábitos comportamentais de deposição indiferenciada. Na Tabela 9.5 são apresentados os custos de acções de sensibilização em alguns países tendo em conta o seu valor por habitante.

Tabela 9.5 Custos de acções de sensibilização (€/hab) [38]

Investimento	Dinamarca	França	Irlanda	Itália	Reino Unido
Fase Inicial		1,5-6	9		
Fase Avançada	7	0,8	5-7	1	1,6

Com base no apresentado pode referir-se que a medição dos custos por tonelada de RSU dá uma ideia parcial do desempenho dos sistemas de recolha.

Conforme apresentado anteriormente, em Portugal existem contrapartidas financeiras pagas pela SPV às entidades gestoras dos RSU. Estas contrapartidas são baseadas no valor de cada tipo de material que é entregue para reciclagem. A Tabela 9.6 apresenta os valores de contrapartidas da SPV em 2001, os quais constituem rendimentos obtidos com a retoma de materiais para reciclagem.

Tabela 9.6 Rendimentos com a reciclagem (€/t) [7]

Material	Contrapartida (€/t)
Vidro	38,9
Plástico	803,1
Papel e/ou Cartão	63,8
Aço	124,7
Alumínio	964,2
Madeira	15,0

9.2 Custos de Processamento de RSU

Os custos de tratamento dos resíduos devem incorporar os custos de investimento e os custos de operação. Convém não descurar que devem ser previstos alguns investimentos com o objectivo de melhorar a capacidade ou a eficácia de uma unidade de tratamento ao longo dos anos.

9.2.1 *Compostagem*

Neste processo, o tipo de equipamento usado é a componente mais dispendiosa do sistema. Como exemplo pode referir-se que os sistemas abertos apresentam menores custos de investimento relativamente aos sistemas fechados.

Os custos de compostagem são afectados por um conjunto de variáveis como:

- custos de aquisição de terreno;
- requisitos do local por unidade de capacidade (determinado pelos tempos de retenção e manutenção, associados à qualidade do produto final). Unidades verticais permitem reduzir as necessidades de terreno;
- taxa de utilização;
- escolha de tecnologia, especialmente o grau do processo de controlo (pode estar relacionado com a entrada dos materiais e a localização);
- tipo de separação na origem (que irá determinar a necessidade de Trituração);
- natureza e longevidade dos contratos e dos materiais recebidos;
- rendimentos na venda do produto, relacionada com a qualidade de material entrado e a maturidade do produto final.

9.2.1.1 Custos de Investimento

Para uma unidade com uma capacidade de tratamento de 60000 toneladas de RSU/ano, que englobe equipamentos tais como báscula, tela transportadora, moinho, caixas para compostagem, revolvedor e uma instalação para tratamento dos resíduos, os custos de investimento deste tipo de unidades ascendem a $\text{€}4,77 \times 10^6$, valor obtido a partir de um estudo de gestão de resíduos biodegradáveis [40].

9.2.1.2 Custos de Exploração

Os custos de exploração de centrais de compostagem envolvem o consumo de energia, o tratamento de águas residuais, a mão-de-obra, a manutenção, o transporte e o tratamento dos resíduos.

Considerando tecnologias de tratamento em sistemas fechados, usando biofiltros, o custo de exploração é cerca de € 40-60 por tonelada para unidades com capacidade de tratamento na ordem de 20000 toneladas por ano. Os rendimentos obtidos são na ordem de € 0-10 por tonelada de resíduo alimentado, o que permite baixar os custos para € 30 por tonelada.

Como resumo pode apresentar-se a Tabela 9.7 que permite descrever de forma sumária os custos de exploração por tipo de processo aplicado em alguns Estados Membros.

Tabela 9.7 Custos unitários para a compostagem (€/t) [38]

País	Processo	Custo (€/t)	Observações
Áustria	Elevada especificação para unidade; Compostagem caseira	94 a 20000 t/ano 45-58 a 5000-20000 t/ano	
Bélgica	Compostagem de resíduos verdes Compostagem de resíduos VFG (vegetais, frutas e jardins)	25-37 73-77	Inclui os biofiltros
Dinamarca	Resíduos de Jardim Resíduos alimentares	0-30 73-77 a 10000 t/ano	Inclui rendimento de €11/t composto (€4,5/t de resíduo). Rendimentos variam de €0-11/t
Finlândia	Reactor fechado tipo tambor Reactor fechado tipo túnel e tambor Reactor tipo túnel	47 a 6000 t/ano 189 a 1300 t/ano 68-76 a 7000 t/ano 37-54 a 20000 t/ano	Excluem-se os rendimentos, estimados em €6-10/m ³ , mas mais usados em aplicações de menor valor
França	Resíduos verdes (<i>open air window</i>) Resíduos alimentares (<i>open air window</i>) Resíduos alimentares (<i>open air</i> , arejamento forçado sem tratamento de odores) Resíduos alimentares (fechado, arejamento forçado com biofiltro)	50-85 a 6000 t/ano 34-57 a 12000 t/ano 63-95 a 6000 t/ano 41-68 a 12000 t/ano 50-91 a 22000 t/ano	Incluem-se os rendimentos estimados a €0-8/t resíduo verde alimentado, €0-6/t de resíduo alimentar. Assume-se que os resíduos são encaminhados para incineração em todas as classes.
Alemanha	Resíduos alimentares e de jardim, em sistema fechado com tratamento de odores	62 a 40000 t/ano 56 a 60000 t/ano	Assume-se nenhum rendimento do composto e 10% de rejeitados a um custo de €91/t

Tabela 9.7 Custos unitários para a compostagem (€/t) (continuação) [38]

País	Processo	Custo (€/t)	Observações
Grécia	Nenhum proveniente de materiais separados		
Irlanda	Compostagem de alimentos e resíduos verdes Resíduos verdes	16 a 6000 t/ano 25 a 5000 t/ano 23 a 10000 t/ano	As estimativas são apenas para custos de operação
Itália	Resíduos verdes e alimentares Resíduos verdes	53 a 20000 t/ano 34 a 20000 t/ano	Excluem-se rendimentos estimados em €10/t de resíduo alimentado; Exclui-se o rendimento estimado em €9/t de resíduos alimentados
Luxemburgo	Resíduos biodegradáveis	71 a 4000 t/ano	Parece incluir apenas custos de operação
Holanda	Composto em sistema aberto Compostagem de biodegradáveis em sistema fechado Compostagem de biodegradáveis em sistema fechado Sistemas Buhler Sistemas GICOM Sistemas VAR Sistemas VAM	30 80 a 10000 t/ano 30-60 a 50000 t/ano 50-59 34-55 38-45 38-41	Custos Custos Custos Taxas Taxas Taxas Taxas
Portugal	Não existem dados		
Espanha		18-30	
Suécia		73 a 3000 t/ano 30-45 a 20000 t/ano	
Reino Unido	Resíduos de jardim, <i>open air windrow</i> In-vessel batch tunnel (biodegradáveis) In-vessel batch container (biodegradáveis) <i>In vessel</i> VCU (biodegradáveis)	22 a 18000 t/ano 40 a 20000 t/ano 47 a 18000 t/ano 31 a 20000 t/ano	

9.2.1.3 Proveitos

Os proveitos obtidos com uma unidade de compostagem baseiam-se na venda do composto obtido no processo. De acordo com o nível de qualidade obtido, o valor de venda do composto é de aproximadamente €25-40.

Na Tabela 9.8 são apresentados os rendimentos de algumas unidades de compostagem em Itália.

Tabela 9.8 Rendimentos obtidos com a compostagem [38]

Rendimentos	Quantidade	Unidade	Preço Unitário ($\text{€}/\text{t}$)	Rendimento anual ($\text{€}/\text{ano}$)	Rendimento específico ($\text{€}/\text{t}$)
Taxas					
Resíduos alimentares	12000	t	60	720000	36
Resíduos jardim	8000	t	20	160000	8
Subtotal				880000	44
Venda de Composto					
Campos de cultivo de cereais	1600	t/ano	2	6400	0,32
Jardinagem	4000	t/ano	6	48000	2,4
Cultivo de plantas em vasos	2400	t/ano	30	144000	7,2
Total				1078400	53,92

9.2.2 Incineração

A capacidade local disponível para incineração pode influenciar as decisões de gestão, bem como os materiais a recolher e as condições em que a recolha é efectuada.

Os custos de incineração são afectados por:

- custos de aquisição de terrenos;
- escala;
- taxa de utilização da unidade;
- requisitos de tratamento dos gases formados;
- tratamento e deposição/recuperação das cinzas. As escórias podem ser utilizadas na construção civil, evitando a sua deposição em aterro. Os custos de tratamento das cinzas volantes variam significativamente com os tratamentos a efectuar antes da sua deposição e da natureza do local de deposição;
- eficiência de recuperação de energia e os rendimentos associados. O preço unitário da energia distribuída;
- recuperação de metais e os rendimentos recebidos;
- taxas de incineração.

9.2.2.1 Custos de Investimento

Os custos de investimento de uma central energética são elevados, pelo que esta deve ser uma opção bem pensada, devendo ter a garantia de produção de resíduos suficientes para a sua alimentação, não descurando da necessidade destes serem cada vez mais valorizados pelos materiais que contêm.

Os custos de investimento de uma estação de incineração com uma capacidade de tratamento anual de 380000 toneladas de RSU são aproximadamente de $\text{€}180 \times 10^6$.

9.2.2.2 Custos de Exploração

A Tabela 9.9 apresenta a variação nos custos de unidades de incineração em vários Estados Membros.

Outros estudos apresentam para Portugal, custos de exploração na ordem de €30-46/t, dependendo do aproveitamento energético efectuado [39].

Como tecnologias de tratamento de emissões gasosas provenientes da incineração, são usados na Holanda e Alemanha equipamentos de Redução Selectiva Catalítica (SCR) e *scrubbers*. Porém, outros países, usam equipamentos de Redução Selectiva Não-Catalítica (SNCR), menos dispendiosos mas menos eficientes no tratamento dos gases.

Para a central de incineração apresentada anteriormente, com capacidade de tratamento de 380000 toneladas de RSU, os custos de exploração são de aproximadamente €40/t.

Tabela 9.9 Custos de exploração de unidades de incineração [38]

País	Custos de pré-taxação de rendimentos (€/t)	Taxas (para unidades com recuperação de energia) (€/t)	Rendimentos do abastecimento de energia (€/kWh)	Custos do tratamento de cinzas (€/t)
Áustria	326 a 60000 t/ano 159 a 150000 t/ano 97 a 300000 t/ano		Electricidade: 0,036 Calor : 0,018	Escórias: 63 Cinzas volantes : 363
Bélgica	30-45	12,7	Electricidade: 0,025	N/d
Dinamarca		44	Electricidade: 0,05	Escórias: 34 Cinzas volantes: 134
Finlândia			Para gaseificação / electricidade: 0,034 Calor: 0,017	
França	118-129 a 18700 t/ano 91-101 a 37500 t/ano 86-101 a 37500 t/ano 80-90 a 75000 t/ano 67-80 a 150000 t/ano		Electricidade: 0,023	13-18
Alemanha	250 (50000 t/ano e abaixo) 105 (200000 t/ano) 65 a 600000 t/ano		Electricidade: 0,046	Escórias: 328,1 Cinzas volantes / controlo da poluição atmosférica: 255,6
Grécia	Nenhum		Não conhecido	Não conhecido
Irlanda	46 (200000 t/ano)		Não conhecido	Não conhecido
Itália	41,3-93 (350000 t/ano, depende do rendimento de energia e recuperação de embalagens)		Electricidade: 0,14 e 0,04 (mercado)	Escórias: 75 Cinzas volantes / controlo da poluição atmosférica: 129
Luxemburgo	97 (120000 t/ano)		Electricidade: 0,025	Escórias: 16 Cinzas volantes: 8
Holanda	Taxas de: 71-110 70-134		Electricidade: 0,05	
Portugal	46-76			
Espanha	34-56		Electricidade: 0,036	
Suecia	21-53		Electricidade: 0,03 Calor: 0,02	
Reino Unido	69 a 100000 t/ano 47 a 200000 t/ano		Electricidade: 0,032	Escórias valorizadas Cinzas volantes: 90

9.2.2.3 Proveitos

Os proveitos associados ao tratamento por incineração prendem-se com a venda de energia para aquecimento ou para a rede eléctrica. O valor da venda para a rede eléctrica é de 0,10 €/kWh.

9.2.3 Digestão Anaeróbia

Os custos deste tipo de tecnologia dependem dos seguintes factores:

- custos de aquisição de terreno;
- escolha da tipologia de tratamento;
- materiais usados na alimentação (que afecta a produção de biogás);

- capacidade de tratamento;
- eficiência da recuperação de energia;
- regulamentação sobre as condições de utilização do digerido e do licor;
- rendimentos do digerido.

9.2.3.1 Custos de Investimento

O investimento numa unidade de digestão anaeróbia deve incorporar, de uma forma geral, dependendo do processo de tratamento, os custos de aquisição de equipamentos para efectuar um pré-tratamento, mesmo que a corrente de resíduos seja proveniente de recolha selectiva; tratamento por digestão anaeróbia; pós-tratamento para estabilização do composto; material de captação de biogás e transformação em electricidade.

Uma central de digestão anaeróbia com capacidade anual de tratamento de 60000 toneladas que englobe um pré-tratamento inicial, um processo termofílico por via húmida para permitir a higienização do composto, um sistema de desidratação do digerido, e, por fim, um processo de compostagem para garantir a maturação, tem um custo total de investimento da ordem de $\text{€}4,79 \times 10^6$ [41].

9.2.3.2 Custos de Exploração

Na Tabela 9.10 são apresentados custos de exploração de unidades de digestão anaeróbia para alguns países da UE.

Tabela 9.10 Custos de exploração de unidades de digestão anaeróbia [38]

País	Áustria	Bélgica	Dinamarca	Finlândia	França	Alemanha	Holanda	Suécia	Reino Unido
Custos (€/t)	80	82	67 ⁷	35 ⁸	57	109 79 ⁹	50-84 ⁶	60-70	80-96 ¹⁰

⁷ Nestes casos pode não haver necessidade de tratamento aeróbio do digerido

⁸ Apenas armazenamento básico do digerido para a fase aeróbia

⁹ Aplicável para co-digestão em quintas

¹⁰ Estimativas

A unidade de tratamento anteriormente apresentada com capacidade anual de 60000 toneladas, apresenta custos de exploração na ordem de €57,55 por tonelada de resíduo orgânico que entra no sistema [41].

9.2.3.3 Proveitos

Os rendimentos obtidos com esta opção de tratamento são baseados no valor da venda do digerido obtido e da energia produzida sob a forma de calor ou electricidade.

O valor da venda do composto obtido é de aproximadamente €25 por tonelada e o valor da venda de energia para a rede eléctrica nacional é de € 0,10 por kWh.

9.2.4 Deposição em Aterro

Em muitos países a utilização de aterros constitui ainda a opção mais barata de gestão de resíduos (com a excepção da compostagem doméstica). No entanto, devido a um conjunto de restrições legislativas a deposição em aterro tem vindo a ser restringida, aumentando o tamanho dos aterros para beneficiar das economias de escala.

Os aterros têm o potencial de actuar como monopólios locais, pelo que a taxação deve ser superior a qualquer outro tipo de destino que permita a valorização do resíduo.

Os custos associados com a implementação de aterros estão relacionados com os seguintes componentes:

- custos de aquisição de terrenos;
- despesas de capitais e custos de desenvolvimento;
- custos operacionais;
- reabilitação;
- custos de pós-encerramento.

A Tabela 9.11 apresenta de forma sumária os custos associados à localização de um aterro.

Tabela 9.11 Estudo de custos para a localização de um aterro [22]

Custos de Capital (C)	Aquisição de terreno
	Preparação e execução de infra-estruturas
	Equipamento de operação
Tempo de vida do Aterro em anos (A)	
Custos Operacionais por ano no Aterro (O)	Pessoal
	Operação dos equipamentos
	Laboratórios (análises)
	Suprimentos diversos
Quantidade de resíduos por ano em t (Q)	
Custo unitário de capital (C1)	$C1=C/A*Q$
Custo unitário de operação no aterro (C2)	$C2=O/Q$
Custo unitário de transporte de RSU (T)	
Custo unitário total (Ct)	$Ct=C1+C2+T$

9.2.4.1 Custos de Investimento

A Tabela 9.12 apresenta os custos associados à implementação de aterros.

Tabela 9.12 Custos de investimento associados à deposição num aterro projectado para 10 anos [38]

	Valor	Anos	Valor
Custos capitais	€320000,00	10	€45560,80
Imposto local	€1600000,00	10	€227804,00
Aquisição	€14088729,60	10	€2005918,14
Investimento e desenvolvimento	€ 960000,00	10	€136682,40
Restauração	€4924582,40	10	€701149,74
Pós encerramento	€21893312,00		€3117115,09
Total			€ 1920000,00
			€5037115,09

As diferenças nos custos unitários da construção de aterros são afectadas pelos seguintes factores:

- aquisição de terrenos;
- requisitos geológicos e hidrogeológicos;
- tamanho do aterro (total de espaço vazio);
- taxa de enchimento;
- custos de cobertura diária/restauração;

- aprovisionamento financeiro/pós-encerramento;
- taxas de deposição em aterro.

É importante referir que as economias de escala permitem reduzir os custos de investimento e exploração de um aterro.

9.2.4.2 Custos de Exploração

Os custos de exploração de um aterro são relativamente baixos quando comparados com as restantes tecnologias de valorização. A Tabela 9.13 apresenta os custos de exploração em alguns Estados-Membros, tendo em consideração a aplicabilidade de taxas de deposição, no sentido de responsabilizar o produtor pela deposição final dos resíduos e desincentivar este tipo de utilização para casos em que seja possível efectuar a valorização dos mesmos.

Tabela 9.13 Custos de exploração dos aterros para países da UE [38]

País	Custos operacionais (€/t)	Custos (excl. taxas) (€/t)	Pagamento (excl. taxas) (€/t)	Taxas (€/t)	Custos Totais (incl. taxas) (€/t)
Áustria		67		43	110
Bélgica	N/d		47,5	52-55	100
Dinamarca	N/d		44	50	94
Finlândia	4		37-46	15	52-61
França	3-5 (para 100000 t/ano) 6-8 (para 20000 t/ano)	31-85		9	40-94
Alemanha	7,3 (para 300000 t/ano)	20 (para 300ktpa) 51 (para 50 ktpa)	35-220		30-51
Grécia	1,5-15			19	9-30
Irlanda	13 (aprox. 100000 t/ano a 2×10^6 m ³ de terreno)		35-78		60-95
Itália	13 (aprox. 1250 t/ano a 2×10^6 m ³ de terreno)	52 (a $1,25 \times 10^6$ m ³ de terreno)			70-75
Luxemburgo	35-43 (40000 t/ano e 32000 t/ano, respectivamente)	123 (40000 t/ano a 400000 m ³) 147 (32000 t/ano a 400000 m ³)			123-147
Holanda	N/d		43-100 (média 75)	64	107-164
Portugal	N/d		6-15		6-15
Espanha	N/d	25-35	6-40		25-35
Suécia	N/d		20-60	30,6	50,6-90,6
Reino Unido	6,5-8 (mais de 250000 t/ano) 3-4 (500000 t/ano)	28 (175000 t/ano a $1,75 \times 10^6$ m ³ de terreno)	8-35	19,2	40-48

Um outro estudo efectuado indica para Portugal, valores de custos de exploração na ordem de €15-20/t de resíduo depositado [39].

9.2.4.3 Proveitos

O biogás produzido nos aterros pode ser aproveitado para consumo interno, produzir energia e abastecer à rede de energia eléctrica ou para aquecimento, com os custos associados à sua venda. Um aterro que receba anualmente cerca de 114000 toneladas de RSU terá uma produção de biogás anual de aproximadamente $4,2 \times 10^6 \text{ m}^3$, o que se traduz na venda de energia no valor aproximado de €4 por tonelada de RSU depositado. No entanto, em vários casos verifica-se que esta opção não é considerada devido ao limitado período de tempo em que este é produzido, conforme referido em 5.1.2, pelo que muitos sistemas de gestão têm adoptado a queima do biogás produzido, não investindo na valorização energética.

10 Formulação de Cenários de Gestão

As tomadas de decisão em matéria de gestão de RSU são complexas e requerem o conhecimento prévio das tecnologias existentes de forma a melhor escolhê-las e combiná-las. Porém isso não basta, dado que há outras condicionantes que pesam na selecção de entre as potenciais opções tecnológicas, nomeadamente as de carácter económico-financeiro. A estas, porém, juntam-se actualmente outras restrições, particularmente as que resultam da necessidade de cumprir as metas regulamentares como as que advêm das Directivas Europeias. Elas próprias são o resultado da aplicação de princípios da hierarquia de gestão de resíduos, tendo, cada vez mais subjacente a quantificação das consequências ambientais inerentes às opções de gestão.

Assim, o que fazer para melhorar o desempenho dos sistemas de gestão de RSU é, na realidade, uma questão complexa e multifacetada que pede conhecimento técnico, sentido de posição face à legislação e às políticas ambientais, mas também bom senso. Há, na verdade, que optar entre alternativas, mas num ambiente de condicionamentos, pois os recursos são geralmente muito limitados. Para melhor decidir é bom conhecer o presente e alguns traços do futuro que resultará das decisões tomadas.

O objectivo aqui traçado é proporcionar ao decisor uma ferramenta que o habilite a saber onde está e conhecer melhor para onde pode ou deve ir.

No essencial pintam-se alguns cenários de gestão duma qualquer área geográfica com produção conhecida de RSU. Um dos cenários corresponde à situação de base, próxima da forma como efectivamente se gerem os RSU. Um outro espelha a melhor solução sob o ponto de vista tecnológico e ambiental, assim definida com base em alguns dos impactos que resultam da adopção de certas tecnologias. Outro cenário é o que melhor se ajusta aos imperativos regulamentares nacionais que impõem limitações no uso de certas soluções de gestão e obrigam a adoptar outras. O cenário que corresponde à melhor opção sob o ponto de vista de critérios económicos é também considerado. Cada um deles corresponde a variáveis, funções objectivo e restrições articuladas de forma a espelhar as políticas adoptadas no respectivo cenário.

No essencial, o problema da gestão de RSU é traduzido num conjunto de expressões lineares, a maior parte das quais inequações, bem como uma função objectivo a minimizar ou maximizar, que uma vez resolvida permite determinar como gerir os RSU produzidos numa dada região.

10.1 Pressupostos

Pretendeu-se apresentar como destinos possíveis os utilizados ou a utilizar brevemente em Portugal, isto é, a reciclagem, a digestão anaeróbia, a compostagem, a incineração e a deposição em aterro. A gaseificação, a pirólise e outras tecnologias de tratamento não foram consideradas neste programa devido ao seu actual estado de desenvolvimento, à sua baixa utilização e à inexistência de dados suficientes para avaliação no sentido de as aplicar neste trabalho.

Por outro lado, é esperado que o gestor tenha consciência de que algumas opções tecnológicas só têm viabilidade económica se preencherem determinados critérios, tais como boa localização relativamente à fonte de produção ou quantidade produzida suficiente relativamente à capacidade da unidade de tratamento.

As equações apresentadas foram construídas de forma a que o sistema resultante seja linear e as incógnitas do sistema só assumam valores positivos ou nulos.

A segmentação utilizada na composição dos RSU baseia-se no padrão de composição do PERSU, o mais usado na análise do comportamento de sistemas de gestão de RSU.

Optou-se também por incluir as duas possibilidades de recolha de RSU, respectivamente, indiferenciada e selectiva, embora com a necessidade de caracterizar separadamente os respectivos resíduos, devido às diferenças de desempenho dos processos de tratamento, em cada caso.

Para a construção do sistema de equações pressupõe-se que:

- a matéria orgânica pode ser enviada para a compostagem, digestão anaeróbia, incineração e deposição em aterro;
- as parcelas dos finos e dos têxteis apenas podem ser encaminhadas para incineração e aterro;
- o papel e/ou cartão pode ser encaminhado para reciclagem, digestão anaeróbia, compostagem, incineração e aterro;
- os plásticos, os vidros, os metais e a madeira podem ter como destino a reciclagem, a incineração e o aterro;
- os produtos obtidos na compostagem e digestão anaeróbia com base nos materiais recolhidos indiferenciadamente são encaminhados para

- incineração, uma vez que têm enorme risco de serem um fertilizante de má qualidade;
- os refugos obtidos na reciclagem dos vários materiais são posteriormente enviados para incineração, considerando-se nula a possibilidade da sua valorização não energética;
 - como a madeira é geralmente tratada com preservantes não é considerada a possibilidade do seu encaminhamento para a compostagem e digestão anaeróbia.

Todas estas possibilidades de destino existem para os resíduos de recolha indiferenciada e selectiva, em ambos os casos com variantes de embalagens e não-embalagens.

Os rejeitados da aplicação de uma determinada tecnologia (reciclagem, digestão anaeróbia ou compostagem) têm por destino a incineração, contabilizando-se uma certa percentagem para aterro na forma de escórias e cinzas.

10.2 Variáveis utilizadas

As variáveis adoptadas nas expressões do problema a optimizar contemplam todas as combinações entre a proveniência do fluxo de resíduos e os destinos possíveis, pelo que não faz sentido que as 125 variáveis obtidas sejam aqui descritas individualmente. Este número elevado justifica uma notação que agrupa a cada fracção de RSU, $X_{i,j}$, a sua origem e o seu destino através de dois índices i e j , tornando o seu significado mais perceptível.

A Tabela 10.1 permite definir, de uma forma geral, a nomenclatura utilizada para o índice i da proveniência do resíduo.

Tabela 10.1 Definição da nomenclatura usada nas variáveis consideradas

Campo	Significado
Primeira letra	Proveniência de recolha (<u>Selectiva</u> ou <u>Indiferenciada</u>)
Segunda Letra	Tipo de RSU (<u>Embalagem</u> ou <u>Não-Embalagem</u>)
Valor do índice i	1 - Matéria orgânica 2 - Finos 3 - Papel e/ou Cartão 4 - Plástico 5 - Vidro 6 - Metais 7 - Têxteis 8 - Madeira 9 – Outros

A Tabela 10.2 apresenta os valores do índice j e o respectivo destino do resíduo.

Tabela 10.2 Destino dos resíduos e valor do índice j

Índice	Destino
1	Reciclagem
2	Digestão anaeróbia
3	Compostagem
4	Incineração
5	Deposição em aterro

Usando esta nomenclatura, a variável que representa as embalagens de cartão provenientes de recolha selectiva destinadas à incineração é $X_{SE3,4}$.

Para a composição dos RSU foi também adoptada idêntica nomenclatura, sendo o respectivo vector denominado por RSU com elemento de índice i de acordo com a nomenclatura apresentada na Tabela 10.1.

10.3 Expressões Algébricas Obtidas

As expressões apresentadas configuram as várias opções tecnológicas de gestão presentes em Portugal e referem-se a equações de balanço mássico, restrições mássicas e legislativas.

10.3.1 Balanços Mássicos

A soma das diferentes parcelas da composição em percentagem dos RSU tem que ser igual a 100%. O balanço de massa é implementável como uma restrição mássica única, forçando que todos os resíduos têm de ter um destino final:

$$\sum_{j \neq 1} X_{i,j} = RSU_i, \forall i \quad (10.1)$$

10.3.2 Restrições Mássicas

Com o intuito de simplificar de um ponto de vista computacional, na resolução deste sistema linear (125 variáveis, 34 restrições e 1 função objectivo), foi considerada como nula a soma das seguintes combinações proveniência/destino:

$$\begin{aligned} & X_{IN1,1} + X_{IN2,1} + X_{IN2,2} + X_{IN2,3} + X_{IN4,2} + X_{IN4,3} + X_{IN5,2} + X_{IN5,3} + X_{IN6,2} + X_{IN6,3} + \\ & + X_{IN7,1} + X_{IN7,2} + X_{IN7,3} + X_{IN8,2} + X_{IN8,3} + X_{IN9,1} + X_{IN9,2} + X_{IN9,3} + X_{IE4,2} + X_{IE4,3} + \\ & + X_{IE8,2} + X_{IE8,3} + X_{IE5,2} + X_{IE5,3} + X_{IE6,2} + X_{IE6,3} + X_{SN1,1} + X_{SN4,2} + X_{SN4,3} + X_{SN5,2} + (10.2) \\ & + X_{SN5,3} + X_{SN6,2} + X_{SN6,3} + X_{SN8,2} + X_{SN8,3} + X_{SE4,2} + X_{SE4,3} + X_{SE8,2} + X_{SE8,3} + \\ & + X_{SE5,2} + X_{SE5,3} + X_{SE6,2} + X_{SE6,3} = 0 \end{aligned}$$

Esta condição, aliada à de não negatividade destas variáveis, reduz o sistema para 34 restrições lineares com 82 variáveis.

10.3.3 Restrições Legislativas

As restrições legislativas são baseadas nos seguintes documentos legais: o Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, relativo à deposição de resíduos em aterros e os Decretos-Lei n.º 366-A/97, de 20 de Dezembro, 407/98, de 21 de Dezembro, Portaria n.º 29-B/98, de 5 de Janeiro e recentemente, a Directiva n.º 2004/12/CE, de 11 de Fevereiro, relativos à gestão de embalagens e resíduos de embalagens.

Para efeitos do Decreto-Lei n.º 152/2002 foi construída a seguinte restrição:

$$\hat{A} M_{\text{RUB com destino a aterro}} \sim Q_{\text{RUB}} \quad (10.3)$$

em que a variável M_{RUB} é a soma das massas associadas às percentagens de RUB com destino a aterro, conforme apresentado na equação 10.4 e Q_{RUB} a massa de RUB a depositar para o ano em causa expressa na Tabela 10.3.

$$M_{\text{RUB com destino a aterro}} = ? \left(M_{\text{RSU}} \times X_{\text{IN1,4}} + X_{\text{IN3,4}} + X_{\text{IN7,4}} + X_{\text{IN8,4}} + X_{\text{IE3,4}} + X_{\text{IE8,4}} + X_{\text{SN1,4}} + X_{\text{SN3,4}} + X_{\text{SN8,4}} + X_{\text{SE3,4}} + X_{\text{SE8,4}} \right) \quad (10.4)$$

sendo M_{RSU} a massa total de RSU declarados.

Tabela 10.3 Quantidade de RUB a enviar para aterro

Ano	% do valor de RUB de 1995	Q_{RUB}	Unidade
Até 2006	75	1689540	t
Até 2009	50	1126360	t
Até 2016	35	563180	t

Nos restantes documentos legais citados podem ser encontradas as restrições ao destino das embalagens, tal como é definido na Tabela 10.4.

Tabela 10.4 Cumprimento da Directiva Embalagens

Descrição	Mínimo permitido até 31 de Dezembro de 2005 (%)	Mínimo permitido até 31 de Dezembro de 2011 (%)
Embalagens valorizadas	50	60
Embalagens recicladas	25	55
Papel e/ou Cartão de embalagem reciclado	15	60
Plástico de embalagem reciclado	15	22,5
Madeira de embalagem reciclado	15	15
Vidro de embalagem reciclado	15	60
Metais de embalagem reciclados	15	50

Como embalagens valorizadas entende-se a massa de embalagens que são efectivamente valorizadas, isto é, não são depositadas em aterro. Em notação matemática, para a meta do ano de 2005, esta informação pode traduzir-se como:

$$\frac{\sum_i RSU_{Ei} / \sum_i X_{Ei,5}}{\hat{\prod}_i RSU_{Ei}} \times 100 \geq 50 \quad (10.5)$$

Segundo a legislação existente, a quantidade mínima de resíduos de embalagem que devem ser reciclados é:

$$\frac{\hat{\prod}_{i \neq 1} X_{Ei,1} \times (1 - Rej_R) \times (1 - Ref_R)}{\hat{\prod}_{i \neq 1} RSU_{Ei}} \times 100 \geq 25 \quad (10.6)$$

em que Rej_R é a quantidade de material rejeitado na triagem de resíduos com destino a reciclagem e Ref_R representa a quantidade de refugos resultantes do processo de reciclagem, consoante os valores apresentados nas Tabelas 10.5 e 10.6.

A restrição relativa à reciclagem dos materiais contidos nos resíduos de embalagem impostos pela legislação em vigor é dada pela seguinte expressão:

$$\frac{X_{Ei,1} \times (1 - Rej_R) \times (1 - Ref_R)}{RSU_{Ei}} \times 100 \geq 15 \quad \forall i \in \{3, 4, 5, 6, 8\} \quad (10.7)$$

Como se infere da Tabela 10.4, os valores adoptados nas equações 10.5, 10.6 e 10.7 relativos à legislação em vigor podem ser substituídos pelos valores propostos na nova Directiva n.º 2004/12/CE de 11 de Fevereiro, a qual ainda não foi transposta para o Direito Nacional.

Por embalagens recicladas entende-se a massa de embalagens que são efectivamente recicladas considerando o disposto na Tabela 10.5 que traduz a eficiência do processo de triagem de materiais com destino a reciclagem. Tal estende-se à restrição sobre o total de embalagens recicladas bem como às restrições parcelares.

Tabela 10.5 Fracção de rejeição de materiais para reciclagem durante a triagem

Material	Recolha Indiferenciada	Recolha Selectiva
Papel e/ou cartão	0,95	0,10
Plástico	0,80	0,10
Madeira	0,90	0,10
Vidro	0,70	0,05
Metais	0,45	0,05
Embalagens de Papel e/ou cartão	0,85	0,10
Embalagens de Plástico	0,80	0,10
Embalagens de Madeira	0,90	0,10
Embalagens de Vidro	0,70	0,05
Embalagens de Metais	0,45	0,05

Após o encaminhamento destes resíduos para os vários destinos, há ainda a considerar os refugos obtidos em cada tecnologia de tratamento, cujo valor depende essencialmente do processo adoptado e equipamento utilizado, entre outros. A Tabela 10.6 apresenta os valores de refugos, por tecnologia, adoptados neste trabalho.

Tabela 10.6 Refugos obtidos em cada tecnologia de tratamento

Tecnologia	Refugos (%)
Reciclagem de Papel e/ou cartão	0,20
Reciclagem de Plástico	0,20
Reciclagem de Madeira	0,20
Reciclagem de Vidro	0,20
Reciclagem de Metais	0,20
Compostagem	0,05
Digestão Anaeróbia	0,05
Incineração	0,30

10.3.4 Valores Adoptados

Na Tabela 10.7 referem-se os valores usados no sistema para calcular os indicadores de desempenho económico e ambiental correspondentes aos cenários analisados.

Estes valores baseiam-se em dados encontrados na literatura consultada [38, 41, 42].

Tabela 10.7 Perspectiva ambiental e económica

Descrição	Valor	Unidade
Custo médio de triagem	40	€/t
Custo médio de recolha indiferenciada	20	€/t
Custo médio de recolha selectiva de matéria orgânica	20	€/t
Custo médio de recolha selectiva de papel	20	€/t
Custo médio de recolha selectiva de plástico	100	€/t
Custo médio de recolha selectiva de vidro	20	€/t
Custo médio de recolha selectiva de madeira	20	€/t
Custo médio de recolha selectiva de metais	20	€/t
Reciclagem		
Contrapartidas de reciclagem papel	38,9	€/t
Contrapartidas de reciclagem plástico	803,1	€/t
Contrapartidas de reciclagem vidro	63,8	€/t
Contrapartidas de reciclagem metais	124,7	€/t
Contrapartidas de reciclagem madeira	15	€/t
Compostagem		
Produção de composto	0,35	t/t res
Emissão de CO ₂	320	kg/t res
Venda de composto	35	€/t
Custo de exploração médio	50	€/t
Digestão Anaeróbia		
Produção de composto	0,35	t/t res
Emissão de CO ₂	440	kg/t res
Custo de exploração médio	57	€/t
Venda de composto	35	€/t
Produção de lixiviados	0,5	m ³ /t
Produção de energia	100	KWh/t
Venda de energia	0,10	€/kWh
Incineração		
<u>Emissão de CO₂ por cada tipo de resíduo:</u>		
Papel	1128500	g/t res
Plástico	2492500	g/t res
Têxteis	1209200	g/t res
Orgânicos	563900	g/t res
Outros	1025900	g/t res
Custo de exploração médio	55	€/t
Venda de energia	25	€/t
Aterro		
Custo de exploração médio	15	€/t
Eficiência média do veículo	0,321	l/km
<u>Volume de gás produzido pelos resíduos:</u>		
Papel	250	Nm ³ /t
Têxteis	250	Nm ³ /t
Orgânicos	250	Nm ³ /t

Tabela 10.7 Perspectiva ambiental e económica (continuação)

Descrição	Valor	Unidade
<u>Composição do gás produzido em aterro:</u>		
CO ₂	883,93	g/Nm ³
CH ₄	392,86	g/Nm ³
<u>Composição do gás resultante da queima do gás de aterro:</u>		
CO ₂	1964,29	g/Nm ³
Ocupação de Volume em Aterro	0,7	t/m ³
Produção de lixiviados	0,67	m ³ /t

O cálculo da quantidade de rejeitados é efectuado através do prévio conhecimento do desempenho das várias tecnologias envolvidas, consoante os valores constantes na Tabela 10.5 para a reciclagem de materiais e na Tabela 10.8 para as restantes tecnologias.

Tabela 10.8 Factores de rejeição de materiais segundo as diferentes tecnologias

Destino dos materiais	Digestão Anaeróbia	Compostagem	Incineração
Materiais provenientes de Recolha Indiferenciada			
Matéria orgânica	0,60	0,60	0
Papel e/ou cartão	0,65	0,65	0
Plásticos	1,00	1,00	0
Vidro	1,00	1,00	0
Metais	1,00	1,00	0
Madeira	1,00	1,00	0
Têxteis / Finos / Outros	1,00	1,00	0
Embalagens de Papel e/ou cartão	0,65	0,65	0
Embalagens de Plástico	1,00	1,00	0
Embalagens de Vidro	1,00	1,00	0
Embalagens de Metais	1,00	1,00	0
Embalagens de Madeira	1,00	1,00	0
Materiais provenientes de Recolha Selectiva			
Matéria orgânica	0,60	0,60	0
Papel e/ou cartão	0,65	0,65	0
Plásticos	1,00	1,00	0
Vidro	1,00	1,00	0
Metais	1,00	1,00	0,6
Madeira	1,00	1,00	0
Têxteis / Finos / Outros	1,00	1,00	0
Embalagens de Papel e/ou cartão	0,65	0,65	0
Embalagens de Plástico	1,00	1,00	0
Embalagens de Vidro	1,00	1,00	0
Embalagens de Metais	1,00	1,00	0,6
Embalagens de Madeira	1,00	1,00	0

10.3.5 Funções Objectivo

As funções objectivo visam a concretização de pressupostos como o cumprimento de prioridades de destino, o cumprimento do disposto nos documentos legislativos, a minimização de impactes ambientais e de custos económicos agregados ao sistema de gestão.

As funções objectivo usadas neste trabalho diferem consoante o cenário adoptado, pelo que serão apresentadas segundo a situação em que se enquadram.

10.3.5.1 Cenários Considerados

, Cenário Actual

O cenário actual baseia-se no estado actual do sistema de gestão, ou seja, através da entrada de dados relativos à gestão actual dos RSU é possível visualizar graficamente o destino actual dos resíduos, o desempenho ambiental do sistema e os custos de exploração e proveitos associados ao estado actual de gestão.

Este cenário é apenas uma aplicação dos valores adoptados na Tabela 10.7 pelo que nenhuma tentativa de resolução do sistema linear é realizada.

, Cenário 1

Neste cenário pretende-se gerir os resíduos utilizando as tecnologias com maior aproveitamento dos materiais neles presentes.

Neste sentido é apontada como primeira opção a reciclagem material, seguida de digestão anaeróbia, compostagem, incineração e como destino final o aterro.

A reciclagem obtém-se através de um conjunto de tecnologias que alteram o resíduo de modo a ser facilmente utilizado pela sociedade. Esta opção permite diminuir o consumo de matérias-primas e aproveitar os materiais já existentes nos resíduos, pelo que deve ser considerada antes das outras.

A valorização orgânica constitui uma forma de reciclagem da matéria biodegradável, pelo que deve ser adoptada como primeira opção para a matéria orgânica presente nos RSU. As opções alternativas adoptadas são a compostagem e a digestão anaeróbia. Com base no descrito em 4.2.1 e 4.2.2, a digestão anaeróbia deve escolher-se em detrimento da compostagem devido a um melhor aproveitamento material do resíduo, isto é, pressupõe-se que a digestão anaeróbia permite obter dois produtos: um digerido, que pode ser aplicável no solo e energia em forma de electricidade, enquanto que a compostagem permite apenas obter o composto aplicável no solo.

A incineração é adoptada a seguir à compostagem uma vez que recupera energia da combustão dos resíduos. Porém, embora seja neutra em termos de CH₄, implica maiores perdas no ciclo de renovação dos materiais e recursos naturais.

Como tecnologia de gestão final é adoptada a eliminação dos resíduos por deposição em aterro uma vez que não permite a valorização de materiais (pode haver recuperação de biogás, porém não considerada).

Assim, pode afirmar-se que este cenário contempla apenas a ordenação por tecnologia preferencial, o que é traduzida na função objectivo representada pela expressão 10.8, na qual se introduzem factores de ponderação de 5, 4, 3, 2 e 1, respectivamente para a reciclagem material, digestão anaeróbia, compostagem, incineração com recuperação de energia e deposição controlada.

$$FObj_1 = MAX \left(5 \times \sum_{i=IN1}^{SE9} X_{i,1} + 4 \times \sum_{i=IN1}^{SE9} X_{i,2} + 3 \times \sum_{i=IN1}^{SE9} X_{i,3} + 2 \times \sum_{i=IN1}^{SE9} X_{i,4} + \sum_{i=IN1}^{SE9} X_{i,5} \right) \quad (10.8)$$

, Cenário 2

Este cenário foi elaborado no sentido de responder aos requisitos mínimos do disposto nos documentos legais nacionais sobre a deposição em aterro e a gestão de embalagens e resíduos de embalagens. Matematicamente tal pode ser traduzido como a diminuição da distância entre o vector obtido e o vector imposto por lei. A melhor forma de conseguir este resultado mantendo o sistema de equações linear, é subtraindo os vectores e forçando a maximização do simétrico do valor resultante. Como a legislação aplicada só restringe o destino de RSU de embalagens e a quantidade de resíduos urbanos biodegradáveis com destino a aterro, é necessário definir coeficientes que, de alguma forma, cubram as restantes variáveis. Para este efeito foi usada a equação aplicada no Cenário 1 como função objectivo, que procede a uma selecção com base na escolha

tecnológica, pelo que, efectivamente, este cenário tem os dois tipos de condicionantes e não somente o de base legal. No entanto salienta-se que, de forma a dar prioridade à optimização prevista para este cenário em detrimento da optimização por tecnologia, os coeficientes associados foram incrementados em duas ordens de magnitude.

A função objectivo toma então a seguinte forma simplificada:

$$FObj_2 = \text{MAX} \left\{ \begin{array}{l} 100 \times \frac{\hat{A} M_{RUB_{\text{com destino a aterro}}} - }{M_{RSU}} - \\ -100 \times \frac{\sum (\text{RSU}_{\text{Embalagens}}) / \sum (\text{RSU}_{\text{Embalagens com destino a aterro}})}{\hat{A}(\text{RSU}_{\text{Embalagens}})} - \\ -100 \times \frac{\hat{A}(\text{RSU}_{\text{Embalagens efectivamente recicladas}})}{\hat{A}(\text{RSU}_{\text{Embalagens}})} - \\ -100 \times \hat{A} \left(\frac{\text{RSU}_{\text{Embalagens efectivamente recicladas de tipo } i}}{\text{RSU}_{\text{Embalagens de tipo } i}} \right) - \\ 5 \times \sum_{i=IN1}^{SE9} X_{i,1} + 4 \times \sum_{i=IN1}^{SE9} X_{i,2} + 3 \times \sum_{i=IN1}^{SE9} X_{i,3} + 2 \times \sum_{i=IN1}^{SE9} X_{i,4} + \sum_{i=IN1}^{SE9} X_{i,5} \end{array} \right\} \quad (10.9)$$

A primeira parcela corresponde ao somatório dos elementos do vector de restrições legislativas relativos à quantidade de resíduos biodegradáveis encaminhados para aterros. A segunda parcela corresponde à quantidade de embalagens nos RSU que é efectivamente valorizado, relação que é obtida subtraindo a parcela de embalagens nos RSU que é encaminhada para aterro ao total de embalagens nos RSU e dividindo por este último valor. Na terceira parcela é contabilizada a percentagem de embalagens efectivamente recicladas de forma a minimizar a distância ao mínimo legislativo em vigor. A quarta parcela corresponde à soma das percentagens individuais dos materiais recicláveis nos RSU de forma a minimizar a distância para o mínimo legislativo de 15% em vigor para cada material. Por fim, a última parcela corresponde à selecção tecnológica como implementada no cenário anterior e usada pelos motivos já citados.

$$\left. \begin{aligned}
 & \left(100 \times * X_{IN1,4} + X_{IN3,4} + X_{IN7,4} + X_{IN8,4} + X_{IE3,4} + \right. \\
 & \left. + X_{IE8,4} + X_{SN1,4} + X_{SN3,4} + X_{SN8,4} + X_{SE3,4} + X_{SE8,4} \right) - \\
 & -100 \times \frac{\sum_{i=1}^{SE9} RSU_{Ei} / \sum_{i=1}^{SE9} X_{Ei,5}}{\hat{\mathbf{A}}_{i?1} RSU_{Ei}} - \\
 & FObj_2 ? MAX \quad \frac{\hat{\mathbf{A}}_{i?1} X_{Ei,1} \times (1 - \text{Re } j_R) \times (1 - \text{Re } f_R)}{\hat{\mathbf{A}}_{i?1} RSU_{Ei}} - \\
 & -100 \times \hat{\mathbf{A}}_i \frac{(X_{Ei,1} \times (1 - \text{Re } j_R) \times (1 - \text{Re } f_R))}{RSU_{Ei}} - \\
 & \left. + 5 \times \sum_{i=IN1}^{SE9} X_{i,1} + 4 \times \sum_{i=IN1}^{SE9} X_{i,2} + 3 \times \sum_{i=IN1}^{SE9} X_{i,3} + 2 \times \sum_{i=IN1}^{SE9} X_{i,4} + \sum_{i=IN1}^{SE9} X_{i,5} \right) \\
 \end{aligned} \right\} \quad (10.10)$$

, Cenário 3

Neste cenário considerou-se a optimização do desempenho ambiental do sistema, o que considera a produção de Gases com Efeito de Estufa (GEE), os lixiviados e o volume ocupado em aterro. A função objectivo é obtida pela minimização da quantidade de gases com efeito de estufa produzidos pelas tecnologias consideradas e pelo transporte de resíduos, não sendo efectuada qualquer optimização da quantidade de lixiviados produzidos e do volume ocupado pela deposição de resíduos em aterro. Nesta equação assume-se que, no cálculo dos gases com efeito de estufa, 1 kg de metano (CH_4) tem o mesmo efeito que 21 kg de dióxido de carbono (CO_2). Da mesma forma considera-se que 1 kg de óxido de azoto (N_2O) tem o mesmo efeito que 310 kg de dióxido de carbono (CO_2).

Para este cenário aplicam-se as restrições legislativas sem, no entanto, ser tentada a sua minimização.

A função objectivo é basicamente traduzida pela seguinte expressão:

$$FObj_3 = MAX(-\hat{\mathbf{A}}(\text{Gases com efeito estufa})) \quad (10.11)$$

Esta equação pode ser expressa da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 & -M_{RSU} \times 21 \times E_{DA,CH_4} + E_{DA,CO_2} + 310 \times E_{DA,N_2O} + X_{i,2} \times (1 - Re j_{DA}) \times (1 - Re f_{DA}) - \\
 & -M_{RSU} \times 21 \times E_{C,CH_4} + E_{C,CO_2} + 310 \times E_{C,N_2O} + X_{i,3} \times (1 - Re j_C) \times (1 - Re f_C) - \\
 & -M_{RSU} \times 21 \times E_{I,CH_4} + E_{I,CO_2} + 310 \times E_{I,N_2O} \times \\
 & \cdot \left[(X_{i,4} + X_{i,1} \times Re j_R + X_{i,2} \times Re j_{DA} + X_{i,3} \times Re j_C) \times (1 - Re j_I) + \right. \\
 & \quad - X_{i,1} \times (1 - Re j_R) \times Re f_R + \\
 & \quad + X_{i,2} \times (1 - Re j_{DA}) \times Re f_{DA} + \\
 & \quad \left. + X_{i,3} \times (1 - Re j_C) \times Re f_C \right] \cdot (1 - Re f_I) - \\
 & -M_{RSU} \times 21 \times E_{A,CH_4} + E_{A,CO_2} + 310 \times E_{A,N_2O} \times \\
 & \cdot \left[X_{i,5} + (X_{i,4} + X_{i,1} \times Re j_R + X_{i,2} \times Re j_{DA} + X_{i,3} \times Re j_C) \times Re j_I + \right. \\
 & \quad \left[(X_{i,4} + X_{i,1} \times Re j_R + X_{i,2} \times Re j_{DA} + X_{i,3} \times Re j_C) \times (1 - Re j_I) - \right. \\
 & \quad + X_{i,1} \times (1 - Re j_R) \times Re f_R + \\
 & \quad + X_{i,2} \times (1 - Re j_{DA}) \times Re f_{DA} + \\
 & \quad \left. \left. + X_{i,3} \times (1 - Re j_C) \times Re f_C \right] \cdot Re f_I \right] / \\
 FObj_3 ? MAX & -M_{RSU} \times 21 \times E_{A,CH_4} + E_{A,CO_2} + 310 \times E_{A,N_2O} \times \frac{Efic_{veiculo}}{20} \times \\
 & \cdot \left[X_{3,1} \times (1 - Re j_R) \times km_{triagem/Rpapel} + \right. \\
 & \quad + X_{4,1} \times (1 - Re j_R) \times km_{triagem/Rplasticos} - \\
 & \quad + X_{5,1} \times (1 - Re j_R) \times km_{triagem/Rvidro} + \\
 & \quad + X_{6,1} \times (1 - Re j_R) \times km_{triagem/Rmetais} + \\
 & \quad + X_{8,1} \times (1 - Re j_R) \times km_{triagem/Rmadeira} + \\
 & \quad + [X_{i,2} \times (1 - Re j_{DA}) \times km_{triagem/DA}] + \\
 & \quad + [X_{i,3} \times (1 - Re j_C) \times km_{triagem/C}] + \\
 & \quad + [(X_{i,4} + X_{i,1} \times Re j_R + X_{i,2} \times Re j_{DA} + X_{i,3} \times Re j_C) \times (1 / Re j_I) \times km_{triagem/I}] + \\
 & \quad \left. + [X_{i,5} + (X_{i,4} + X_{i,1} \times Re j_R + X_{i,2} \times Re j_{DA} + X_{i,3} \times Re j_C) \times Re j_I \times km_{triagem/A}] \right]
 \end{aligned} \tag{10.12}$$

em que $E_{destino,gás}$ é o valor do factor de emissão de cada gás produzido num determinado destino, $km_{triagem-destino}$ representa os km percorridos desde a estação de triagem até ao destino em estudo, $Efic_{veiculo}$ traduz a eficiência média dos veículos de transporte utilizados, e, por fim, $Rej_{destino}$ e $Ref_{destino}$ são os factores de rejeição e refugo de cada material para o destino em causa, respectivamente.

, Cenário 4

O cenário 4 é caracterizado pela optimização dos custos económicos associados ao sistema de gestão.

Para este cenário aplicam-se uma vez mais as restrições legislativas sem, no entanto, ser efectuada a sua minimização.

$$FObj_4 \rightarrow MAX \left(\frac{\sum^* \text{Rendimentos da SPV} + \sum^* \text{Venda de Energia} +}{\sum \text{ Venda de Composto/Digerido} / \sum \text{ Custos de Exploração}} \right) \quad (10.12)$$

Os custos de investimentos não são utilizados na optimização do sistema porque a sua aplicação é susceptível e dependente dos factores enumerados em 9.2.

A expressão 10.12 pode ser escrita da seguinte forma:

$$\begin{aligned}
 & M_{RSU} \times X_{3,1} \times (1 - Re j_R) \times SPV_{Papel} + M_{RSU} \times X_{4,1} \times *1 - Re j_R + \times SPV_{Plastico} + \\
 & + M_{RSU} \times X_{5,1} \times (1 - Re j_R) \times SPV_{Vidro} + M_{RSU} \times X_{6,1} \times (1 - Re j_R) \times SPV_{Metais} + \\
 & + M_{RSU} \times X_{8,1} \times (1 - Re j_R) \times SPV_{Madeira} + \\
 & + M_{RSU} \times X_{i,2} \times (1 - Re j_{DA}) \times (V_{digerido} \times P_{digerido} - G_{DA} + V_{energia}) + \\
 & - M_{RSU} \times X_{i,3} \times (1 - Re j_C) \times (V_{composto} \times P_{composto} - G_C) + \\
 & \left[(X_{i,4} + X_{i,1} \times Re j_R + X_{i,2} \times Re j_{DA} + X_{i,3} \times Re j_C) \times (1 - Re j_I) + \right. \\
 & \left. + X_{i,1} \times (1 - Re j_R) \times Re f_R + X_{i,2} \times (1 - Re j_{DA}) \times Re f_{DA} + \right] \times (V_{energia} - G_I) + \\
 & \left. + X_{i,3} \times (1 - Re j_C) \times Re f_C \right] \\
 & \left[X_{i,5} + (X_{i,4} + X_{i,1} \times Re j_R + X_{i,2} \times Re j_{DA} + X_{i,3} \times Re j_C) \times Re j_I + \right. \\
 & \left. + \left((X_{i,4} + X_{i,1} \times Re j_R + X_{i,2} \times Re j_{DA} + X_{i,3} \times Re j_C) \times (1 - Re j_I) + \right. \right. \\
 & \left. \left. + X_{i,1} \times (1 - Re j_R) \times Re f_R + X_{i,2} \times (1 - Re j_{DA}) \times Re f_{DA} + \right) \times Re f_I \right] \times (-G_A) - \\
 & - M_{RSU} \times G_{Diesel} \times \frac{Eftc_{veiculo}}{20} \times \\
 & \left[X_{3,1} \times (1 - Re j_R) \times km_{triagem-Rpapel} + X_{4,1} \times (1 - Re j_R) \times km_{triagem-Rplasticos} + \right. \\
 & \left. + X_{5,1} \times (1 - Re j_R) \times km_{triagem-Rvidro} + X_{6,1} \times (1 - Re j_R) \times km_{triagem-Rmetais} + \right. \\
 & \left. + X_{8,1} \times (1 - Re j_R) \times km_{triagem-Rmadeira} + \left[X_{i,2} \times (1 - Re j_{DA}) \times km_{triagem-DA} \right] + \right. \\
 & \left. + \left[X_{i,3} \times (1 - Re j_C) \times km_{triagem/C} \right] + \right. \\
 & \left. + \left[(X_{i,4} + X_{i,1} \times Re j_R + X_{i,2} \times Re j_{DA} + X_{i,3} \times Re j_C) \times (1 - Re j_I) \times km_{triagem/I} \right] + \right. \\
 & \left. + \left[X_{i,5} + (X_{i,4} + X_{i,1} \times Re j_R + X_{i,2} \times Re j_{DA} + X_{i,3} \times Re j_C) \times Re j_I \times km_{triagem/A} \right] \right]
 \end{aligned} \tag{10.13}$$

sendo $G_{destino}$ os custos de exploração de cada destino, G_{diesel} o custo do combustível do veículo de transporte, $V_{produto}$ o valor da venda do produto (energia, composto) e $SPV_{material}$ a contrapartida financeira obtida pela venda dos materiais em causa para a SPV .

11 Software de Gestão

Neste trabalho foi elaborado um programa de gestão de resíduos sólidos urbanos, o qual é apresentado num CD que segue em Anexo a este documento.

Este programa é uma ferramenta que pretende contribuir para ajudar um gestor de RSU nas suas decisões, colocando à sua disposição um simulador de cenários baseados em várias alternativas de gestão.

11.1 Âmbito de Aplicação

O presente *software* foi criado no sentido de responder às necessidades básicas de utilização de um programa simples para a gestão de RSU. Através da introdução de um conjunto de valores ou utilizando os valores por defeito incluídos no programa, é possível definir o destino dos resíduos, os custos e as implicações associadas. Este programa constitui, desta forma, uma ferramenta de apoio à decisão na gestão de RSU.

Neste programa são utilizadas as expressões apresentadas no capítulo anterior.

11.2 Ferramentas Utilizadas

Esta aplicação foi desenvolvida utilizando o *Microsoft Visual Studio .Net® 2002*. Esta ferramenta é a plataforma de desenvolvimento integrada *Microsoft®* para aplicações e contém um editor de código, editor de diálogos, compilador e depurador. Para simplificar e acelerar o desenvolvimento do interface gráfico desta aplicação foram usadas as Microsoft Foundation Classes (MFC).

A linguagem de programação usada no desenvolvimento do programa foi a linguagem C++.

11.3 Requisitos do Programa

O programa requer um processador i386 compatível a correr Microsoft Windows 95/98/NT/ME/XP. No mínimo, é aconselhável um processador da classe Pentium com 16

Mb de RAM e Internet Explorer 4. É também necessário que o computador esteja equipado com a livraria mschrt20.ocx.

11.4 Estrutura de Construção

A janela principal do programa encontra-se dividida em ícones de acesso às janelas posteriores servindo de interface entre as diversas opções do programa. A Figura 11.1 permite visualizar este interface gráfico.

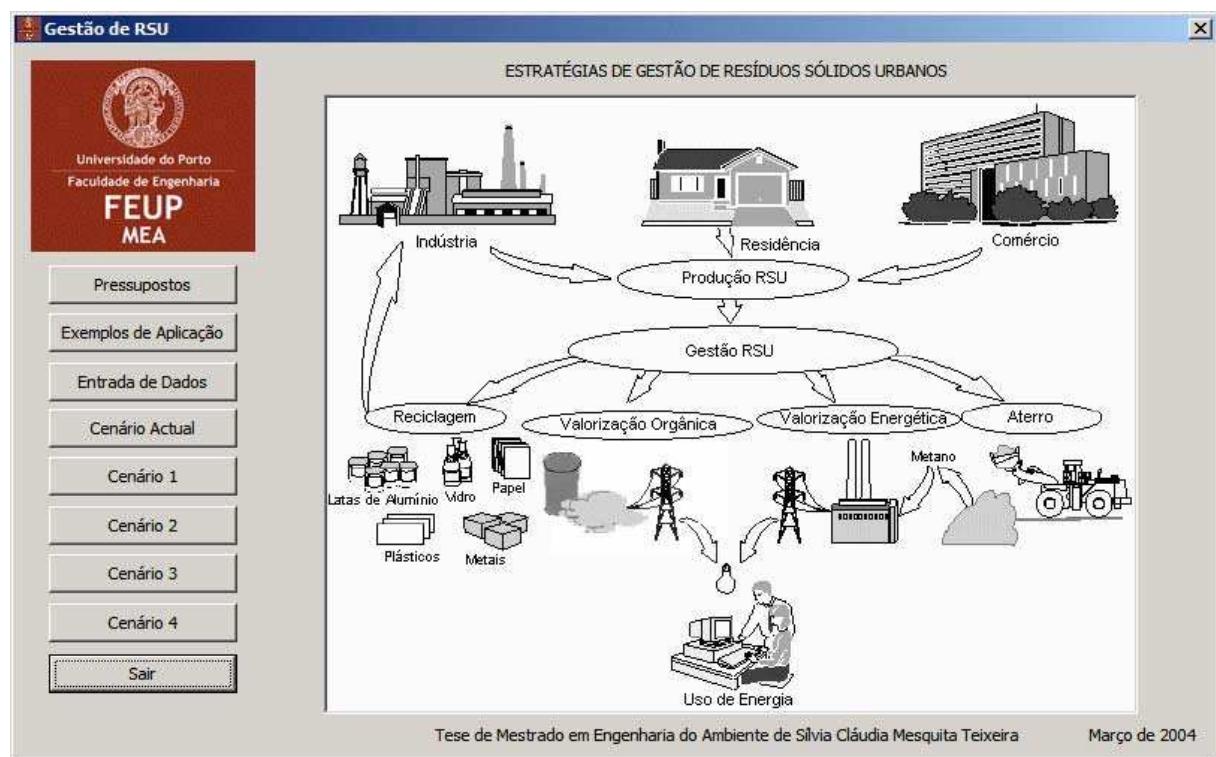


Figura 11.1 Interface principal do programa de gestão

11.4.1 Pressupostos

A janela de pressupostos do programa permite informar o utilizador sobre os princípios básicos em que o programa assenta, indicando também quais os seus outputs.

Os pressupostos existentes correspondem aos indicados em 10.1.

Todas as janelas referentes à introdução de dados e apresentação de resultados apresentam sub-menus de ajuda no sentido de melhor explicar os conceitos associados.

11.4.2 Exemplos de Aplicação

Esta janela permite orientar o utilizador através da apresentação de alguns exemplos de aplicação, servindo como um primeiro demonstrador das possibilidades de manuseamento do programa.

Com estes exemplos pretende-se que o utilizador se familiarize com o programa tendo em conta a utilização dos dados usados por defeito pelo programa, apresentando também formas alternativas de preenchimento dos vários campos existentes, de modo a melhor adaptar o programa ao problema que o utilizador pretenda resolver.

11.4.3 Entrada de dados

Na Entrada de Dados é solicitada a digitação do ano a que se referem os dados a analisar, bem como a selecção do ano legislativo alvo, referente aos coeficientes legislativos aplicados a todos os cenários. É também permitido o acesso a sub-janelas para alterar parâmetros específicos de campos, tais como a composição dos RSU, a escolha de destinos, o destino actual, o sistema de transporte e os factores de desempenho económico e desempenho ambiental, que serão descritos nos parágrafos seguintes.

Todas as sub-janelas existentes permitem que o utilizador interaja activamente com o programa no sentido de tirar dele o maior proveito profissional e tecnológico.

Se o utilizador não desejar introduzir os dados solicitados serão utilizados os valores constantes do programa que serão usados por defeito. Se pretender modificar e aplicar as alterações ao programa deverá usar o botão “*Usar Alterações*”.

11.4.3.1 Composição dos RSU

Nesta janela pode encontrar-se um conjunto de campos que devem ser preenchidos pelo utilizador de forma a reflectirem a realidade do sistema que se pretende estudar.

Este menu encontra-se dividido em três secções: a primeira apresenta o total de resíduos produzidos, a segunda os resíduos recolhidos selectivamente e a terceira os resíduos recolhidos indiferenciadamente.

Ao utilizador é solicitado o preenchimento dos campos da primeira secção relativos à composição da produção total de RSU fragmentada por tipo de material, e da segunda secção relacionada com os resíduos recolhidos selectivamente. O programa obtém na terceira secção a quantidade de RSU indiferenciados, facto que pode ser útil quando se sabe apenas a quantidade de resíduos produzidos e a quantidade recolhida selectivamente por material. Esta secção é alterada automaticamente aquando do preenchimento das restantes, por subtracção, em cada material, do valor de produção de RSU ao valor de recolha selectiva.

Os dados utilizados por defeito são respeitantes à composição média dos RSU em Portugal, pelo que isso pode ser desadequado à realidade existente num pequeno município do interior do País ou outro qualquer, sendo aconselhada a utilização de dados de caracterização existentes sobre a região em estudo.

Para evitar alguns erros de digitação, é possível visualizar o total de RSU introduzido nos campos desta janela, permitindo assim a verificação dos valores inseridos.

Os resíduos de embalagens são considerados valores independentes dos restantes resíduos inseridos pelo que são contabilizados em conjunto com os restantes.

11.4.3.2 Escolha de Destinos

Por razões geográficas, de produção de resíduos, entre outras, nem sempre é económico viável a utilização de várias tecnologias de tratamento dos resíduos de uma determinada região, pelo que poderá haver necessidade de adoptar algumas tecnologias em detrimento de outras.

Esta janela permite escolher os destinos a que o utilizador pretende recorrer na gestão dos seus resíduos. Neste menu, é dada a hipótese de selecção da Compostagem, Digestão Anaeróbia e Incineração, podendo estas serem escolhidas em conjunto ou separadamente. Para efeitos de cumprimento da legislação o programa tem activada a hipótese de reciclagem e deposição em aterro.

11.4.3.3 Destino Actual

O preenchimento desta janela serve apenas para realizar a comparação entre a realidade actual do sistema e a solução encontrada por este programa. Desta forma, é

possível obter um índice de desvio entre o valor calculado e o ideal que poderá ser aplicado para corrigir eventuais variações.

Quando aberta, a janela apresenta um determinado destino dos resíduos declarados na janela de *Composição de RSU*. No entanto, é permitida a modificação de valores para outros que o utilizador julgue serem mais convenientes, de modo a que o somatório dos valores introduzidos nos vários destinos seja igual ao total de resíduos produzidos, caso contrário é visualizada uma mensagem de erro.

11.4.3.4 Desempenho dos Processos

Nesta janela são encontrados os indicadores de desempenho usados para descrever a percentagem de material rejeitado na triagem quando direcionado para um determinado processo de tratamento, os quais são encaminhados para incineração e desta para deposição em aterro. São também apresentados os refugos obtidos em cada tecnologia de tratamento.

Este menu apresenta um campo de escolha de destinos aos quais se encontra associada a rejeição na triagem, que permite aceder a outros campos a partir dos quais é possível visualizar e alterar os valores existentes.

11.4.3.5 Sistema de Transporte

Para determinar o desempenho do sistema de transporte a nível económico e ambiental, bem como avaliar as várias hipóteses existentes, deve ter-se dados relativos ao transporte dos RSU na região em estudo.

Nesta janela é solicitada a introdução de dados que traduzam de forma sucinta as particularidades do sistema de transporte, conforme posteriormente ilustrado no exemplo de aplicação deste documento.

Este menu apresenta a possibilidade de preenchimento do total de quilómetros percorridos segundo algumas etapas associadas à gestão dos RSU, ou seja, recolha, armazenamento numa estação de transferência e separação numa estação de triagem. Por outro lado, é solicitada a introdução de valores associados aos quilómetros percorridos por viagem entre a estação de triagem e os vários destinos considerados pelo programa.

Quando a estação de triagem se encontra no local de destino, este campo refere-se à distância entre a etapa anterior e o destino pretendido.

11.4.3.6 Indicadores Económicos

Nesta opção de inserção de dados são solicitadas as informações relativas a custos e proveitos operacionais das diversas tecnologias adoptadas. Estes campos são apresentados ao utilizador com o intuito de permitirem a actualização para valores dentro do contexto do sistema em estudo. No entanto, se este o desejar, pode optar por não preencher os campos, levando a que o programa utilize os valores disponíveis por defeito.

O menu de Ajuda, para além de permitir tirar algumas dúvidas, apresenta exemplos de resolução alternativos que poderão ser aplicados tendo em conta o preenchimento dos mesmos campos de modo a facilitar a adequação ao problema em causa.

11.4.3.7 Indicadores Ambientais

Neste menu é permitida a entrada de valores relativos à eficiência dos processos, os quais são usados na implementação das tecnologias adoptadas, sendo considerado o preenchimento das emissões de gases que contribuem para o efeito de estufa, dos lixiviados produzidos e do volume ocupado pelos resíduos em aterro.

O valor relativo à produção de lixiviados a inserir nestes campos deve reflectir o volume final resultante do processo de tratamento, sendo excluída a parcela usada para realizar a recirculação nas unidades de forma a garantir o teor de humidade dos processos.

11.4.4 Método de Optimização de Sistemas Lineares

A programação linear visa fundamentalmente encontrar a melhor solução para os problemas representados por expressões lineares. Esta programação consiste na maximização ou minimização de uma função linear, denominada por função objectivo, tendo em consideração um sistema linear de igualdades ou desigualdades mais correntemente denominadas por restrições do modelo matemático em causa. Estas restrições representam

limitações de recursos, exigências ou condições a serem cumpridas na resolução do problema. A resolução do problema é traduzida pela determinação da solução óptima.

De uma forma sumária, pode referir-se que as principais características da programação linear baseiam-se nos seguintes pressupostos:

- As variáveis de decisão são não-negativas;
- A função objectivo é uma função linear das variáveis de decisão, envolvendo apenas as primeiras potências, não existindo produtos cruzados entre elas;
- As restrições são expressas segundo um conjunto de equações ou inequações lineares.

Uma das principais propriedades na qual o método *simplex* se baseia para a resolução de problemas lineares é encontrar, no mínimo, a solução óptima num dos pontos extremos de um poliedro convexo¹¹ que represente as soluções admissíveis do problema. Desta forma, para determinar a solução óptima, basta analisar os pontos extremos do conjunto das soluções admissíveis [43].

Na maior parte das vezes a resolução de problemas de programação linear é feita algebricamente, embora esta possa ser efectuada graficamente. No entanto, a resolução gráfica só é viável quando se utilizam apenas duas ou três variáveis. A grande quantidade de variáveis nos sistemas de programação linear pode comprometer a facilidade de resolução algébrica do problema pelo que, na maior parte dos casos, tem vindo a ser adoptado o método *simplex*. Este método é um algoritmo sequencial de optimização que pode ser empregado na maximização e na minimização de funções e cujo objectivo se baseia na determinação do óptimo de um problema de programação linear.

Um problema *simplex* pode ser visualizado graficamente como uma figura geométrica com n dimensões, constituído por $n+1$ pontos. Cada dimensão corresponde a uma variável a ser optimizada. Um *simplex* de duas dimensões é similar a um triângulo, em três dimensões é um tetraedro e assim sucessivamente. O método *simplex* pode ser aplicado, teoricamente, para a optimização de qualquer número de variáveis.

O método *Simplex*, introduzido por *Spendley, Hext e Hinsworth*, em 1962, requer poucas tentativas para se deslocar na direcção do ponto óptimo. Este método tem sofrido algumas modificações que obrigaram à modificação do mesmo, sendo o método *Simplex* original denominado por Método *Simplex* Básico (MSB).

¹¹ conjunto fechado definido pela intersecção de um n.º finito de semi-espacos fechados [43]

O procedimento de optimização, no método *Simplex*, inicia-se pela escolha dos $n+1$ pontos onde deverá ser efectuada a avaliação da resposta. A Figura 11.2 apresenta um exemplo de uso do *simplex*, para o qual a optimização começa com os pontos A, B e C. Estes pontos formam um triângulo e através da análise da figura pode verificar-se que o ponto A tem a pior resposta dos restantes três. Uma vez que o ponto D, oposto ao ponto A, é o que apresenta melhor resposta, o *simplex* desloca-se em direcção ao ponto D, sendo efectuada em seguida uma nova iteração no ponto D, que forma com os pontos B e C um novo *simplex*. Este procedimento é repetido sucessivamente, sendo sempre eliminada a pior solução. Desta forma, pode afirmar-se que o objectivo deste método sequencial é forçar o *simplex* a deslocar-se para o ponto óptimo determinando assim a solução óptima do problema.

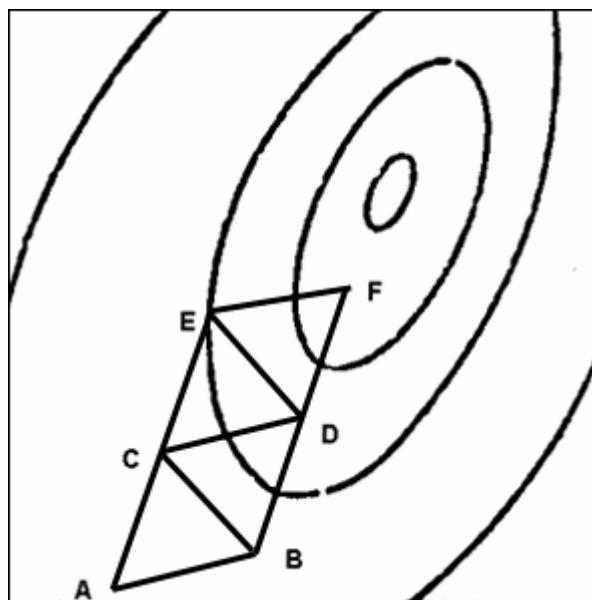


Figura 11.2 Forma de resolução gráfica do método *simplex* [44]

A aplicação deste método implica que o problema seja apresentado na forma normalizada e que as equações usadas sejam expressas num sistema canónico, que permita obter com facilidade a solução óptima admissível. Em alguns casos pode verificar-se a necessidade de introduzir novas variáveis no sistema (variáveis artificiais) que pretende-se que saiam posteriormente, de modo a retomar a solução normal.

Para a resolução dos problemas de optimização formulados optou-se por recorrer à resolução do problema através da aplicação do algoritmo *simplex* às expressões anteriormente apresentadas.

11.4.5 Apresentação de Resultados

A apresentação dos resultados é efectuada usando uma estrutura idêntica para todos os cenários considerados. Nesta estrutura pode encontrar-se cinco agrupamentos de resultados.

No primeiro agrupamento pode ser encontrada a distribuição de resíduos nas várias tecnologias, antes de ser efectuada a triagem dos materiais.

No segundo agrupamento é apresentada a distribuição de resíduos à entrada de cada processo de tratamento, após ser efectuada a triagem, sendo obtida para o cenário seleccionado.

No terceiro agrupamento é apresentada a relação entre os materiais destinados à reciclagem.

No quarto agrupamento podem ser encontrados os indicadores relativos ao desempenho ambiental do sistema que está a ser analisado. No gráfico correspondente a este agrupamento, são apresentados, a título indicativo, os valores totais de emissão de gases com efeito de estufa, lixiviados e o volume de ocupação em aterro. Este gráfico é normalizado pelo majorante dos valores obteníveis para os diferentes indicadores ambientais.

No agrupamento final são apresentados diversos factores económicos elaborados de uma forma sucinta e que tentam dar uma ideia da grandeza dos custos operacionais envolvidos no sistema de gestão de RSU. Os custos de triagem são considerados como sendo comuns para todas as tecnologias, devido ao facto de anteciparem e servirem de sistema de apoio às tecnologias de tratamento e eliminação posteriores. Os custos de transporte são dependentes das características da região de recolha, do percurso efectuado, entre outras razões já enumeradas neste documento. O gráfico correspondente a este agrupamento permite visualizar o balanço económico para cada tecnologia adoptada.

11.5 Exemplo de Aplicação

O exemplo de aplicação usado neste documento baseia-se na utilização de dados referentes à composição de RSU em 2005, supondo que cerca de 70% dos resíduos são indiferenciados e os restantes são recolhidos selectivamente.

Na Figura 11.3 é apresentada a janela principal de entrada de dados, na qual foi inserido o ano actual a que respeita o sistema em estudo e seleccionado o ano de 2006 como o ano de aplicação da Directiva “Aterros”, embora neste campo se possa seleccionar os anos 2009 e 2016.

Cada botão de acesso a outras sub-janelas é constituído pelo título e pela informação indicada lateralmente do respectivo conteúdo.

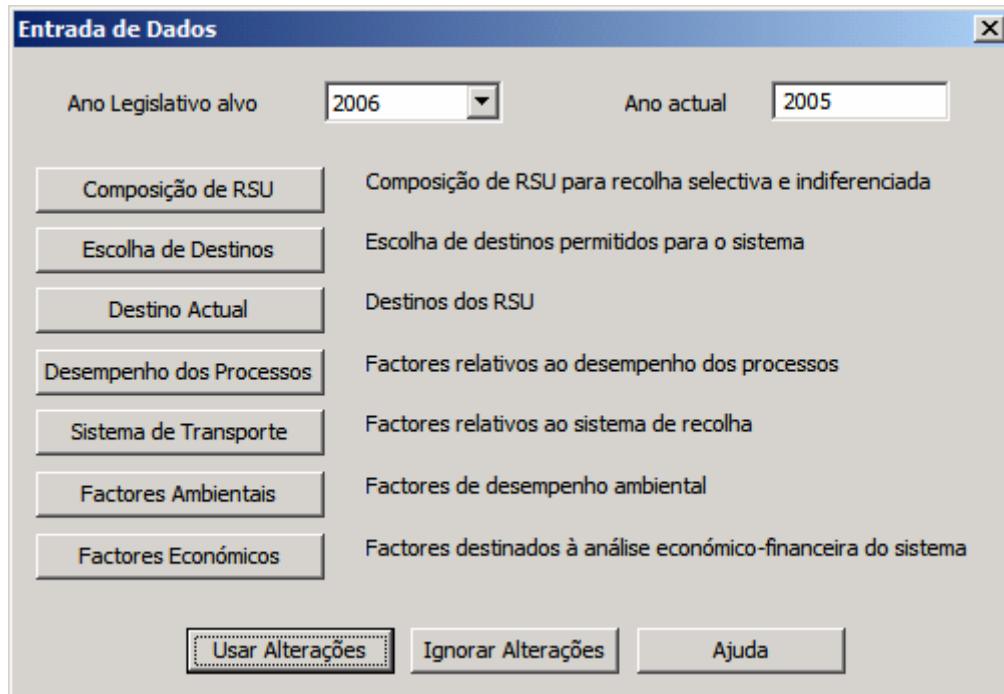


Figura 11.3 Interface principal de entrada de dados

A Figura 11.4 apresenta a composição dos RSU tendo em conta a produção total e os provenientes da recolha selectiva e da recolha indiferenciada.

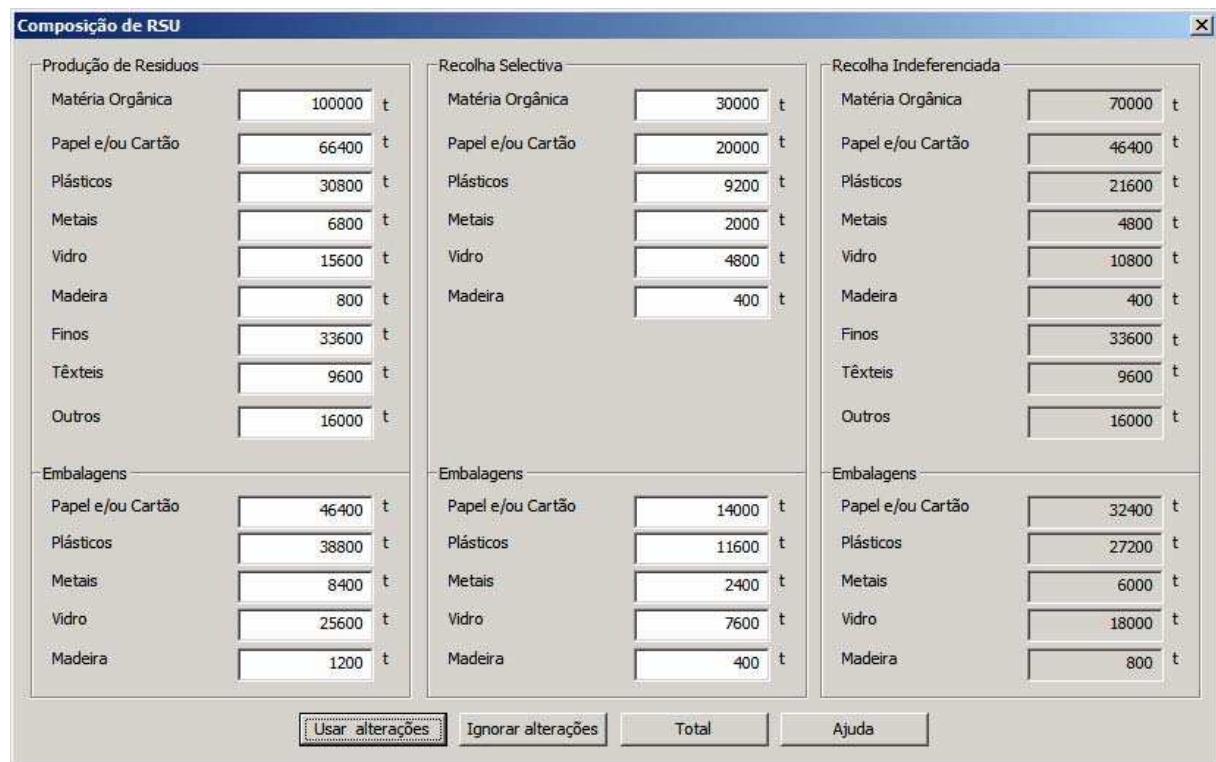


Figura 11.4 Janela para entrada de dados sobre a composição dos RSU

A janela que permite efectuar a escolha dos destinos adoptados no programa apresenta-se na Figura 11.5.

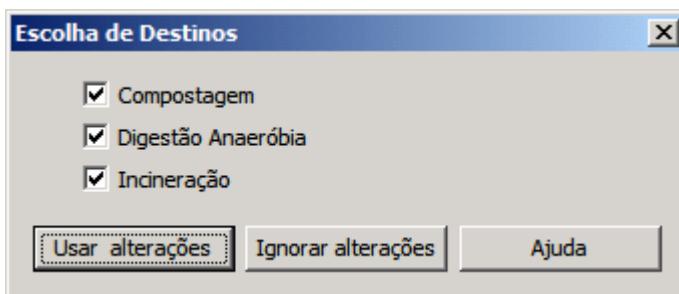


Figura 11.5 Janela de opção para escolha de destinos

Para efeitos de análise do Cenário Actual considera-se que no caso em questão, o encaminhamento dos resíduos tem duas vertentes, respectivamente a reciclagem e a deposição em aterro, conforme se mostra na Figura 11.6.

Esta Figura apresenta uma distribuição automática dos dados introduzidos na janela de *Composição de RSU*, consoante o indicado na Figura 11.4.

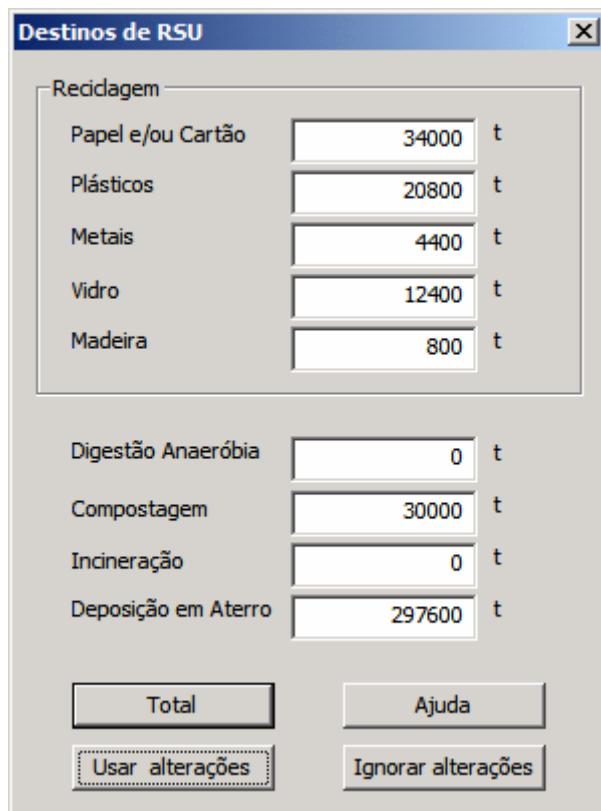


Figura 11.6 Entrada de dados relativos ao destino actual dos resíduos

O desempenho dos processos existentes pode ser modificado alterando os valores apresentados por defeito no programa. Através da selecção do destino pretendido visualizam-se vários campos numa mesma janela correspondente a esse destino, conforme se apresenta nas Figuras 11.7 a 11.10.

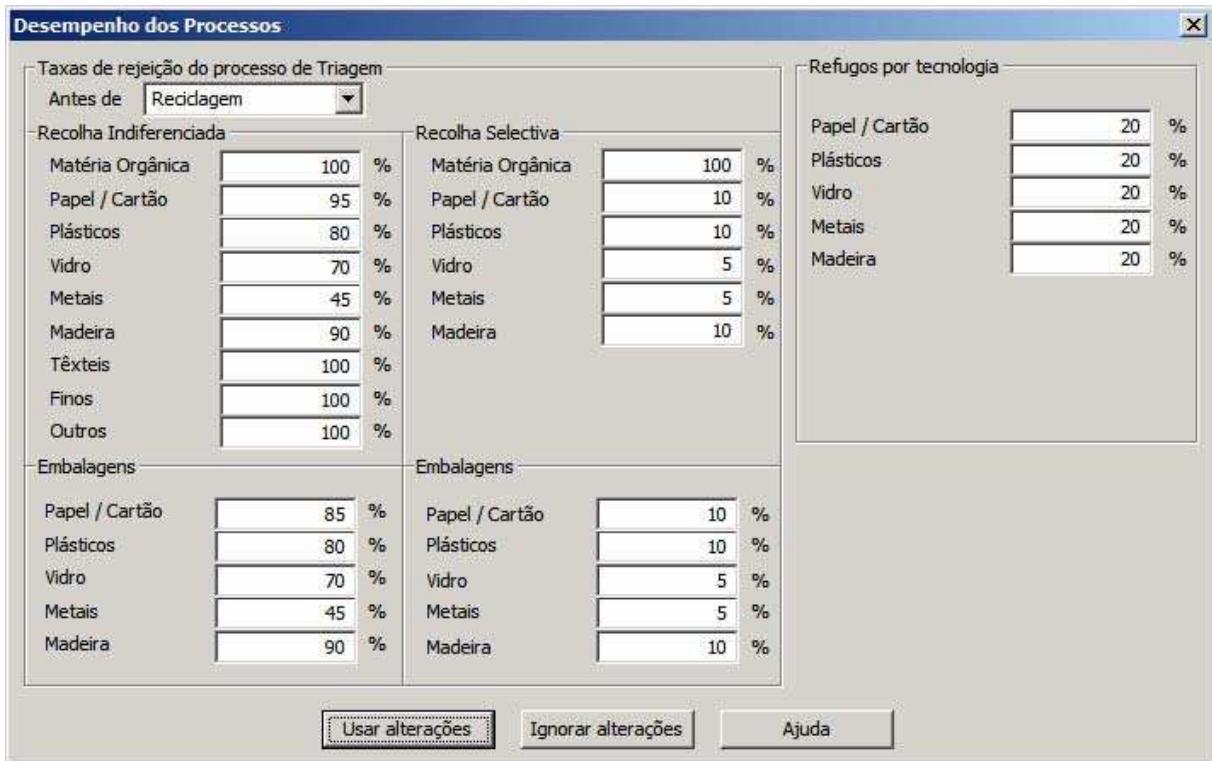


Figura 11.7 Desempenho dos processos de reciclagem por material

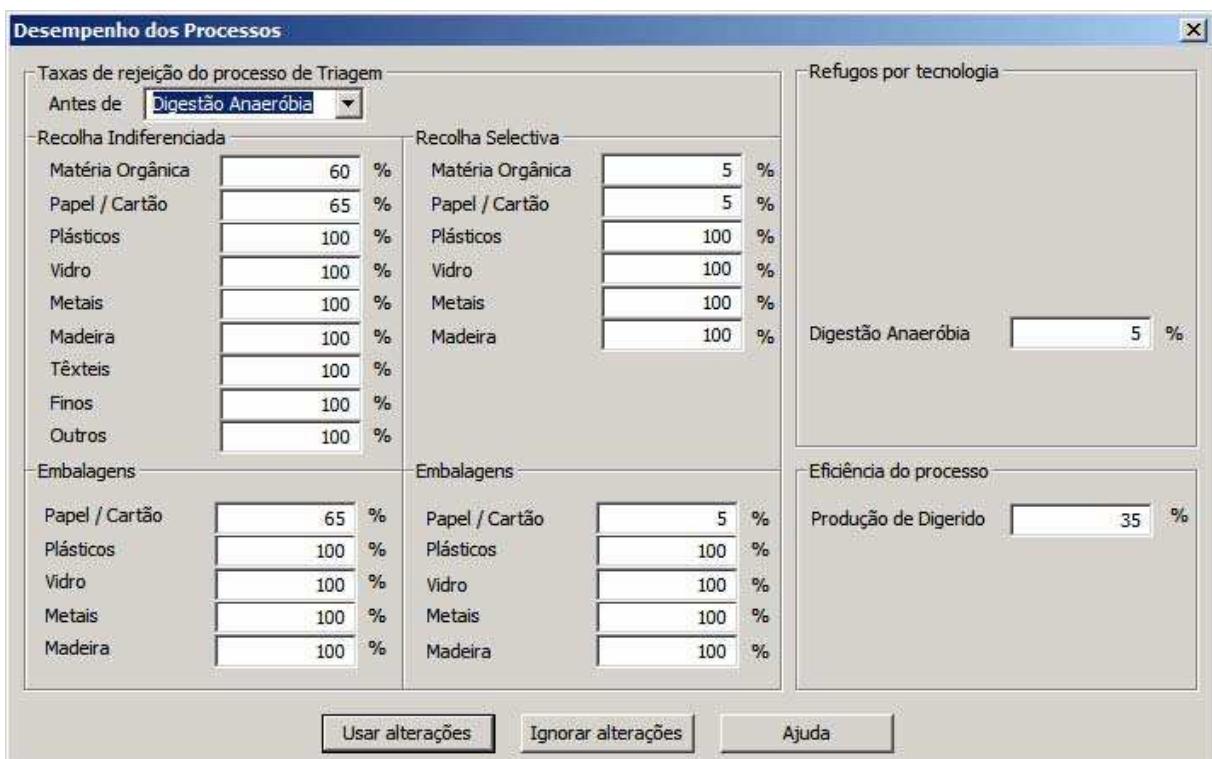


Figura 11.8 Desempenho dos processos para a digestão anaeróbia

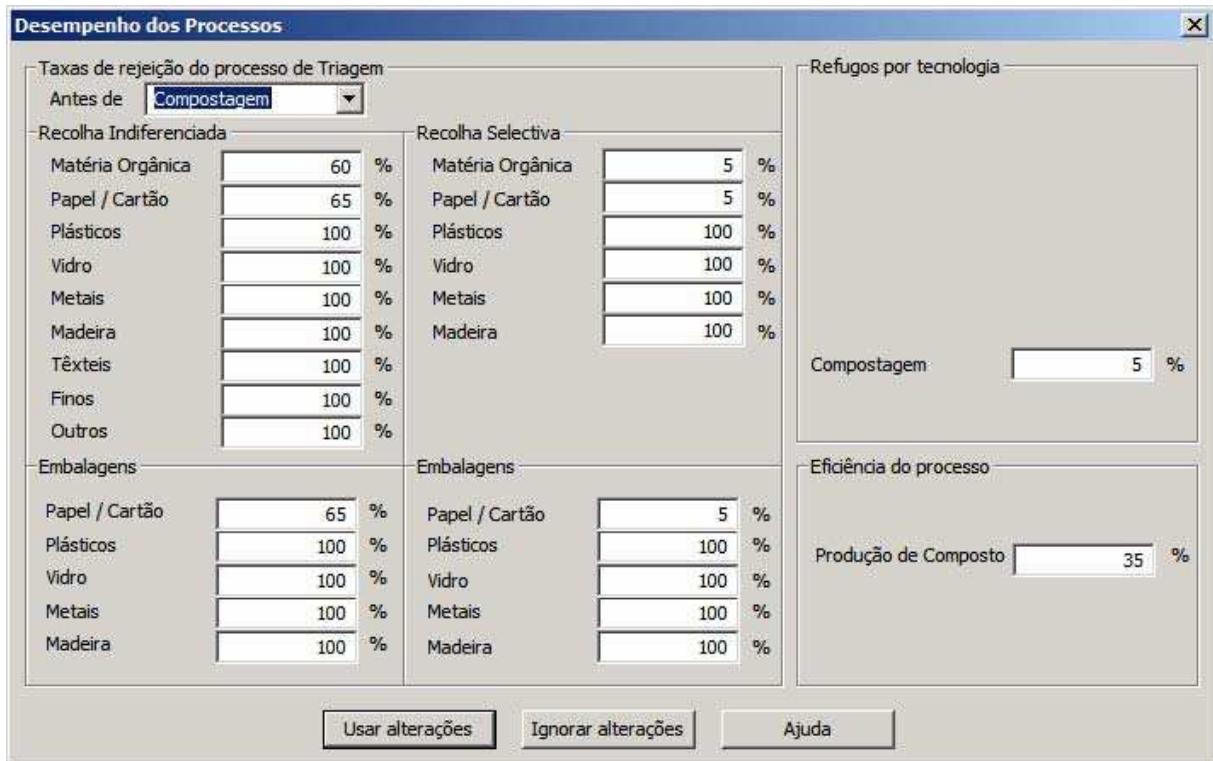


Figura 11.9 Desempenho dos processos para a compostagem

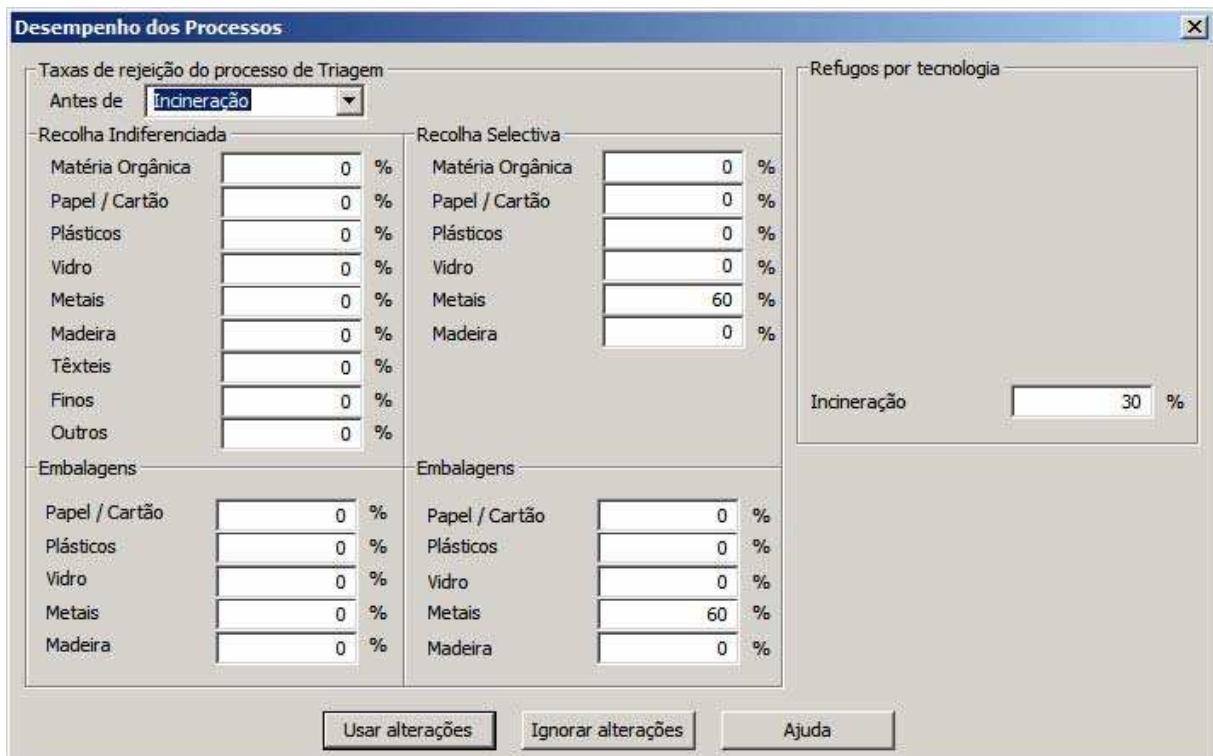


Figura 11.10 Desempenho dos processos para a incineração

A Figura 11.11 apresenta os dados relativos à recolha e transporte dos RSU. Os dados utilizados são os considerados por defeito pelo programa.

Quilómetros percorridos para recolha	170800 km	Quilómetros percorridos em média por viagem da triagem para:
Quilómetros percorridos da recolha para a estação de transferência	0 km	Reciclagem
Quilómetros percorridos da estação de transferência para a triagem	100000 km	Papel 200 km Plástico 120 km Vidro 68 km Metais 300 km Madeira 40 km
Eficiência média dos veículos (20 t)	0.321 l/km	Digestão Anaeróbia 70 km Compostagem 200 km Incineração 90 km Deposição em Aterro 19 km
Custo do gasóleo	0.75 €/l	
Emissão de CO ₂	3.036258 kg/t	
Emissão de N ₂ O	4.1e-005 kg/t	
Emissão de CH ₄	0 kg/t	

Sistema de Transporte

Quilómetros percorridos em média por viagem da triagem para:

Reciclagem

Digestão Anaeróbia

Compostagem

Incineração

Deposição em Aterro

Usar alterações **Ignorar alterações** **Ajuda**

Figura 11.11 Entrada de dados relativos ao sistema de recolha

As restantes janelas apresentam os factores necessários para a estimativa do desempenho ambiental e económico. Os dados apresentados nas Figuras 11.12 e 11.13 constituem os valores por defeito adoptados neste trabalho.

Deposição em Aterro	Digestão Anaeróbia
Emissão de Gases com Efeito de Estufa	Emissão de Gases com Efeito de Estufa
CO ₂	CO ₂ 440 kg/t
CH ₄	CH ₄ 0 kg/t
N ₂ O	N ₂ O 0 kg/t
-Produção de Lixiviados	-Produção de Lixiviados
Quantidade produzida	Quantidade produzida 0.5 m ³ /t
-Volume de Ocupação em Aterro	
Densidade dos resíduos	
Incineração	Compostagem
Emissão de gases com Efeito de Estufa	Emissão de Gases com Efeito de Estufa
CO ₂	CO ₂ 320 kg/t
CH ₄	CH ₄ 0 kg/t
N ₂ O	N ₂ O 0 kg/t
-Produção de Lixiviados	-Produção de Lixiviados
Quantidade produzida	Quantidade produzida 0 m ³ /t

Factores Ambientais

Deposição em Aterro

Digestão Anaeróbia

Emissão de Gases com Efeito de Estufa

Produção de Lixiviados

Volume de Ocupação em Aterro

Incineração

Compostagem

Emissão de Gases com Efeito de Estufa

Produção de Lixiviados

Usar alterações **Ignorar alterações** **Ajuda**

Figura 11.12 Janela de preenchimento de dados relativos aos coeficientes ambientais

Factores Económicos

Reciclagem	
Contrapartidas da SPV	
Papel e/ou Cartão	38.9 €/t
Plásticos	803.1 €/t
Metais	124.7 €/t
Vidro	63.8 €/t
Madeira	15 €/t
Digestão Anaeróbia	
Custos de Exploração	57 €/t
Venda de Digerido	35 €/t
Venda de Energia	10 €/t
Compostagem	
Custos de Exploração	50 €/t
Venda do Composto	35 €/t
Incineração	
Custos de Exploração	55 €/t
Venda de Energia	25 €/t
Deposição em Aterro	
Custos de Exploração	15 €/t
Custos de Triagem e Recolha	
Triagem Indiferenciada	40 €/t
Triagem Selectiva	40 €/t
Recolha Indiferenciada	20 €/t
Recolha Selectiva de Matéria Orgânica	20 €/t
Recolha Selectiva de Papel	20 €/t
Recolha Selectiva de Plástico	100 €/t
Recolha Selectiva de Vidro	20 €/t
Recolha Selectiva de Madeira	20 €/t
Recolha Selectiva de Metais	20 €/t

Usar alterações **Ignorar alterações** **Ajuda**

Figura 11.13 Janela de preenchimento de dados relativos aos coeficientes económicos

Depois de validados os dados de entrada, estão disponibilizados na janela principal do programa vários ícones correspondentes aos cenários a serem estudados.

Cada ícone dá acesso a uma única janela que representa o *output* do sistema quanto aos destinos dos RSU, desempenho económico e desempenho ambiental.

A seguir são apresentados os resultados apenas para a simulação do Cenário 1, uma vez que a forma de apresentação é idêntica para todos os outros cenários.

Na Figura 11.14 pode ser visualizado o destino dos RSU para este exemplo, na perspectiva do cenário de optimização do aproveitamento dos materiais presentes nos resíduos. Neste cenário é possível referir que cerca de 240800 t de RSU devem ser orientados para a reciclagem, 100000 t para digestão anaeróbia e 59200 t para incineração. Como se verifica, neste cenário é escolhida a digestão anaeróbia em detrimento da compostagem, por via da função de optimização.

Uma vez que os resíduos se encontram misturados, ou mesmo contaminados pela presença de outros materiais, é necessário proceder a uma triagem por forma a melhor orientar o processo de gestão de RSU.

A Figura 11.15 permite referir que neste cenário são encaminhadas 97640 t para a reciclagem, 56500 t para a digestão anaeróbia, 268081 t para a incineração e as restantes 80556 t para aterro. Este recebe os materiais que não podem ser valorizados, constituindo o seu destino final. É conveniente realçar o grau de importância da triagem sobre o encaminhamento dos resíduos, através do efeito provocado pelo agravamento ou não dos factores de rejeição.

A Figura 11.16 apresenta os resultados obtidos na desagregação por material destinado à reciclagem. Pode ver-se que são reciclados cerca de 37780 t de papel, 28480 t de plásticos, 20420 t de vidro, 10120 t de metais e 840 t de madeira.

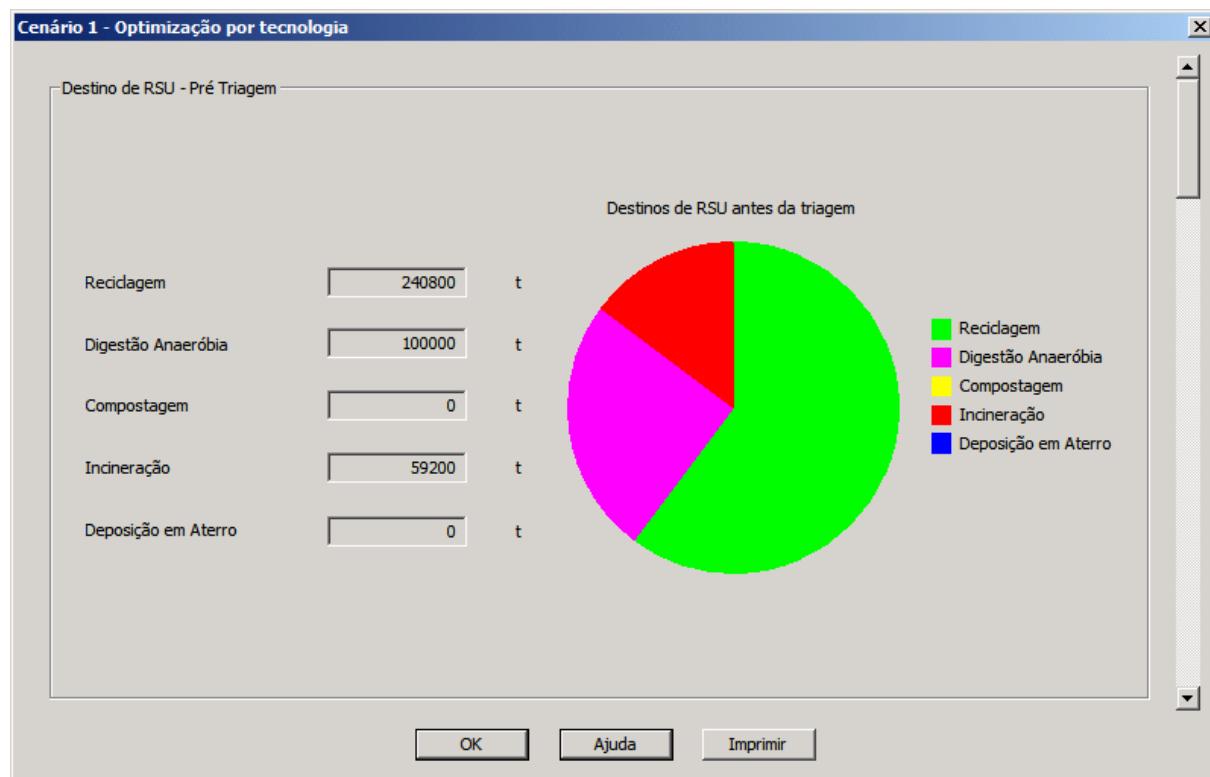


Figura 11.14 Janela de apresentação de resultados relativos aos destinos dos RSU no Cenário 1

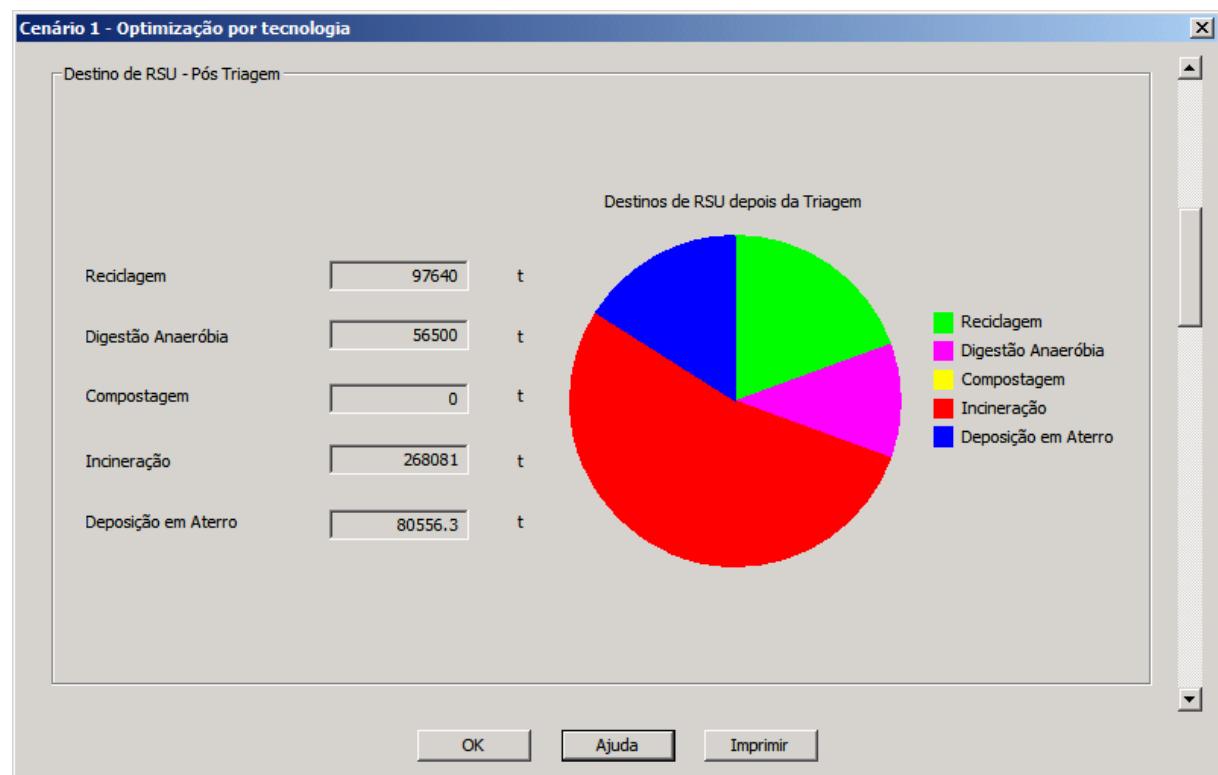


Figura 11.15 Janela de apresentação de resultados relativos aos destinos dos RSU no Cenário 1 após triagem

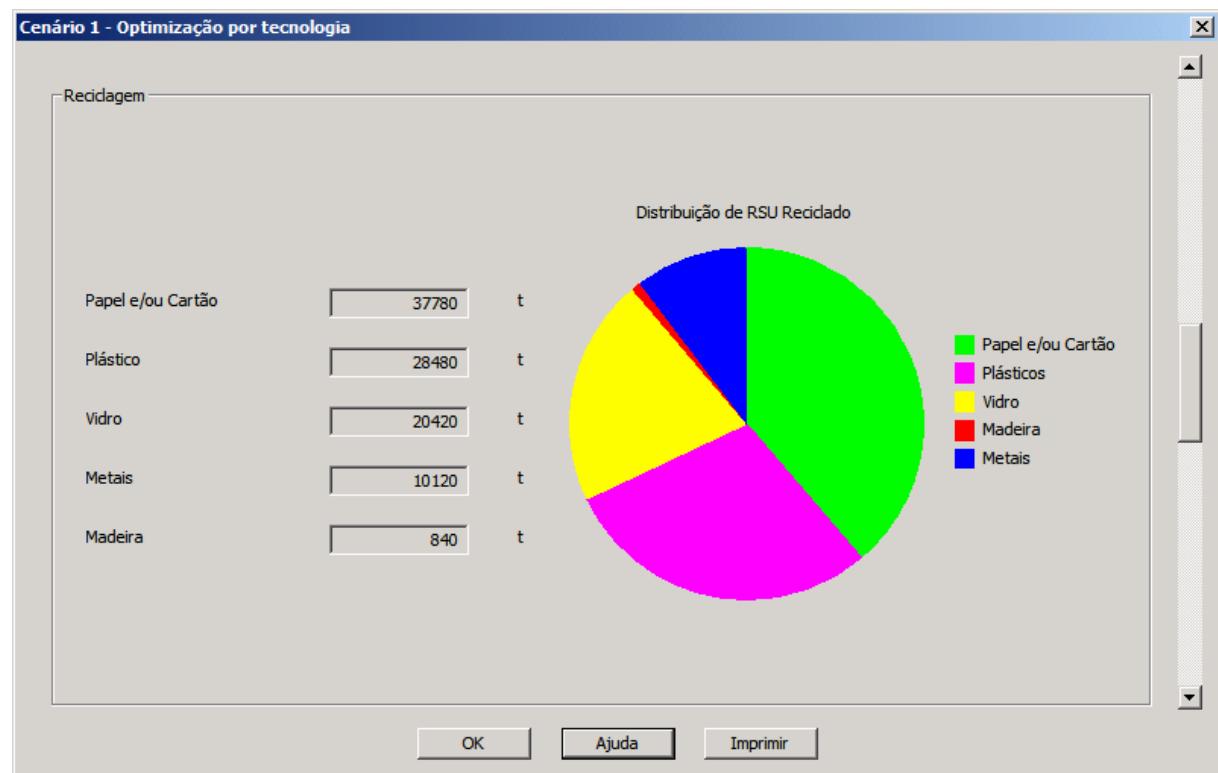


Figura 11.16 Janela de apresentação de resultados relativos à reciclagem para o Cenário 1

O desempenho ambiental deste cenário é apresentado na Figura 11.17, permitindo avaliar a tecnologia menos poluente em termos de emissão de gases com efeito de estufa, produção de lixiviados e ocupação de volume em aterro. O gráfico apresentado é resultado da normalização dos valores obtidos, devendo apenas ser utilizado para efeitos comparativos. Com base nos resultados pode afirmar-se que, depois da reciclagem, a digestão anaeróbia é a tecnologia que menos intervém para a formação de gases com efeito de estufa.

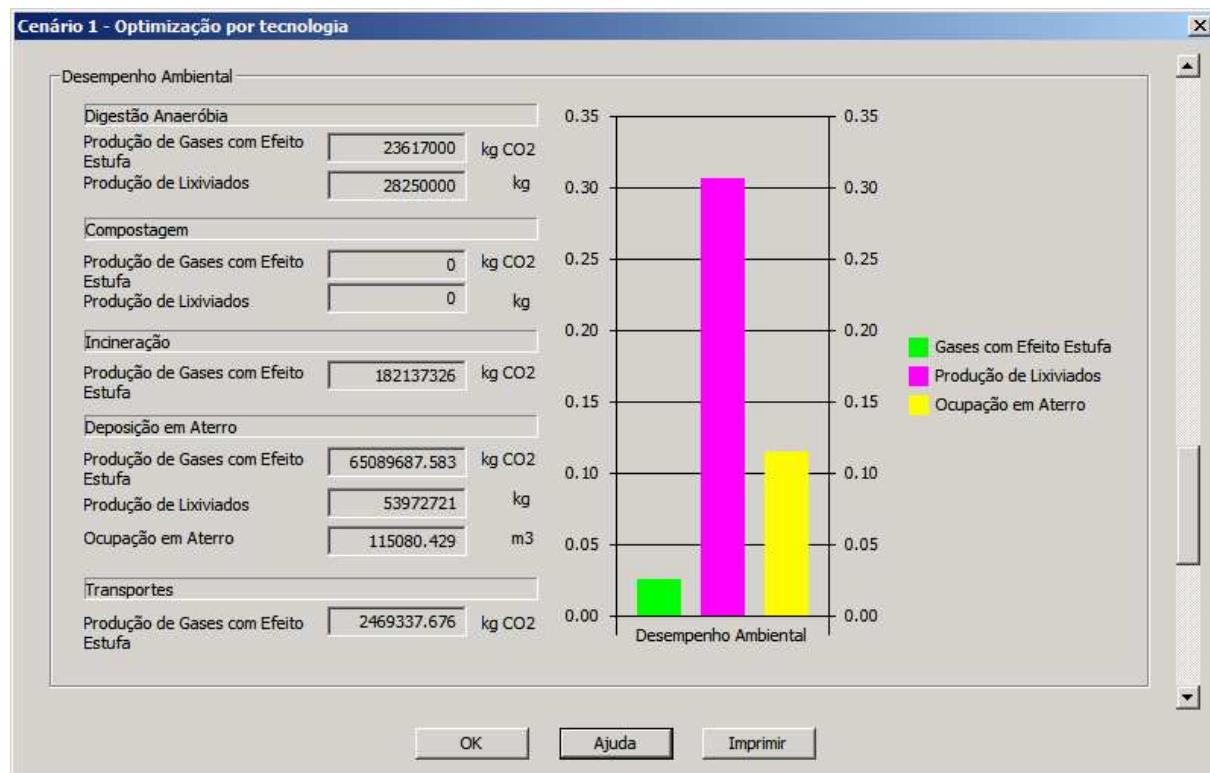


Figura 11.17 Janela de apresentação dos resultados para o desempenho ambiental no Cenário 1

A Figura 11.18 representa o desempenho económico deste cenário, permitindo visualizar graficamente o balanço económico das diferentes tecnologias consideradas. Neste caso foi obtido um melhor desempenho para a reciclagem, resultado das contrapartidas financeiras da SPV. No entanto, não deve ser descurado que para efeito de uma correcta avaliação os custos associados à recolha e triagem dos resíduos devem ser contabilizados nas diferentes tecnologias envolvidas.

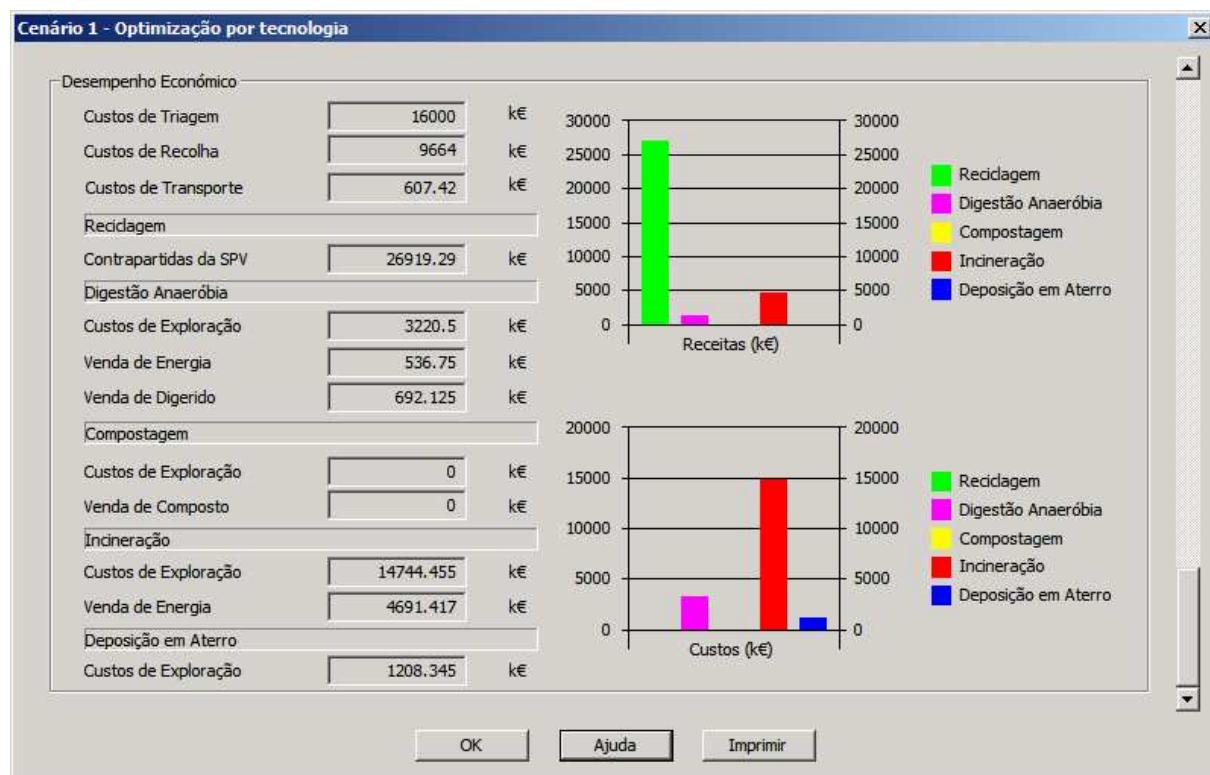


Figura 11.18 Janela de apresentação de resultados para o desempenho económico no Cenário 1

A análise dos resultados obtidos neste programa deve ser comparativa, ou seja, devem ser visualizados todos os cenários e o utilizador deve sobrepor-los, de modo a determinar, por comparação de alternativas viáveis apresentadas, qual a melhor hipótese aplicável ao sistema de gestão em causa.

11.6 Considerações Finais

Em adição ao apresentado, deve ainda referir-se que os valores por defeito para a composição dos resíduos são os constantes da Tabela 11.1, supondo as duas formas de recolha de resíduos (70 % de recolha indiferenciada e 30% de selectiva) e a produção anual de 400000 toneladas de RSU. Os valores dos factores de desempenho ambiental e de custos económicos são os constantes da Tabela 10.7, podendo, no entanto, serem alterados tendo em conta o melhor conhecimento das condições de operação do sistema. São também adoptadas as restrições e funções objectivo enunciadas no capítulo 10.

Numa perspectiva de retratar o cenário actual supõe-se que, por defeito, os resíduos recolhidos selectivamente são encaminhados para reciclagem e compostagem e os indiferenciados são direcionados para a deposição em aterro.

Na Tabela 11.2 são apresentadas as emissões de gases provenientes do consumo de *diesel* durante o transporte dos resíduos.

Tabela 11.1 Composição dos RSU produzidos a adoptar por defeito

Materiais presentes	Composição (%)
Matéria Orgânica	25,1
Papel e/ou Cartão	16,5
Plásticos	7,7
Metais	1,7
Vidro	3,9
Madeira	0,1
Finos	8,4
Têxteis	2,4
Outros	4,0
Embalagens de Papel e/ ou Cartão	11,6
Embalagens de Plásticos	9,7
Embalagens de Metais	2,1
Embalagens de Vidro	6,5
Embalagens de Madeira	0,3

Tabela 11.2 Emissões de gases com efeito de estufa no transporte de RSU [42]

Emissões	Valores	Unidades
Emissão de CO ₂	3036258	g/1000 l
Emissão de N ₂ O	41	g/1000 l

Deve-se ter presente que as condições geográficas, as características climatéricas, a localização da região e o tipo de população envolvida em muito contribuem para a optimização do sistema de gestão de RSU, pelo que é importante o recurso frequente a acções de sensibilização ambiental que em muito podem beneficiar o desempenho do sistema, permitindo dinamizar as soluções inerentes à gestão de RSU. Conforme pode ser facilmente depreendido, o sistema de gestão apresenta melhores resultados para uma recolha selectiva mais eficiente em detrimento da recolha indiferenciada, permitindo alcançar melhores resultados no desempenho e nos custos inerentes ao sistema de valorização.

12 Conclusões

A gestão de resíduos baseia-se na utilização de um conjunto de regras e aplicações tecnológicas com vista à obtenção de um melhor desempenho ambiental, social e económico.

É imperativa a utilização e elaboração de instrumentos legais que permitam proceder ao estabelecimento de regras de gestão de resíduos.

As políticas de gestão devem estabelecer prioridades, como a prevenção/minimização da produção de resíduos, através do recurso a processos de fabrico mais eficientes e a uma diminuição dos bens de consumo pouco necessários; reutilização ou reciclagem das várias fileiras/fluxos de materiais; valorização biológica por compostagem, digestão anaeróbia, biogaseificação, vermicultura, entre outros; valorização energética, através do recurso à incineração, pirólise ou gaseificação; por fim e em última opção de gestão deve ser considerada a deposição em aterro, constituindo o destino final dos RSU, devendo ser usado apenas para materiais não valorizáveis por qualquer outro tipo de opção tecnológica. A implementação dessas tecnologias pode ser efectuada a diferentes escalas dependentes das características de cada área geográfica, devendo o dimensionamento dos sistemas de valorização ser ajustado às características da região.

Os custos para a implementação de estações de tratamento de resíduos são avultados. Para cobrir os custos de investimento e exploração, e, obter um maior desempenho no tratamento dos resíduos, é necessário proceder à aplicação de tarifas sobre a produção de RSU em cada habitação. A recolha selectiva e a triagem de materiais, tendo em conta o grau de participação actual da população portuguesa, não são actividades rentáveis. Este tipo de situações provoca consequentemente um agravamento do valor tarifário aplicado ao consumidor. Desta forma, é necessário focar atenções no sentido de alertar a população para os efeitos adversos da incoerência e da teimosia na recolha indiferenciada, dado que estes comprometem a viabilidade dos sistemas de gestão e o ambiente que é um “bem” precioso de todos.

É importante salientar que não existe uma única opção de tratamento, capaz de gerir de forma independente todos os resíduos produzidos, assim como não existe um sistema integrado de gestão de resíduos capaz de ser implementado com sucesso em qualquer tipo de região. Neste sentido, devem ser realizados estudos de impacto ambiental, social e de viabilidade técnico-económica.

A definição de uma política de gestão de resíduos sustentável deve ter em consideração a elaboração de metodologias que permitam, de acordo com as características geográficas de uma determinada área, a definição do sistema de gestão mais adequado do ponto de vista técnico e económico. Desta forma, pode dizer-se que a política de gestão de resíduos deverá ser encarada e processada de acordo com as características de cada região ou município.

Neste trabalho foi elaborada uma ferramenta que permite servir de apoio em matéria de decisão na gestão de resíduos, que deverá ser utilizada com base no que foi acima referido.

As alternativas adoptadas, baseadas na optimização de destinos, tendo em consideração o estabelecimento de uma hierarquia nas tecnologias existentes, as restrições legislativas em vigor, o desempenho ambiental dos sistemas e os custos associados, permitem oferecer uma visualização geral do sistema de gestão a uma entidade que se proponha à gestão de resíduos de uma determinada região.

O software criado nesta tese deve ser cada vez mais desenvolvido e ampliado de modo a ajustar-se à realidade dos sistemas de gestão de RSU do País.

Com base no que foi descrito neste trabalho é possível concluir que há muito a fazer a nível de optimização de sistemas integrados de gestão de RSU.

Numa perspectiva futura apresenta-se a possibilidade de incorporar nesta ferramenta as tecnologias que ainda se encontram em fase de estudo e desenvolvimento, considerando a sua viabilidade técnica, ambiental e económica. Aponta-se também o facto de agregar a este software uma interface geográfica a nível nacional que permita definir os pontos de recolha, optimizar os circuitos de recolha e transporte e definir a melhor localização das unidades de transferência, tratamento e eliminação, agregando sistemas, no sentido de permitir um maior conhecimento do sistema de gestão nacional e progredir para um panorama abrangente de gestão de resíduos.

13 Referências

- [1] – Vesilind, P. Aarne; William A. Worrell; Debra R. Reinhart; “Solid Waste Engineering”, Brooks/Cole, Pacific Grove, CA, 2002;
- [2] – Ramos, M. P.; et al.; “Plano Estratégico dos Resíduos Hospitalares”, versão final, Ministérios da Saúde e do Ambiente, Lisboa, Dezembro de 1998;
- [3] – Martinho, M. G. M.; Gonçalves, M. G. P; “Gestão de Resíduos”, Universidade Aberta, Lisboa, 2000;
- [4] – The Waste Working Group; “Sustainable Waste-Resource Management”, Earthwatch, Voice, Ireland, January 2001;
- [5] – Legislação Ambiental sobre Resíduos, <http://www.diramb.gov.pt> ;
- [6] – Lobato, A.F.; Chinita, A. T.; Ferreira, F.; Presumido, M.; Inácio, M.M.; Gama. P.; “Plano Estratégico de Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos”, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Instituto Nacional dos Resíduos, Lisboa, 1997;
- [7] – Cheng, C.Y., et al.; “Resíduos Sólidos Urbanos: Concepção, Construção e Exploração de Tecnossistemas”, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Instituto dos Resíduos, 2002;
- [8] – Sociedade Ponto Verde, <http://www.pontoverde.pt>;
- [9] – “Estratégia Nacional para a Redução dos Resíduos Urbanos Biodegradáveis Destinados a Aterros”, Instituto dos Resíduos, Julho de 2003;
- [10] – Tchobanoglous, G.; Theisen, H.; Vigil, S.A.; “Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues”, McGraw-Hill Inc., 1993;
- [11] – Documentos de Referência sobre as MTD, <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>;
- [12] – Tchobanoglous, G.; Theisen, H.; Eliassen, R.; “Solid Wastes: Engineering Principles and Management Issues”, McGraw-Hill Inc., 1977;
- [13] – Lipor, <http://www.lipor.pt>;
- [14] – Câmara Municipal de Ovar, <http://www.cm-ovar.pt/cmo.htm>;
- [15] – Câmara Municipal de Setúbal, <http://www.mun-setubal.pt>;
- [16] – Contenur, <http://www.contenur.es/Portugues/contenedores/igloo.htm>;
- [17] – Ecomais, <http://www.ecomais.pt/equip.asp>;

- [18] – Câmara Municipal de Cinfães, <http://www.cm-cinfaes.espigueiro.pt>;
- [19] – Associação de Municípios da Região do Planalto Beirão, <http://www.amr-planaltobeirao.pt>;
- [20] – Associação de Municípios do Alentejo Central, www.terravista.pt/ancora/2753/residuos.html;
- [21] – Ecoambiente, <http://www.ecoambiente.pt>;
- [22] – Russo, Mário A. T., “Tratamento de Resíduos Sólidos”, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, 2003;
- [23] – Instituto do Ambiente, “Relatório do Estado do Ambiente 2001”, Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente, Lisboa, 2001;
- [24] – Dougherty, Mark; “Composting for Municipalities: Planning and Design Considerations”, NRAES, New York, 1998;
- [25] – Williams, Paul T.; “Waste Treatment and Disposal”, John Wiley & Sons, England, July 2002;
- [26] – Câmara Municipal de Oeiras, <http://www.cm-oeiras.pt>;
- [27] – Journey to Forever, “Vermicomposting”, http://journeytoforever.org/compost_worm.html;
- [28] – Japanese Advanced Environment Equipment, “Mitsui Recycling 21 (R21): Pyrolysis Gasification and Melting Process for Municipal Waste”, http://nett21.gec.jp/JSIM_DATA/WASTE/WASTE_3/html/Doc_436.html;
- [29] – White, P.; Franke, M.; Hindle, P.; “Integrated Solid Waste Management: A Lifecycle Inventory”, Blachie Academic & Professional, Great Britain, 1995;
- [30] – Almeida, Manuel F.; Costa, C.; “Critérios de Localização de Aterros Controlados”, FEUP, 2002;
- [31] – UNEP, “International Source Book on Environmentally Sound Technologies (ESTs) for Municipal Solid Waste Management”, <http://www.unep.or.jp/ietc/estdir/pub/msw/index.asp>;
- [32] – The Xerox Corporation Web Site, <http://www.xerox.com>;
- [33] – Martins, M; “Resíduos Urbanos”, Fórum Ambiente – Anuário 2003, 2003, pág.54-55;

[34] – Fontoura, F. Lamy da; “Sociedade Ponto Verde - Sociedade Gestora de Resíduos de Embalagens S. A.: Ponto verde: um ponto a seu favor”, 4^{as} Jornadas Técnicas Internacionais de Resíduos, Leiria, Outubro de 2003;

[35] – Sistemas de Gestão de Resíduos, <http://www.inresiduos.pt>;

[36] – Associação de Municípios Portugueses, <http://www.anmp.pt>;

[37] – Instituto Nacional de Estatística, <http://www.ine.pt>;

[38] – Hogg, D.; Eunomia Research & Consulting, et al.; “Costs for Municipal Waste Management in the EU: Final report to Directorate General Environment, European Commission”, <http://europa.eu.int/comm/environment/waste/studies/eucostwaste.pdf>;

[39] – Eunomia, Research and Consulting; “Economic Analysis of Options for Managing Biodegradable Municipal Waste – Final Report”, European Comission, http://europa.eu.int/comm/environment/waste/compost/econanalysis_finalreport.pdf;

[40] – Madeira, A.C.; Costa, C.; Almeida, F.; “Análise de Alternativas de Gestão dos Resíduos Produzidos no Mercado Abastecedor do Porto, S.A.”, FEUP, Julho de 2002;

[41] – Rodrigues, J. P.; “A Estratégia de Gestão de Resíduos Orgânicos na Área de Intervenção da Valorsul”, Valorsul, 4^{as} Jornadas Técnicas Internacionais de Resíduos, Leiria, Outubro de 2003;

[42] – Xará, S.; Almeida, M.F.; Silva, M.; Costa, C.; “Life Cycle Inventory for Municipal Solid Waste Management Options”, ARW, 2001;

[43] – Almeida, José N. T.; “O Método Simplex na Resolução de Problemas de programação Linear”, Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica, FEUP, Porto, Março 1995;

[44] – Método Simplex; http://www.chemkeys.com/bra/md/peeo_6/mdoeq_1/metsim_4/metsim_4.htm.

14 Bibliografia

Pretende-se apresentar neste capítulo a principal bibliografia que, embora não tenha sido citada no texto, serviu de apoio à realização deste documento.

Abrams, Irving M.; et al., "Environmental Engineers Handbook", CRC Press LLC, 1999;

Abreu, Pedro F.; "Projecto IMS: Sistema Multimédia Inteligente para Apoio à Consulta Técnica e Pública", <http://www.citidep.pt/papers/pfa>;

ALG, Association of London Government; "The London Waste Recycling Programme: 1997-2000", <http://www.londonwasteaction.org/docs/algreport.pdf>;

Bioenergy Department, "Centralised Biogas Plants", University of Southern Denmark, 2000, <http://websrv5.sdu.dk/bio/pdf/rap2.pdf>;

Biofuels; "Biomass Gasification and Fermentation", <http://www.ott.doe.gov/biofuels/gasification.html>;

Biomass Energy Conversion Facility (BECON); "Biomass Gasification and Reburning", <http://www.energy.iastate.edu/becon/tour/page.cfm?page=6>;

Biomass Technology Group (BTG); "Biomass gasification", <http://www.btgworld.com/technologies/gasification.html>;

Dorfmann, R. et al. ; "Les Résidus Urbains : Traitement et valorization", Volume 2, 2^e édition, Technique et Documentation – Lavoisier, 1985;

Eden, Christopher; "Combined Landfill Gas and Leachate Extraction Systems", UKPS Ltd, England, <http://www.leachate.com/Papers/Combined%20landfill%20gas%20and%20leachate%20extraction%20systems.doc>;

Environment Protection Agency (EPA); "Environmental Signals 2002 - Benchmarking the millennium"; http://reports.eea.eu.int/environmental_assessment_report_2002_9/en/signals2002-chap12.pdf;

EPA, "Municipal Solid Waste", <http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/muncpl/>;

Eunomia, Research and Consulting; "Financing and Incentive Schemes for Municipal Waste Management – Case Studies", European Comission, http://europa.eu.int/comm/environment/waste/studies/financingmunicipalwaste_management.pdf;

European Commission, "EU focus on waste management", Office for Official Publications of the European Communities, 1999, http://europa.eu.int/comm/environment/eufocus/waste_management.pdf;

European Comission; "Success Stories on Composting and Separate Collection", http://europa.eu.int/comm/environment/waste/publications/compost_en.pdf;

European Compost Network (ECN); "Biological Waste Treatment in Europe - Technical and Market Developments", <http://www.compostnetwork.info/biowaste/index.htm>;

European Environment Agency (EEA); "Biodegradable Municipal Waste Management in Europe – Part 3: Technology and market issues", January 2002, http://reports.eea.eu.int/topic_report_2001_15_PArt3/en/part3;

European Environmental Agency (EEA); "Environment in the European Union at the turn of the century: Environmental assessment report No 2", http://reports.eea.eu.int/92-9157-202-0/en/tab_content_RLR;

Garrido, J. L. ; Martinez, J. P. ; Acosta, R. R.; "Elimination de los Residuos Solidos Urbanos", Editores Técnicos Asociados, S.A., Barcelona, 1980;

Greenleaf/Telesca, Planners, Engineers, and Architects; "Solid Waste Management in Residential Complexes", U. S. Environmental Protection Agency, 1971;

Henstock, M. E. et al.; "Disposal and Recovery of Municipal Solid Waste", Butterworth & Co., 1993;

International Energy Agency (IEA); "Municipal Solid Waste and its Role in Sustainability: A Position Paper Prepared by IEA Bioenergy", 2003, http://www.ieabioenergy.com/media/40_IEAPositionPaperMSW.pdf;

International Solid Waste Association (ISWA), <http://www.iswa.org/index.php>;

ISWA, "Waste Management World", <http://www.jxj.com/wmw/index.html>;

JSIM – Japanese Advanced Environment Equipment; "Bio-Gasification Facility", http://nett21.gec.jp/JSIM_DATA/WASTE/WASTE_2/html/Doc_407.html;

Lior; "Biogas from Waste and Waste Water Treatment", Lior CD-Rom Collection-Renewable Energies Series, Bruxelas, 1999;

Lipor; "A Caracterização dos Resíduos Sólidos: Caderno Técnico n.º 1", Lipor, 2000, <http://www.lipor.pt/Paginas/investigacao/cadtec.pdf>;

Lund, Herbert F.; Monzon, J. I.T. et. al ; "Manual McGraw-Hill de Reciclaje", McGraw-Hill, Madrid, 1996;

Mata-Alvarez, J; et al.; "Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes", IWA Publishing, United Kingdom, 2003;

Microsoft Corporation; "Microsoft Visual C++: Development System for Windows 95 and Windows NT – Programming with MFC", Microsoft Press, Volume 2, Version 4, 1995;

"Microsoft Visual Studio.net - .net Framework", DVD, Microsoft, 1987/2001;

Oko – Institute e.V; "Waste Prevention and Minimisation: Final Report", European Union, July, 1999; <http://europa.eu.int/comm/environment/waste/studies/prevention&minimization.pdf>;

Pappas, C. H.; Murray, W. H.; "Visual C++: The Complete Reference", Osborne/McGraw-Hill, California, 1998.

Prosise, Jeff; "Programming Windows® with MFC", Microsoft Press, 2nd Edition, Washington, 1999;

Ramos, M. P. et al.; "Plano Estratégico dos Resíduos Hospitalares", Ministérios da Saúde e do Ambiente, Lisboa, 1998;

Sahni, S.J.; "Data Structures, Algorithms and Applications in C++"; McGraw-Hill International Editions, Singapore, 1998;

Scottish Environment Protection Agency; "Environmental Strategy", Maio de 1998, <http://www.sepa.org.uk/education/pdf/environmentstrategy.pdf>;

Smith, Alison; et al.; "Waste Management Options and Climate Change: Final Report", AEA Technology Environment, July 2001, http://europa.eu.int/comm/environment/waste/studies/climate_change.pdf;

Solid Waste and Recycling, <http://www.solidwastemag.com/>;

U. S. Environmental Protection Agency; "Composting Yard Trimmings and Municipal Solid Waste", EPA, <http://www.epa.gov/epaoswer/non-hw/compost/cytmsw.pdf>;

Valorsul; "Estação de Tratamento e Valorização Orgânica (ETVO)", <http://www.valorsul.pt/default.asp?SqlPage=content&CpContentId=15099>;

Weiss, M. A.; "Data Structures & Algorithms Analysis in C++", 2nd Edition, Addison-Wesley, February 1999.

Anexo A

Legislação de Âmbito Geral

Legislação Nacional

- , Portaria n.º 15/96, de 23 de Janeiro, que aprova os vários tipos de operações de eliminação e de valorização de resíduos - alterada pela Decisão 96/350/CE de 24 de Maio;
- , Portaria n.º 818/97, de 5 de Setembro, que aprova a lista harmonizada, que abrange todos os resíduos, designada por Catálogo Europeu de Resíduos (CER), a lista de resíduos perigosos e as características que conferem perigosidade aos resíduos. Este documento foi totalmente alterado pela Decisão 2000/532/CE, da Comissão, de 22 de Janeiro;
- , Decreto-Lei n.º 239/97, de 9 de Setembro, que estabelece as regras a que fica sujeita a gestão de resíduos. Este documento revoga o Decreto-Lei n.º 310/95 de 20 de Novembro;
- , Portaria n.º 961/98, de 10 de Novembro, que regulamenta os processos de autorização das operações de gestão de resíduos industriais, resíduos sólidos urbanos e outros tipos de resíduos.

Legislação Comunitária

- , Directiva n.º 75/442/CEE, do Conselho, de 15 de Julho, relativa aos resíduos;
- , Resolução n.º 90/C 122/02, do Conselho, de 07 de Maio, sobre a política de resíduos;
- , Directiva n.º 91/156/CEE, do Conselho, de 18 de Março, que altera a Directiva 75/442/CEE, relativa aos resíduos;
- , Directiva n.º 91/689/CEE, do Conselho, de 12 de Dezembro, relativa aos resíduos perigosos;
- , Directiva n.º 94/31/CEE, do Conselho, de 27 de Junho, que altera a Directiva 91/689/CEE, relativa aos resíduos perigosos;

- , Decisão n.º 96/350/CE, do Conselho, de 24 de Maio, adapta os anexos IIA e IIB da Directiva n.º 75/442/CEE do Conselho relativa aos resíduos;
- , Resolução n.º 97/C 76/01, do Conselho, de 24 de Fevereiro, relativa à estratégia comunitária de gestão de resíduos;
- , Decisão n.º 2000/532/CE, da Comissão, de 3 de Maio, substitui a Decisão n.º 94/3/CE que estabelece uma lista de resíduos em conformidade com a alínea a) do artigo 1º da Directiva n.º 75/442/CEE do Conselho, relativa aos resíduos, e a Decisão n.º 94/904/CE do Conselho, que estabelece uma lista de resíduos perigosos em conformidade com o n.º 4 do artigo 1º da Directiva n.º 91/689/CEE do Conselho, relativa aos resíduos perigosos;
- , Decisão n.º 2001/118/CE, da Comissão, de 16 de Janeiro, altera a Decisão n.º 2000/532/CE, no que respeita à lista de resíduos;
- , Decisão n.º 2001/119/CE, da Comissão, de 22 de Janeiro, altera a Decisão n.º 2000/532/CE que substitui a Decisão n.º 94/3/CE, que estabelece uma lista de resíduos em conformidade com a alínea a) do artigo 1º da Directiva n.º 75/442/CEE do Conselho, relativa aos resíduos, e a Decisão n.º 94/904/CE do Conselho, que estabelece uma lista de resíduos perigosos em aplicação do n.º 4 do artigo 1º da Directiva n.º 91/689/CEE do Conselho, relativa aos resíduos perigosos;
- , Decisão n.º 2001/573/CE, do Conselho, de 23 de Julho, altera a Decisão n.º 2000/532/CE, no que respeita à lista de resíduos.

Legislação sobre Resíduos Urbanos

Legislação Nacional

- , Portaria n.º 768/88, de 30 de Novembro, concede à DGQA a competência de fiscalização, referida no Decreto-Lei n.º 488/85 sobre Resíduos Sólidos Urbanos - Mapa de Resíduos Urbanos;
- , Decreto-Lei n.º 372/93, de 29 de Outubro, altera a Lei n.º 46/77 de 8 de Julho, Lei de delimitação de sectores;

- , Decreto-Lei n.º 379/93, de 5 de Novembro, que permite o acesso de capitais privados às actividades económicas de captação, tratamento e rejeição de efluentes e recolha e tratamento de resíduos sólidos.
- , Decreto-Lei n.º 294/94, de 16 de Novembro, que estabelece o regime jurídico da concessão de exploração e gestão dos sistemas multimunicipais de tratamento de resíduos sólidos urbanos;
- , Decreto-Lei n.º 297/94, de 21 de Novembro, que cria o sistema multimunicipal de valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos de Lisboa Norte e prevê a sua concessão;
- , Decreto-Lei n.º 109/95, de 20 de Maio, que cria o sistema multimunicipal de valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos do Algarve;
- , Decreto-Lei n.º 89/96, de 3 de Julho, que cria o sistema multimunicipal de valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos de Vila Nova de Gaia e Santa Maria da Feira e aprova os estatutos da sociedade a quem será atribuída a respectiva concessão;
- , Decreto-Lei n.º 111/96, de 2 de Agosto, que cria o sistema multimunicipal de valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos do Cávado-Homem e aprova os estatutos da sociedade a quem será atribuída a respectiva concessão;
- , Decreto-Lei n.º 113/96, de 5 de Agosto, que cria o sistema multimunicipal de valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos do Vale do Minho e aprova os estatutos da sociedade a quem será atribuída a respectiva concessão;
- , Decreto-Lei n.º 114/96, de 5 de Agosto, que cria o sistema multimunicipal de valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos do Vale do Lima e Baixo Cávado e aprova os estatutos da sociedade a quem será atribuída a respectiva concessão;
- , Decreto-Lei n.º 116/96, de 6 de Agosto, que cria o sistema multimunicipal de valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos da Alta Estremadura e aprova os estatutos da sociedade a quem será atribuída a respectiva concessão;
- , Decreto-Lei n.º 117/96, de 6 de Agosto, que cria o sistema multimunicipal de valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos do Baixo Cávado e

- aprova os estatutos da sociedade a quem será atribuída a respectiva concessão;
- , Decreto-Lei n.º 166/96, de 5 de Setembro, que cria o sistema multimunicipal de valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos do Litoral Centro e aprova os estatutos da sociedade a quem será atribuída a respectiva concessão;
 - , Decreto-Lei n.º 53/97, de 4 de Março, que cria o sistema multimunicipal de valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos da margem sul do Tejo e aprova os estatutos da sociedade a quem será atribuída a respectiva concessão;
 - , Decreto-Lei n.º 366/97, de 20 de Dezembro, que cria o sistema multimunicipal de valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos do Oeste e aprova os estatutos da sociedade a quem será atribuída a respectiva concessão;
 - , Decreto-Lei n.º 226/00, de 9 de Setembro, que cria o sistema multimunicipal de triagem, recolha selectiva, valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos do Alto Tâmega, integrando como utilizadores originários de municípios de Boticas, Chaves, Montalegre, Ribeira de Pena, Valpaços e Vila Pouca;
 - , Decreto-Lei n.º 323-A/00, de 20 de Dezembro, que cria o sistema multimunicipal de triagem, recolha, valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos do Baixo Tâmega, integrando como utilizadores originários os municípios de Amarante, Baião, Cabeceiras de Basto, Celorico de Basto, Marco de Canaveses;
 - , Decreto-Lei n.º 93/01, de 23 de Março, que cria o sistema multimunicipal de triagem, recolha, valorização e tratamento de resíduos urbanos do Norte Alentejano, integrando como utilizadores originários, os municípios de Alter do Chão, Arronches, Avis, Campo Maior, Castelo de Vide, Crato, Elvas, Fronteira, Marvão, Monforte, Nisa, Ponte de Sor, Portalegre e Sousel;
 - , Decreto-Lei n.º 93/01, de 23 de Março, que cria o sistema multimunicipal de triagem, recolha selectiva, valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos do vale do Douro Sul, integrando como utilizadores originários os municípios de Armamar, Cinfães, Lamego, Moimenta da Beira, Penedono, Resende.

Legislação sobre Embalagens e Resíduos de Embalagens

Legislação Nacional

- , Decreto-Lei n.º 366-A/97, de 20 de Dezembro, que estabelece os princípios e as normas aplicáveis ao sistema de gestão de embalagens e resíduos de embalagens - revoga o Decreto-Lei n.º 322/95, de 28 de Novembro;
- , Portaria n.º 29-B/98, de 15 de Janeiro, que estabelece as regras de funcionamento dos sistemas de consignação aplicáveis às embalagens reutilizáveis e às embalagens não reutilizáveis, bem como as do sistema integrado aplicável apenas às embalagens não reutilizáveis - revoga a Portaria n.º 313/96 de 29 de Julho;
- , Decreto-Lei n.º 407/98, de 21 de Dezembro, que estabelece as regras respeitantes aos requisitos essenciais da composição das embalagens;
- , Despacho Conjunto do Ministério da Economia e do Ambiente n.º 289/99, de 6 Abril (II Série), que cria o Grupo de trabalho sobre reutilização previsto no n.º4 do n.º5 da Portaria n.º 29-B/98 de 15 de Janeiro;
- , Despacho do Ministro do Ambiente n.º 7415/99, de 14 de Abril (II Série), que aprova os modelos para fornecimento de dados estatísticos de acordo com o n.º 4 da Portaria n.º 29-B/98 de 15 de Janeiro;
- , Despacho Conjunto do Ministério da Economia e do Ambiente n.º 316/99, de 15 de Abril (II Série), que determina o modelo de relatório anual de actividade da entidade gestora do sistema integrado;
- , Decreto-Lei n.º 162/2000, de 27 de Julho, que altera os Artigos 4º e 6º do Decreto-lei n.º 366-A/97, de 20 de Dezembro.

Legislação Comunitária

- , Directiva n.º 94/62/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 20 de Dezembro, relativa a embalagens e resíduos de embalagens;

- , Decisão n.º 97/129/CE, da Comissão, de 28 de Janeiro, que cria o sistema de identificação dos materiais de embalagem, nos termos da Directiva n.º 94/62/CE;
- , Decisão n.º 97/138/CE, da Comissão, de 3 de Fevereiro, que estabelece os formulários relativos à base de dados nos termos da Directiva n.º 94/62/CE;
- , Decisão n.º 99/177/CE, da Comissão, de 8 de Fevereiro, que estabelece as condições de derrogação para grades de plástico e paletes de plástico no que diz respeito às concentrações de metais pesados estabelecidos na Directiva n.º 94/62/CE;
- , Decisão n.º 2001/171/CE, da Comissão, de 19 de Fevereiro, que estabelece as condições de derrogação para embalagens de vidro no que diz respeito às concentrações de metais pesados estabelecidos na Directiva n.º 94/62/CE.

Legislação sobre Incineração/Co-Incineração

Legislação Comunitária

- , Directiva n.º 88/609/CEE, do Conselho, de 24 de Novembro, relativa à limitação das emissões para a atmosfera de certos poluentes de grandes instalações de combustão;
- , Directiva n.º 89/369/CEE, do Conselho, de 8 de Junho, relativa à prevenção da poluição atmosférica proveniente de novas instalações de incineração de resíduos urbanos;
- , Directiva n.º 89/429/CEE, do Conselho, de 21 de Junho, relativa à redução da poluição atmosférica proveniente de instalações existentes de incineração de resíduos urbanos;
- , Directiva n.º 2000/76/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 4 de Dezembro, relativa à incineração de resíduos.

Legislação sobre Aterros

Legislação Nacional

- , Decreto-Lei n.º 321/99, de 11 de Agosto, que regula a instalação e funcionamento de aterros para Resíduos Industriais Banais (RIB);
- , Decreto-Lei n.º 152/2002, de 23 de Maio, que transpõe para o direito interno a Directiva n.º 1999/31/CE, relativa à deposição de resíduos em aterro.

Legislação Comunitária

- , Directiva n.º 1999/31/CE, do Conselho, de 26 de Abril, relativa à deposição de resíduos em aterros.

Legislação sobre Transporte de Resíduos em Território Nacional

Legislação Nacional

- , Portaria n.º 335/97, de 16 de Maio, que fixa as regras a que fica sujeito o transporte de resíduos dentro do território nacional;
- , Despacho n.º 8943/97, do Instituto dos Resíduos, de 9 de Outubro (II Série), que identifica as guias a utilizar para o transporte de resíduos, em conformidade com o artigo 7º da Portaria n.º 335/97.

Legislação sobre Movimento Transfronteiriço de Resíduos

Legislação Nacional

- , Decreto-Lei n.º 37/93, de 20 de Outubro, que aprova para ratificação, a Convenção de Basileia sobre controlo do movimento transfronteiriço de resíduos perigosos e a sua eliminação;
- , Decreto-Lei n.º 296/95, de 17 de Novembro, relativo à fiscalização e controlo das transferências de resíduos à entrada, no interior e à saída da Comunidade;
- , Declaração de Rectificação n.º 157/95, de 30 de Outubro, que rectifica o Decreto-Lei n.º 296/95;
- , Aviso n.º 229/99, de 7 de Dezembro, que torna público a aprovação para ratificação as Decisões III/1 e IV/9, que alteram a Convenção de Basileia.

Legislação Comunitária

- , Regulamento (CEE) n.º 259/93, do Conselho, de 1 de Fevereiro, relativo à fiscalização e ao controlo das transferências de resíduos no interior, à entrada e à saída da Comunidade;
- , Regulamento (CE) n.º 120/97, de 20 de Janeiro, que altera o Regulamento (CEE) n.º 259/93;
- , Regulamento (CE) n.º 1420/99, de 29 de Abril, que estabelece regras e procedimentos comuns aplicáveis às transferências de determinados resíduos para certos países não membros da OCDE;
- , Regulamento (CE) n.º 1547/99, de 12 de Junho, que determina em conformidade com o Regulamento (CEE) n.º 259/93 do Conselho, os processos de controlo a aplicar às transferências de certos tipos de resíduos para certos países onde não é aplicável a Decisão C92 (39) Final da OCDE;

- , Decisão n.º 94/575/CE, da Comissão, 24 de Novembro, que determina o processo de controlo previsto no Regulamento n.º 259/93 no que diz respeito a certas transferências de resíduos para países não membros da OCDE;
- , Decisão n.º 99/816/CE, da Comissão, 24 de Novembro, que adapta, em conformidade com o n.º 1 do seu artigo 16º e o n.º 3 do seu artigo 42º, os anexos II, III, IV, V do Regulamento (CEE) n.º 259/93 do Conselho relativo à fiscalização e ao controlo das transferências de resíduos no interior, à entrada e à saída da Comunidade.

Legislação sobre Pneus Usados

Legislação Nacional

- , Decreto-Lei n.º 111/2001, de 6 de Abril, que estabelece o regime jurídico a que fica sujeita a gestão de pneus usados.

Legislação sobre Pilhas e Acumuladores

Legislação Nacional

- , Decreto-Lei n.º 62/2001, de 19 de Fevereiro, que estabelece o regime jurídico a que fica sujeita a gestão de pilhas e acumuladores bem como a gestão de pilhas e acumuladores usados, e transpõe para a ordem jurídica interna as Directivas n.º 91/157/CEE, do Conselho, de 18 de Março, n.º 93/86/CE, da Comissão, de 4 de Outubro, e n.º 98/101/CE, da Comissão, de 22 de Dezembro, relativas às pilhas e acumuladores contendo determinadas matérias perigosas. Revoga o Decreto-Lei n.º 219/94, de 20 de Agosto;
- , Portaria n.º 571/2001, de 6 de Junho, que define as regras a que fica sujeito o licenciamento da entidade gestora do sistema integrado de pilhas e outros acumuladores;

- , Portaria n.º 572/2001, de 6 de Junho, que aprova os programas de acção relativos a acumuladores de veículos, industriais e similares, e a pilhas e a outros acumuladores;
- , Declaração de Rectificação n.º 13-B/2001, de 19 de Junho, que rectifica a Portaria n.º 572/2001;
- , Despacho n.º 6493/2002 (2ª Série), de 26 de Março, que aprova os modelos relativos a acumuladores de veículos; industriais e similares e a pilhas e outros acumuladores.

Legislação Comunitária

- , Directiva n.º 91/157/CEE, do Conselho, de 18 de Março, relativa às pilhas e acumuladores contendo determinadas matérias perigosas;
- , Directiva n.º 93/86/CEE, da Comissão, de 4 de Outubro, que adapta ao progresso técnico a Directiva n.º 91/157/CEE;
- , Directiva n.º 98/101/CE, da Comissão, de 22 de Dezembro, que adapta ao progresso técnico a Directiva n.º 91/157/CEE.

Legislação sobre PCB

Legislação Nacional

- , Decreto-Lei n.º 277/99, de 23 de Julho, transpõe para o direito interno as disposições constantes da Directiva n.º 96/59/CE, do Conselho, de 16 de Setembro e estabelece as regras a que ficam sujeitas a eliminação dos PCB usados, tendo em vista a sua total destruição.

Legislação Comunitária

- , Directiva n.º 96/59/CE, do Conselho, de 16 de Setembro, relativa à eliminação dos policlorobifenilos e dos policlorotifenilos (PCB/PCT);
- , Decisão n.º 2001/68/CE, da Comissão, de 16 de Janeiro, que estabelece dois métodos de referência para a medição de PCB nos termos da alínea a) do artigo 10º da Directiva n.º 96/59/CE.

Legislação sobre Lamas e Valorização Agrícola

Legislação Nacional

- , Decreto-Lei n.º 446/91, de 22 de Novembro, que estabelece o regime de utilização na agricultura de certas lamas provenientes de estações de tratamento de águas residuais;
- , Portaria n.º 176/96, de 3 de Outubro (II Série), que fixa os valores permitidos para a concentração de metais pesados nas lamas utilizadas na agricultura;
- , Portaria n.º 177/96, de 3 de Outubro (II Série), que fixa as regras sobre análise das lamas e dos solos.

Legislação Comunitária

- , Directiva n.º 86/278/CEE, do Conselho, de 12 de Junho, relativa à protecção do ambiente, e em especial dos solos, na utilização agrícola de lamas de depuração.

Legislação sobre os Óleos Usados

Legislação Nacional

- , Decreto-Lei n.º 88/91, de 23 de Fevereiro, que regula a actividade de armazenagem, recolha e queima de óleos usados;
- , Portaria n.º 240/92, de 25 de Março, que aprova o Regulamento de Licenciamento das Actividades de Recolha, Armazenagem, Tratamento Prévio, Regeneração, Recuperação e Combustão e Incineração dos Óleos Usados;
- , Portaria n.º 1028/92, de 5 de Novembro, que estabelece normas de segurança e identificação para o transporte de óleos usados;
- , Despacho Conjunto DGE/DGQA, de 18 Maio de 1993, que define óleos usados e as especificações a que devem obedecer os óleos usados a utilizar como combustível;
- , Decreto-Lei n.º 153/2003, de 11 de Julho, que estabelece o regime jurídico a que fica sujeita a gestão de óleos novos e óleos usados.

Legislação Comunitária

- , Directiva n.º 75/439/CEE, do Conselho, de 16 de Junho, relativa à eliminação de óleos usados;
- , Directiva n.º 87/101/CEE, do Conselho, de 22 de Dezembro, que altera a Directiva 75/439/CEE.

Legislação sobre Sucatas

Legislação Nacional

- , Decreto-Lei n.º 68/98, de 28 de Agosto, que disciplina a localização e o licenciamento da instalação e ampliação dos depósitos de ferro-velho e de veículos em fim de vida. Permite revogar o Decreto-Lei n.º 117/94, de 3 de Maio.

Legislação sobre Veículos em Fim de Vida

Legislação Nacional

- , Decreto-Lei n.º 292-B/2000, de 15 de Novembro que estabelece as regras e o procedimento a seguir na emissão de certificados de destruição qualificada de veículos em fim de vida.

Legislação Comunitária

- , Directiva n.º 2000/53/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 18 de Setembro, relativa aos veículos em fim de vida.

Legislação sobre Resíduos de Equipamentos Eléctricos e Electrónicos (REEE)

Legislação Nacional

- , Decreto-Lei n.º 20/2002, de 30 de Janeiro, que estabelece o regime jurídico a que fica sujeita a gestão de REEE, assumindo como objectivos prioritários a

prevenção da produção desses resíduos, seguida da reutilização, da reciclagem e de outras formas de valorização, por forma a reduzir a quantidade e a nocividade de resíduos a eliminar.

Legislação Comunitária

- , Directiva n.º 2002/96/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de Janeiro, relativa à prevenção, reutilização, reciclagem e outras formas de valorização dos REEE e melhorar o comportamento ambiental de todos os operadores envolvidos no ciclo de vida dos equipamentos eléctricos e electrónicos.

Legislação sobre Papel

Legislação Nacional

- , Resolução do Conselho de Ministros n.º 2/93, de 7 de Janeiro, utilização de Papel Reciclado e recolha selectiva de papel velho nos serviços da Administração.

Legislação complementar

Legislação Nacional

- , Decreto-Lei n.º 194/2000, de 21 de Agosto, que transpõe para o direito interno a Directiva n.º 96/61/CE, do Conselho, de 24 de Setembro, relativa à prevenção e controlo integrados da poluição.

Anexo B

As Tabelas B.1 e B.2 ilustram respectivamente a capacidade de tratamento das unidades de valorização orgânica e energética existentes em Portugal.

Tabela B.1 Unidades de valorização orgânica de RSU em Portugal [9]

Localização	Sistema	Ponto de situação	Capacidade (t/ano)	RUB valorizados (t/ano)	Observações
Baguim do Monte-Gondomar	LIPOR	Em construção Início de laboração (previsto): 2004	60000	60000	Compostagem (incluindo maturação) em túneis com insuflação de ar, revolvimento e regulação integral de caudais de entrada e saída; tratamento dos gases por lavagem química e biofiltros Resíduos provenientes da recolha selectiva nas habitações e junto dos grandes produtores (restaurantes, cantinas, mercados, super e hipermercados).
Riba d'Ave - Famalicão	AMAVE	Em funcionamento desde 1995- Ampliação concluída em 2003	131400	52560	Mantém-se o processo descrito na linha anterior. A maturação passará a ser efectuada através de pilhas com revolvimento em parque coberto com sistema de extração e tratamento de gases através de biofiltro. Resíduos provenientes da recolha indiferenciada
Alcaria - Fundão	COVA DA BEIRA	Em funcionamento desde Agosto 2001	50000	20000	Mantém-se o processo descrito na linha anterior. A maturação passará a ser efectuada em parque fechado. Resíduos provenientes da recolha indiferenciada.
Trajouce - Cascais	AMTRES	Em funcionamento desde 1991	150000	60000	Mantém-se o processo descrito na linha anterior. Resíduos provenientes da recolha indiferenciada.
Quinta da Caiada - Setúbal	AMARSUL / Setúbal	Em funcionamento desde 1994	50000	20000	Mantém-se o processo descrito na linha anterior. Resíduos provenientes da recolha indiferenciada.
Mina - Amadora	VALORSUL	Em construção. Início de laboração (previsto): 2004	40000 (1 ^º fase) 60000 (2 ^º fase, 2009)	40000	Digestão anaeróbia (processo termófilo, por via húmida, em duas fases) seguida de compostagem (com arejamento forçado, maturação e afinação) para estabilização do material. Produção de energia eléctrica. Resíduos provenientes de recolha selectiva da fracção orgânica dos RSU junto dos grandes produtores (restaurantes, cantinas, mercados, super e hipermercados).
Meia Serra - Santa Cruz (Madeira)	R.A. Madeira	Em construção / remodelação. Início de laboração (previsto): 1 ^º semestre 2004	23400	23400	Compostagem em pavilhão fechado, com revolvimento, arejamento forçado e tratamento de gases. Parque de maturação coberto. Resíduos provenientes de recolha selectiva da fracção orgânica dos RSU junto dos grandes produtores (hotéis, restaurantes – 1 ^ª fase) e porta-a porta (2 ^ª fase). Introdução de 5400 t/ano de material estruturante (resíduos vegetais).
Porto de Lagos - Portimão	ALGAR (Barlavento)	Em funcionamento desde 2002	5000	5000	Recepção, Trituração, fermentação e maturação de "resíduos verdes" provenientes de corte e manutenção de jardins.
Fonte Sagrada - Tavira	ALGAR (Sotavento)	Em funcionamento desde 2002	5000	5000	Recepção, Trituração, fermentação e maturação de "resíduos verdes" provenientes de corte e manutenção de jardins.
TOTAL			514800	285960	

Tabela B.2 Unidades de valorização energética de RSU em Portugal [9]

Localização	Sistema	Ponto de Situação	Capacidade (t/ano)	RUB incinerados (t/ano)	Observações
Crestins-Maia	Lipor	Em funcionamento desde Dezembro de 1999	400000	238400	Incineração em grelha. 2 linhas de queima. Resíduos provenientes de recolha indiferenciada
S. João da Talha – Loures	VALORSUL	Em funcionamento desde Janeiro de 2000	660000	393360	Incineração em grelha. 3 linhas de queima. Resíduos provenientes de recolha indiferenciada
Meia Serra-Santa Cruz	R.A. Madeira	Em fase de comissionamento. Entrada em serviço industrial (previsto): 2º semestre de 2003	126000	75096	Incineração em grelha. 2 linhas de queima. Resíduos provenientes de recolha indiferenciada
TOTAL			1186000	706856	

Anexo C

As Tabelas C.1 e C.2 apresentam os sistemas multimunicipais e municipais responsáveis pela gestão dos RSU e os municípios abrangidos por cada sistema.

Tabela C.1 Sistemas multimunicipais de gestão de RSU [9]

Sistema Multimunicipal	Decreto-Lei que cria o Sistema	Empresa concessionária	Municípios envolvidos
Vale do Minho	113/96, de 5 de Agosto	VALORMINHO, S.A.	Caminha, Melgaço, Monção, Paredes de Coura, Valença e Vila Nova da Cerveira
Vale do Lima e Baixo Cávado	114/96, de 5 de Agosto	RESULIMA, S.A.	Arcos de Valdevez, Barcelos, Espinho, Ponte da Barca, Ponte de Lima e Viana do Castelo
Baixo Cávado	117/96, de 6 de Agosto. Alterado pelo DL 471/99, de 6 de Novembro	BRAVAL, S.A.	Amarela, Braga, Póvoa do Lanhoso, Terras de Bouro, Vieira do Minho e Vila Verde
Vila Nova de Gaia e Santa Maria da Feira	86/96, de 3 de Julho	SULDOURO, S.A.	Vila Nova de Gaia e Santa Maria da Feira
Alto Tâmega	226/00, de 9 de Setembro	RESAT, S.A.	Boticas, Chaves, Montalegre, Ribeira de Pena, Valpaços e Vila Pouca de Aguiar
Baixo Tâmega	323-A/00, de 20 de Dezembro	REBAT, S.A.	Amarante, Baião, Cabaceiras de Basto, Celorico de Basto, Marco de Canavezes e Mondim de Basto
Vale do Douro Sul	93/01, de 23 de Março	RESIDOURO, S.A.	Armamar, Cinfães, Lamego, Moimenta da Beira, Penedono, Resende, S. João da Pesqueira, Sernancelhe, Tabuaço e Tarouca
Alta Estremadura	116/96, de 6 de Agosto	VALORLIS, S.A.	Batalha, Leiria, Marinha Grande, Ourém, Pombal e Porto de Mós
Litoral Centro	166/96, de 5 de Setembro	ERSUC, S.A.	Águeda, Alvaiázere, Anadia, Ansião, Arganil, Arouca, Albergaria-a-Velha, Aveiro, Cantanhede, Castanheira de Pêra, Coimbra, Condeixa-a-Nova, Estarreja, Figueira da Foz, Figueiró dos Vinhos, Góis, Ilhavo, Lousã, Mealhada, Mira, Miranda do Corvo, Montemor-o-Velho, Murtosa, Oliveira de Azeméis, Oliveira do Bairro, Ovar, Pampilhosa da Serra, Pedrógão Grande, Penacova, Penela, S. João da Madeira, Sever do Vouga, Soure, Vagos, Vale de Cambra e Vila Nova de Poiares
Oeste	366/97, de 20 de Dezembro	RESIOESTE, S.A.	Alcobaça, Alenquer, Arruda dos Vinhos, Azambuja, Bombarral, Cadaval, Caldas da Rainha, Lourinhã, Nazaré, Óbidos, Peniche, Sobral de Monte Agraço, Rio Maior e Torres Vedras
Lisboa Norte	297/94, de 21 de Novembro	VALORSUL, S.A.	Amadora, Lisboa, Loures, Odivelas e Vila Franca de Xira
Margem Sul do Tejo e Setúbal	53/97, de 4 de Março	AMARSUL, S.A.	Alcochete, Almada, Barreiro, Moita, Montijo, Palmela, Seixal, Sesimbra e Setúbal
Norte Alentejano	11/01, de 23 de Janeiro	VALNOR, S.A.	Alter do Chão, Arronches, Avis, Campo Maior, Castelo de Vide, Crato, Elvas, Fronteira, Marvão, Monforte, Nisa, Ponte de Sôr, Portalegre e Sousel
Algarve	105/95, de 20 de Maio	ALGAR	Albufeira, Alcoutim, Aljezur, Castro Marim, Faro, Lagoa, Loulé, Monchique, Olhão, Portimão, S. Brás de Alportel, Silves, Tavira, Vila do Bispo e Vila Real de Santo António

Tabela C.2 Sistemas municipais de gestão de RSU [9]

Sistema Municipal	Data de Constituição	Municípios envolvidos
Associação de Municípios do Vale do Ave (AMAVE)	91/02/18	Fafe, Guimarães, Santo Tirso, Trofa, Vila Nova de Famalicão
LIPOR – Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto	82/11/12	Espinho, Gondomar, Maia, Matosinhos, Porto, Póvoa do Varzim, Valongo e Vila do Conde
Associação de Municípios do Vale do Sousa	89/07/15	Castelo de Paiva, Felgueiras, Lousada, Paços de Ferreira, Paredes e Penafiel
Associação de Municípios do Vale do Douro Norte	91/10/10	Alijó, Mesão Frio, Murça, Peso da Régua, Sabrosa, Santa Maria de Penaguião e Vila Real
Associação de Municípios da Terra Fria do Nordeste Transmontano	1995	Bragança, Miranda do Douro, Vimioso e Vinhais
Associação de Municípios da Terra Quente Transmontana	97/09/26	Alfândega da Fé, Carrazeda de Ansiães, Macedo de Cavaleiros, Mirandela e Vila Flor
Associação de Municípios do Vale do Douro Superior	98/10/10	Freixo de Espada à Cinta, Mogadouro, Torre de Moncorvo e Vila Nova de Foz Côa
Associação de Municípios do Planalto Beirão	96/07/31	Aguiar da Beira, Carregal do Sal, Castro Daire, Gouveia, Mangualde, Mortágua, Nelas, Oliveira de Frades, Oliveira do Hospital, Penalva do Castelo, Santa Comba Dão, São Pedro do Sul, Seia, Tábua, Tondela, Vila Nova de Paiva, Viseu e Vouzela
Associação de Municípios da Cova da Beira	81/03/31	Almeida, Belmonte, Celorico da Beira, Covilhã, Figueira de Castelo Rodrigo, Fornos de Algodres, Fundão, Guarda, Manteigas, Mêda, Penamacor, Pinhel, Sabugal e Trancoso
Associação de Municípios da Raia / Pinhal	93/01/25	Castelo Branco, Idanha-a-Nova, Proença-a-Nova, Oleiros, Sertã e Vila Velha de Ródão
Associação de Municípios da Lezíria do Tejo 1 (RESIURB)	97/07/04	Almeirim, Alpiarça, Benavente, Cartaxo, Chamusca, Coruche e Salvaterra de Magos
Associação de Municípios do Médio Tejo 1 (AMARTEJO)	96/12/16	Abrantes, Gavião, Mação, Sardoal e Vila de Rei
Associação de Municípios do Médio Tejo 2 (RESITEJO)	1996	Alcanena, Chamusca, Constância, Entroncamento, Ferreira do Zêzere, Golegã, Santarém, Tomar, Torres Novas e Vila Nova da Barquinha
Associação de Municípios de Cascais, Mafra, Oeiras e Sintra para o tratamento de Resíduos Sólidos (AMTRES)	88/05/19	Cascais, Mafra, Oeiras e Sintra
Associação de Municípios do Distrito de Évora (AMDE)	85/08/23	Alandroal, Arraiolos, Borba, Estremoz, Évora, Montemor-o-Novo, Mora, Mourão, Redondo, Reguengos de Monsaraz, Vendas Novas e Vila Viçosa
Associação de Municípios Alentejanos para a Gestão Regional do Ambiente (AMAGRA)	01/03/05	Alcácer do Sal, Grândola, Odemira, Santiago do Cacém, Sines, Aljustrel e Ferreira do Alentejo
Associação de Municípios do Alentejo Central (AMCAL)	99/03/16	Alvito, Cuba, Portel, Viana do Alentejo e Vidigueira
Associação de Municípios Alentejanos para a Gestão do Ambiente (AMALGA)	99/02	Almodôvar, Barrancos, Beja, Castro Verde, Mértola, Moura, Ourique e Serpa

Anexo D

Neste Anexo pretende listar-se, por ordem alfabética, a designação das Câmaras Municipais que responderam aos inquéritos, as quais são a seguir apresentadas:

- , Câmara Municipal de Albufeira;
- , Câmara Municipal de Alcobaça;
- , Câmara Municipal de Aljustrel;
- , Câmara Municipal de Alvaiázere;
- , Câmara Municipal de Alvito;
- , Câmara Municipal de Arganil;
- , Câmara Municipal de Arruda dos Vinhos;
- , Câmara Municipal de Aveiro;
- , Câmara Municipal do Barreiro;
- , Câmara Municipal de Beja;
- , Câmara Municipal de Benavente;
- , Câmara Municipal da Calheta;
- , Câmara Municipal de Câmara de Lobos;
- , Câmara Municipal de Carrazeda de Ansiães;
- , Câmara Municipal de Castanheira de Pêra;
- , Câmara Municipal de Castelo Branco;
- , Câmara Municipal de Castro Daire;
- , Câmara Municipal de Castro Marim;
- , Câmara Municipal de Celorico de Basto;
- , Câmara Municipal de Coruche;
- , Câmara Municipal do Corvo;
- , Câmara Municipal da Covilhã;
- , Câmara Municipal de Espinho;
- , Câmara Municipal de Esposende;
- , Câmara Municipal de Faro;

- , Câmara Municipal de Figueira da Foz;
- , Câmara Municipal de Figueira de Castelo Rodrigo;
- , Câmara Municipal de Figueiró dos Vinhos;
- , Câmara Municipal de Freixo de Espada à Cinta;
- , Câmara Municipal de Fronteira;
- , Câmara Municipal do Funchal;
- , Câmara Municipal do Fundão;
- , Câmara Municipal de Gondomar;
- , Câmara Municipal de Gouveia;
- , Câmara Municipal de Guimarães;
- , Câmara Municipal de Idanha-a-Nova;
- , Câmara Municipal de Ílhavo;
- , Câmara Municipal de Lagos;
- , Câmara Municipal de Lisboa;
- , Câmara Municipal de Loulé;
- , Câmara Municipal de Loures;
- , Câmara Municipal de Lourinhã;
- , Câmara Municipal de Lousada;
- , Câmara Municipal de Macedo de Cavaleiros;
- , Câmara Municipal da Madalena;
- , Câmara Municipal da Maia;
- , Câmara Municipal de Mangualde;
- , Câmara Municipal da Marinha Grande;
- , Câmara Municipal de Marvão;
- , Câmara Municipal de Matosinhos;
- , Câmara Municipal de Mesão Frio;
- , Câmara Municipal de Mirandela;

- , Câmara Municipal do Mogadouro;
- , Câmara Municipal da Moita;
- , Câmara Municipal de Monchique;
- , Câmara Municipal de Mora;
- , Câmara Municipal de Murtosa;
- , Câmara Municipal de Óbidos;
- , Câmara Municipal de Odemira;
- , Câmara Municipal de Odivelas;
- , Câmara Municipal de Oeiras;
- , Câmara Municipal de Oliveira de Azeméis;
- , Câmara Municipal de Oliveira de Frades;
- , Câmara Municipal do Bairro;
- , Câmara Municipal de Ovar;
- , Câmara Municipal de Palmela;
- , Câmara Municipal de Pampilhosa da Serra;
- , Câmara Municipal de Paredes;
- , Câmara Municipal de Penafiel;
- , Câmara Municipal de Penamacor;
- , Câmara Municipal de Penedono;
- , Câmara Municipal de Pombal;
- , Câmara Municipal de Ponta do Sol;
- , Câmara Municipal de Portalegre;
- , Câmara Municipal de Portel;
- , Câmara Municipal de Portimão;
- , Câmara Municipal do Porto;
- , Câmara Municipal de Porto de Mós;
- , Câmara Municipal de Porto Moniz;

- , Câmara Municipal de Porto Santo;
- , Câmara Municipal de Póvoa do Varzim;
- , Câmara Municipal de Proença-a-Nova;
- , Câmara Municipal de Reguengos de Monsaraz;
- , Câmara Municipal da Ribeira Grande;
- , Câmara Municipal de Sabrosa;
- , Câmara Municipal de Sabugal;
- , Câmara Municipal de Santana;
- , Câmara Municipal de Santarém;
- , Câmara Municipal de São Brás de Alportel;
- , Câmara Municipal do Sardoal;
- , Câmara Municipal de Serpa;
- , Câmara Municipal de Setúbal;
- , Câmara Municipal de Sever do Vouga;
- , Câmara Municipal de Silves;
- , Câmara Municipal de Soure;
- , Câmara Municipal de Tavira;
- , Câmara Municipal de Tomar;
- , Câmara Municipal de Torres Vedras;
- , Câmara Municipal de Vagos;
- , Câmara Municipal de Valongo;
- , Câmara Municipal de Velas;
- , Câmara Municipal de Vila de Rei;
- , Câmara Municipal de Vila do Porto;
- , Câmara Municipal de Vila Flôr;
- , Câmara Municipal de Vila Franca de Xira;
- , Câmara Municipal de Vila Franca do Campo;

- , Câmara Municipal de Vila Nova de Cerveira;
- , Câmara Municipal de Vila Nova de Famalicão;
- , Câmara Municipal de Vila Nova de Poiares;
- , Câmara Municipal de Vimioso;
- , Câmara Municipal de Vinhais.