

**Grupo de Disciplinas de Ecologia da Hidrosfera**

**Localização de Instalações de Tratamento de Resíduos  
Sólidos Urbanos  
Aplicação à Área Metropolitana de Lisboa**

Por

Joana Reis Vieira Henriques Simões

“Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade  
Nova de Lisboa para a obtenção do grau de Mestre em Bioenergia”

Orientador: Professor Doutor Marco Painho (ISEGI)

Co-orientadora: Professora Benilde Mendes (GDEH)

Monte de Caparica

2009



## **Agradecimentos**

Ao Orientador deste trabalho, o Professor Doutor Marco Painho, pela sugestões e correcções apresentadas e pela visão crítica e construtiva do trabalho.

À Co-Orientadora, Professora Benilde Mendes, pelas correcções apresentadas ao longo do trabalho, pelo apoio prestado e pela disponibilidade.

À Sra. D. Lurdes Carvalho, da Secretaria do GDEH, pela ajuda no envio de faxes às Câmaras Municipais e pelo apoio prestado.

Às Câmaras Municipais de Lisboa, Alcochete, Oeiras, Cascais, Mafra, Montijo, Barreiro, Palmela, Vila Franca de Xira, Setúbal, Loures, Moita, Odivelas, Amadora, Sesimbra e à Área Metropolitana de Lisboa, pelo envio da rede viária.

Às entidades gestoras de resíduos sólidos urbanos da Área Metropolitana de Lisboa, AMARSUL, AMTRES/Tratolixo e Valorsul, pelo envio de informação e pelos esclarecimentos prestados.

À Sociedade Ponto Verde, pelo envio das especificações dos resíduos de embalagem que são aceites para retoma e posterior valorização.

E a todos os que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, com destaque para Marcelo Rios, Gil Assunção, Luís Pereira, Alice Simões, João Simões, Catarina Simões, Luís Silva, Andreia Lino Neto, Gisela Fernandes.



## Resumo

As sociedades actuais defrontam-se com vários desafios de índole ambiental, sendo de particular destaque a produção crescente de resíduos sólidos urbanos.

Pretende-se a longo prazo passar de uma sociedade de consumo desenfreado e de desperdício para uma sociedade de reciclagem, na qual a produção de resíduos sólidos urbanos é mínima e estes são vistos como um recurso a valorizar.

Para isso, os RSU não devem ser encarados como um objecto indiferenciado, mas sim separados nas suas várias componentes. Estes constituintes devem ser analisados do ponto de vista físico-químico e encaminhados para o ou os locais mais apropriados ao seu tratamento.

Os Sistemas de Informação Geográfica desempenham um papel fundamental como ferramenta de apoio à decisão, permitindo determinar qual a instalação de tratamento mais próxima do local de geração de RSU e a área de influência do ponto de vista do produtor de RSU e das instalações de tratamento de resíduos (ponto de vista do licenciamento e planeamento), o que se consegue através de análise de redes, isto é, operações de simulação em ambiente computacional que permitem determinar o caminho mais curto entre dois pontos e otimizar as distâncias.

Portugal tem vindo a evoluir o seu sistema de gestão de RSU de acordo com as orientações internacionais, que pretendem reduzir o volume de resíduos depositado em aterros, retirando ao RSU a fracção biodegradável para posterior valorização orgânica e produção de composto com valor acrescentado. No entanto, temos vindo a falhar no cumprimento das metas de reciclagem e no correcto encaminhamento de resíduos, sendo ainda a percentagem maioritária colocada em aterro sanitário.

Este trabalho tem como objectivo fornecer uma ferramenta que permita determinar os vários destinos adequados ao tratamento de um determinado resíduo e encontrar, com o apoio da informação geográfica, a instalação mais próxima de um dado local de geração e a área de influência do ponto de vista do produtor/ gestor do RSU e do licenciamento e planeamento de novas instalações. Pretende-se desta forma minimizar os custos em transporte e verificar se uma dada área está bem servida em termos de estações de tratamento, não só em número, mas também em tipo.

Esta ferramenta foi aplicada na Área Metropolitana de Lisboa, que é responsável por cerca de 30% da produção de resíduos a nível nacional e aglomera mais de um quarto da população nacional.

Conclui-se que a Área Metropolitana de Lisboa está bem servida a nível de estações de tratamento, especialmente ecocentros e estações de triagem e principalmente na região a Sul do Tejo e no concelho de Lisboa. Nota-se que a distância de pontos de geração escolhidos a título de exemplo aos locais mais adequados para tratamento da maior percentagem do constituinte de RSU varia entre 4 e 53 km, sendo a maior distância devida à localização da única instalação de valorização energética da AML. De uma forma geral, os locais de tratamento encontram-se a distâncias inferiores a 30 km (excepto a zona de Mafra), não justificando a instalação de estações de transferência nos locais considerados. Contudo, alerta-se para a importância da instalação de estações de transferência em aglomerados populacionais com maior produção de resíduos, com o objectivo de concentrar os RSU num único local e minimizar a frequência de transporte.

Finalmente, destaca-se o investimento em novas infraestruturas, principalmente por parte da empresa AMTRES / TratoLixo, que é responsável pela gestão de resíduos em Cascais, Oeiras, Sintra e Mafra, concelhos que apresentam maiores lacunas ao nível das instalações de tratamento de resíduos. Considera-se importante o estabelecimento de protocolos entre as várias entidades gestoras, de forma a garantir o correcto encaminhamento dos resíduos e a minimização do seu transporte.



## Abstract

Increasing solid waste production is one of the many environmental challenges we face today.

In the long run, human societies need to become recycling societies. Solid waste production should be minimized. Waste should be seen as a resource. It should be separated. Each component should be physically and chemically analyzed and sent to the appropriate treatment.

Geographic Information Systems (GIS) play a key role as a support decision tool. With GIS one can determine the closest facility of solid waste generation sites and the service areas for a solid waste producer and for licensing and management. This can be achieved using network analysis, which determine the shortest path between two points and calculate optimized paths.

Portugal has been evolving its solid waste management system according to international policies that aim to reduce landfill disposal and add value to the biodegradable solid waste fraction. However, we have been missing the EU recycling targets. Landfills still have the highest share in disposal.

This work provides a tool to determine the most adequate disposal options for a given solid waste and, using GIS, to find the closest facility and the service areas from a producer/solid waste manager point of view and from a licensing and planning point of view. Using this tool, the user can reduce solid waste transportation costs and he can check if a given area has different types of solid waste disposal facilities in a sufficient number.

We applied this tool to the Lisbon Metropolitan Area (Área Metropolitana de Lisboa), which is responsible for about 30% solid waste production in Portugal and has more than one fourth of the Portuguese population.

We can conclude that this area has a sufficient number of solid waste disposal facilities, specially in the south area and in the Lisbon area and particularly recycling centres. The distance between production points chosen as an example and facilities varies between 4 and 53 km. Disposal facilities are within 30 km (except for the Mafra area) of the production areas. Transfer stations are therefore not needed. However, it is important to note that transfer stations should be installed in populated areas with high solid waste production to minimize transportation frequency.

The solid waste disposal company AMTRES/Tratolixo, responsible for solid waste production in Cascais, Oeiras, Sintra and Mafra, is planning new disposal facilities. These areas were identified as lacking disposal facilities. It is also important to establish protocols between solid waste disposal companies so solid waste can have a correct treatment and transportation is minimized.



# Índice

<b>1. Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Produção de resíduos sólidos em Portugal e na União Europeia	1
1.2 Composição e destino final de resíduos sólidos em Portugal e na União Europeia	3
1.3. Instrumentos Legislativos	5
1.3.1 PERSU II – Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2007-2016	7
1.4 Combustíveis derivados de resíduos	10
1.5 Impacte ambiental da produção transporte, tratamento de resíduos	11
1.6 RSU e Sistemas de Informação Geográfica	12
1.7 Objectivos do trabalho	13
<b>2. Resíduos sólidos urbanos</b>	<b>14</b>
2.1 Características Físicas, Químicas e Biológicas de Resíduos Sólidos Urbanos	15
2.1.1 Peso Específico	15
2.1.2 Conteúdo em humidade	16
2.1.3 Tamanho das partículas e distribuição de tamanhos	17
2.1.4 Capacidade de campo	17
2.1.5 Permeabilidade do resíduo compactado	17
2.1.6 Análise química dos resíduos sólidos urbanos (matéria volátil, carbono fixo e percentagem não combustível)	18
2.1.7 Ponto de fusão das cinzas	18
2.1.8 Análise elementar	18
2.1.9 Poder calorífico	19
2.1.10 Biodegradabilidade	20
2.2 Tipos de resíduos constituintes dos RSU	20
2.2.1 Papel e cartão	20
2.2.2 Plástico	20
2.2.3 Vidro	21
2.2.4 Restos de comida e resíduos verdes	21
2.2.5 Têxtil	21
2.3 Possibilidade de reciclagem de materiais constituintes de RSU	21
<b>3. Soluções de Tratamento de Resíduos</b>	<b>23</b>
3.1 Deposição em aterro sanitário	23
3.2 Valorização energética	25
3.2.1 Combustão	25
3.2.2 Gaseificação	26
3.2.3 Pirólise	26
3.3 Valorização orgânica	26
3.3.1 Compostagem	27
3.3.2 Digestão Anaeróbia	27
3.4 Reciclagem	28
3.4.1 Sociedade Ponto Verde 	28
3.4.2 Papel e cartão	28
3.4.3 Vidro	30
3.4.4 Plástico	30
3.4.5 Metal	31
3.4.6 Madeira	32

<b>4. Área Metropolitana de Lisboa</b>	<b>34</b>
4.1 Caracterização	35
4.1.1 População	35
4.1.2 Resíduos	35
4.1.3 Sistemas de Gestão de RSU na Área Metropolitana de Lisboa	37
4.1.4 Circuitos de recolha e tratamento de resíduos na AML	38
<b>5. Sistemas de Informação Geográfica e RSU</b>	<b>41</b>
5.1 Sistemas de Informação Geográfica	41
5.2 SIG e gestão de RSU	42
5.3 Constituição de uma base de dados geográfica de RSU	45
5.3.1 Critérios de determinação do destino do resíduo	46
5.4 Determinação do destino final	47
5.5 Locais de tratamento de resíduos	50
<b>6. Determinação do local mais adequado para tratamento do resíduo</b>	<b>54</b>
6.1 Criação da rede	54
6.2 Análise da rede	57
6.3 Instalação mais próxima	57
6.4 Instalação mais próxima: exemplos de utilização	59
6.5 Área de influência	62
6.6 Área de influência: exemplos de utilização	63
6.6.1 Do ponto de vista do produtor/gestor de resíduos sólidos urbanos	63
6.6.2 Do ponto de vista do licenciamento e planeamento	65
6.7 Interface Gráfica e disponibilização do programa	67
<b>7. Discussão</b>	<b>68</b>
<b>8. Conclusões</b>	<b>70</b>
<b>Referências Bibliográficas</b>	<b>71</b>

## Lista de Figuras

Figura 1.1. Evolução da produção de resíduos urbanos e PIB a preços constantes	1
Figura 1.2. Produção de resíduos urbanos e captação diária em Portugal continental	1
Figura 1.3. Produção de resíduos em 2006 por região em Portugal continental	2
Figura 1.4. Comparação entre a produção de resíduos urbanos em Portugal e na UE	2
Figura 1.5. Tendências de crescimento de resíduos sólidos urbanos em Portugal	3
Figura 1.6. Destínos finais de resíduos urbanos em Portugal continental	3
Figura 1.7. Evolução do destino final de resíduos sólidos urbanos em Portugal continental	4
Figura 1.8. Evolução do número de infra-estruturas em Portugal continental (APA, 2008)	5
Figura 1.9. Sistemas Multimunicipais e Municipais (PERSU II, 2007)	7
Figura 1.10. Processamento de CDR em Portugal (Dias et al., 2006)	10
Figura 1.11. Balanço das emissões de gases de efeito de estufa na gestão e tratamento de resíduos (PERSU II, 2007)	12
Figura 2.1. Tamanho típico das partículas (adaptado de Tchobanoglous et al., 1993)	17
Figura 2.2. Estrutura celulósica (Voet et al., 1999)	20
Figura 2.3. Resíduos aceites nos ecopontos da grande Lisboa (Valorsul, 2008)	22
Figura 2.4. Resíduos aceites nos ecopontos do grande Porto (Lipor, 2008)	22
Figura 3.1. Representação esquemática das camadas de um aterro sanitário (AMARSUL, 2008)	23
Figura 3.2. Esquema de um processo de incineração (adaptado de PSP incineration, 2008)	25
Figura 3.3. Diagrama de um processo de digestão anaeróbia	28
Figura 4.1. Área Metropolitana de Lisboa	34
Figura 4.2. Zonas com mais de 5000 habitantes em 1991 (AML, 2003)	35
Figura 4.3. Percentagens de resíduos recolhidos por recolha selectiva	36
Figura 4.4. Recolha selectiva na Grande Lisboa e Península de Setúbal	36
Figura 4.5. Resíduos totais produzidos na AML por destino final em 2006 (APA, 2008)	37
Figura 4.6. Sistema integrado de tratamento de resíduos (Valorsul, 2008)	38
Figura 4.7. Exemplo de um aterro sanitário numa unidade de gestão de resíduos sólidos urbanos (Quercus, 2008)	39
Figura 5.1. Esquema da base de dados	45
Figura 5.2. Alterar dados	48
Figura 5.3. Adicionar um novo resíduo	49
Figura 5.4. Escolher as tabelas que vão conter informação do novo resíduo	49
Figura 5.5. Apagar resíduo (de todas as tabelas onde é referenciado)	49
Figura 5.6. Calcular destino	50
Figura 5.7. Locais de tratamento de RSU já existentes (Valorsul, 2008)	51
Figura 5.8. Locais de tratamento da Tratalixo/AMTRES	52
Figura 5.9. Locais de tratamento da AMARSUL (Sesimbra, Palmela, Setúbal, Moita e Barreiro)	52
Figura 5.10. Locais de tratamento da AMARSUL (Seixal e Almada)	53
Figura 5.11. Locais de tratamento da AMARSUL (Alcochete e Montijo)	53
Figura 6.1. Rede viária fornecida pela AML	54
Figura 6.2. Rede viária da AML fornecida pelas Câmaras Municipais	55
Figura 6.3. Falta de conectividade na rede fornecida pelas Câmaras Municipais	55
Figura 6.4. Troços repetidos na rede fornecida pelas Câmaras Municipais	56
Figura 6.5. Rede viária simplificada utilizada neste trabalho	56
Figura 6.6. Formulário de escolha do resíduo	57
Figura 6.7. Escolher outro tratamento	58
Figura 6.8. Interface de determinação do local mais próximo (1/2)	58
Figura 6.9. Interface de determinação do local mais próximo (2/2)	58
Figura 6.10. Interface geográfica	59
Figura 6.11. Instalação de valorização orgânica mais próxima para a zona de Mafra	60
Figura 6.12. Instalação de reciclagem mais próxima para a zona de Lisboa	60
Figura 6.13. Ecocentro mais próximo para a zona de Almada	61
Figura 6.14. Aterro mais próximo para a zona de Setúbal	61
Figura 6.15. Formulário de área de influência	62
Figura 6.16. Área de influência de um resíduo produzido na zona de Mafra	63
Figura 6.17. Área de influência de um resíduo produzido na zona de Lisboa	63
Figura 6.18. Área de influência de um resíduo produzido na zona de Almada	64
Figura 6.19. Área de influência de um resíduo produzido na zona de Setúbal	64
Figura 6.20. Áreas de influência das instalações de reciclagem	65

<i>Figura 6.21. Áreas de influência de aterros sanitários</i>	65
<i>Figura 6.22. Área de influência de instalação de valorização energética</i>	66
<i>Figura 6.23. Áreas de influência de instalações de valorização orgânica</i>	66
<i>Figura 6.24. Interface Gráfica</i>	67

## Lista de Quadros

Quadro 1-1. Instrumentos de Planeamento (DL n° 178/2006)	6
Quadro 1-2. Legislação Aplicável (IA, 2007; PERSU II, 2007; APA, 2008)	6
Quadro 1-3. Metas do PERSU e valores reais para 2000 (em %) (APA, 2008)	7
Quadro 1-4. Eixos de intervenção e medidas de acção propostas no PIRSUE	8
Quadro 1-5. Eixos de Actuação do PERSU II (2007-2016)	9
Quadro 1-6. Metas PERSU II (Embalagens, em %) (PERSU II, 2007)	9
Quadro 1-7. Metas PERSU II (Biodegradáveis, em %) (PERSU II, 2007)	9
Quadro 1-8. Impactes ambientais do tratamento, deposição e transporte de resíduos	11
Quadro 2-1. Fontes de resíduos numa comunidade	14
Quadro 2-2. Composição típica de resíduos urbanos (APA, 2008)	15
Quadro 2-3. Peso volúmico dos constituintes dos resíduos sólidos urbanos não compactados (Tchobanoglous et al., 1993)	16
Quadro 2-4. Teor em humidade dos constituintes dos resíduos sólidos urbanos	16
Quadro 2-5. Análise química dos principais constituintes dos resíduos sólidos urbanos (Tchobanoglous et al., 1993)	18
Quadro 2-6. Análise elementar dos principais constituintes dos resíduos sólidos urbanos	19
Quadro 2-7. Características químicas dos constituintes dos resíduos sólidos urbanos	19
Quadro 2-8. Fração biodegradável dos constituintes dos resíduos sólidos urbanos	20
Quadro 2-9. Tipos de Plásticos (Tchobanoglous et al., 1993)	20
Quadro 2-10. Materiais constituintes dos RSU recuperados para reciclagem	21
Quadro 3-1. Condições gerais a que os aterros têm de obedecer (DL n° 152/2002)	24
Quadro 3-2. Requisitos mínimos a que os aterros de resíduos não perigosos devem obedecer	24
Quadro 3-3. Tipos de valorização energética (Tchobanoglous et al., 1993)	25
Quadro 3-4. Fracções resultantes da pirólise (Tchobanoglous et al., 1993)	26
Quadro 3-5. Especificações para resíduos de papel/ cartão (SPV, 2007)	29
Quadro 3-6. Limites de aceitação de teores de humidade (SPV, 2007)	30
Quadro 3-7. Composição do lote (SPV, 2007)	30
Quadro 3-8. Especificações para resíduos de plástico por tipo (SPV, 2007)	31
Quadro 3-9. Especificações para resíduos metálicos (SPV, 2007)	32
Quadro 3-10. Especificações para resíduos de Madeira (SPV, 2007)	33
Quadro 4-1. Composição média de RSU da AML em 2005 (Valorsul, 2008)	36
Quadro 4-2. Empresas responsáveis pela gestão dos resíduos sólidos urbanos da AML	37
Quadro 4-3. Resíduos recolhidos pelos sistemas que operam na AML em 2006 (APA, 2008)	37
Quadro 4-4. Resíduos sólidos urbanos encaminhados por destino final em 2006 (APA, 2008)	37
Quadro 5-1. Campos e características dos campos das tabelas da base de dados	46
Quadro 5-2. Percentagem de refugo dos fluxos recebidos no centro de triagem	47
Quadro 5-3. Parâmetros relevantes para as operações de remoção e valorização	47
Quadro 5-4. Coordenadas dos locais de tratamento de RSU já existentes	51
Quadro 6-1. Distância entre o local de geração e o local de tratamento	62

## Lista de Acrónimos

Acrónimo	Designação
AdZC	Águas do Zêzere e Côa
AML	Área Metropolitana de Lisboa
AMTRES	Associação de Municípios de Cascais, Mafra, Oeiras e Sintra para o Tratamento de Resíduos Sólidos
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
CDR	Combustíveis derivados de resíduos
CIVTRS	Centro integrado de valorização e tratamento de resíduos sólidos
CTE	Central de triagem e ecocentro
CTRSU	Central de tratamento de resíduos sólidos urbanos
DL	Decreto-Lei
dwg	<i>Design web format</i> , formato de ficheiros típico do <i>Autocad</i>
EIA	Estudos de Impacte Ambiental
ENRRUB(DA)	Estratégia nacional para a redução dos resíduos urbanos biodegradáveis (destinados aos aterros)
ETAL	Estação de tratamento de águas lixiviantes
ETVO	Estação de tratamento e valorização orgânica
INR	Instituto Nacional de Resíduos (agora Agência Portuguesa do Ambiente)
kml	<i>Keyhole markup language</i> , formato dos ficheiros do <i>Google Earth</i>
mdb	Extensão da base de dados do programa <i>Microsoft Access (Access DataBase)</i>
MDT	Modelo Digital de Terreno
MBT	Tratamento mecânico e biológico
mxd	Formato de ficheiros utilizado pelo <i>ArcGIS</i>
ODBC	<i>Open database connectivity</i> , estabelece a ligação a uma base de dados
PCI	Poder Calorífico Inferior
PCS	Poder Calorífico Superior
PERSU	Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos
PIB	Produto Interno Bruto
PIRSUE	Plano de Intervenção de Resíduos Sólidos Urbanos e Equiparados
QREN	Quadro de Referência Estratégico Nacional
RE	Resíduos de embalagens
RUB	Resíduos urbanos biodegradáveis
RSU	Resíduos sólidos urbanos
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
shp	<i>Shapefile</i> , formato de ficheiros típico de dados vectoriais
SPV	Sociedade Ponto Verde
SQL	<i>Structured Query Language</i>
txt	<i>Text file</i> , ficheiro de texto
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>

# 1. Introdução

O aumento da população aliado ao crescimento económico, que permite um maior poder de compra por parte das famílias, acarreta até certo ponto um aumento na produção de resíduos, não só em quantidade, mas também em diversidade.

A Figura 1.1 mostra a evolução do produto interno bruto (PIB) português e a produção de resíduos de 1995 a 2005. Observa-se que a produção de resíduos se encontra fortemente relacionada com o consumo e com o crescimento económico, o que indica que a sociedade está ainda fortemente materializada.

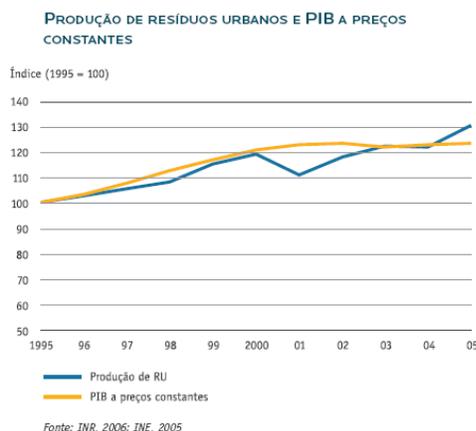


Figura 1.1. Evolução da produção de resíduos urbanos e PIB a preços constantes (IA, 2006)

## 1.1 Produção de resíduos sólidos em Portugal e na União Europeia

Portugal produziu em média cerca de 4,7 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos em 2007 (Figura 1.2), o que corresponde a cerca de 1,3 kg por habitante e por dia, um valor que se tem mantido praticamente constante desde 2002 (APA, 2008).

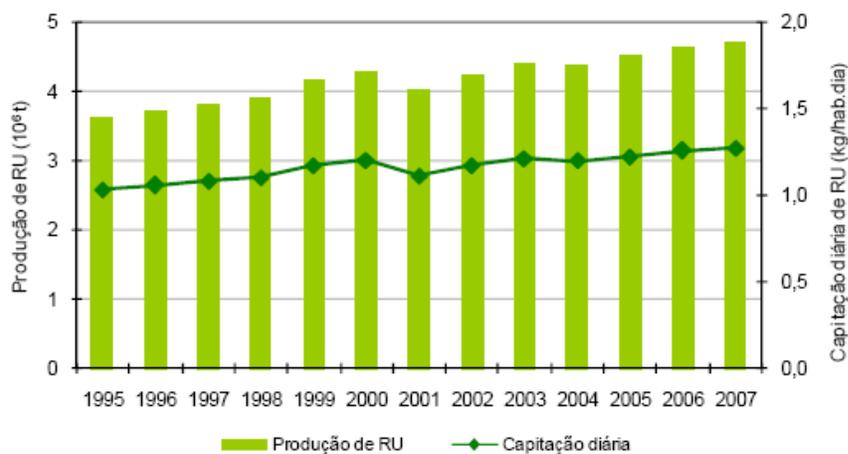
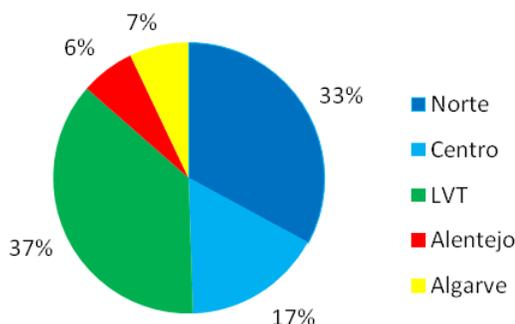


Figura 1.2. Produção de resíduos urbanos e capitação diária em Portugal continental (APA, 2008)

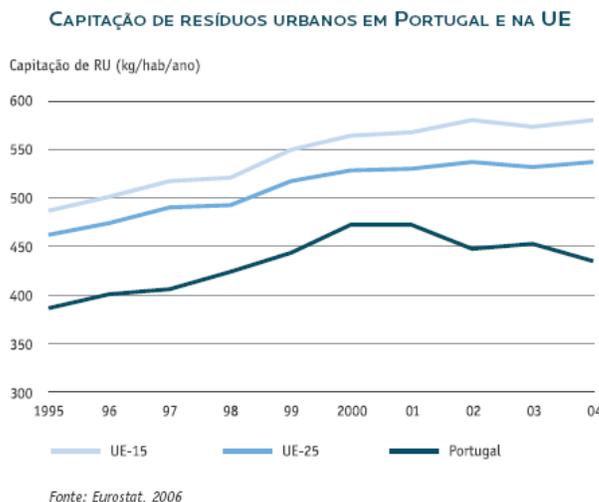
A região de Lisboa e Vale do Tejo é a que maior quantidade de resíduos sólidos urbanos produz (Figura 1.3), e juntamente com a região Norte, representa mais de 50 % da produção total em Portugal (APA, 2008).



**Figura 1.3. Produção de resíduos em 2006 por região em Portugal continental (APA, 2008)**

A tendência de crescimento da produção de resíduos não é exclusiva de Portugal. A Figura 1.4 mostra um aumento também na União Europeia, considerada quer a 15 quer a 25 Estados-Membros (IA, 2006).

Portugal é comparativamente ainda um dos Estados-Membros com menor capitação de resíduos urbanos (cerca de 434 kg/hab e ano em 2005) (IA, 2006).



**Figura 1.4. Comparação entre a produção de resíduos urbanos em Portugal e na UE (15 e 25 Estados-Membros) (IA, 2006)**

Apesar de ter uma das mais baixas capitações diárias de produção de resíduos da União Europeia, a tendência é para um crescimento da produção de resíduos. Este crescimento está fortemente relacionado com o aumento do consumo e com o crescimento económico (POTVT, 2007).

Prevê-se um aumento da produção de resíduos sólidos urbanos em Portugal até 2009 (ENRRUB, 2003), ano em que esta produção deverá atingir cerca de 5,2 milhões de toneladas (Figura 1.5). Em 2016, a produção de resíduos sólidos urbanos será de cerca de 5,1 milhões de toneladas, representando um decréscimo de menos de 2% (ENRRUB, 2003).

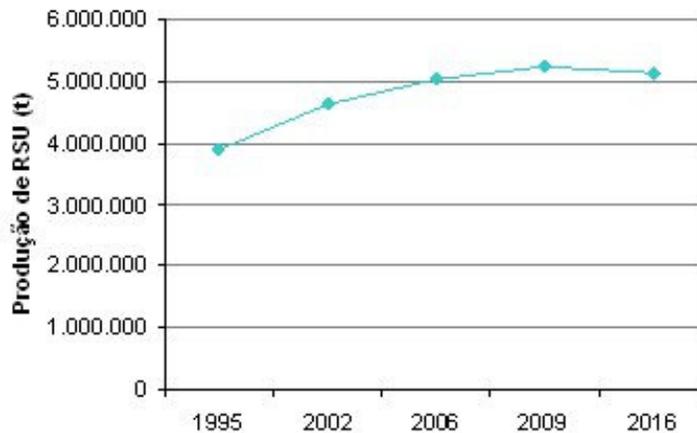


Figura 1.5. Tendências de crescimento de resíduos sólidos urbanos em Portugal (ENRRUB, 2003)

## 1.2 Composição e destino final de resíduos sólidos em Portugal e na União Europeia

No que respeita à composição típica dos resíduos sólidos urbanos, a maior fracção corresponde a resíduos biodegradáveis (APA, 2008), como restos de alimentos, verdes, cartão e papel (cerca de 56% em 2006).

É difícil prever como evoluirá a composição de resíduos ao longo do tempo, uma vez que a sua composição depende não só do crescimento económico e do crescimento populacional, mas também das políticas de gestão e das orientações comunitárias em matéria de resíduos. Contudo, não se prevê uma mudança relevante na sua composição (ENRRUB, 2003). É também possível que os avanços tecnológicos alterem esta configuração.

Nos últimos 60 anos a percentagem de resíduos plásticos tem vindo a aumentar devido ao seu uso generalizado; nos Estados Unidos, os restos de alimentos diminuíram na composição dos resíduos sólidos urbanos devido à introdução de trituradoras nos ralos dos lava-loiças e os resíduos de jardim aumentaram devido à proibição da sua queima (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

Em 2006, o principal destino dos resíduos sólidos urbanos, em Portugal continental, foi o aterro sanitário, seguido da valorização energética (Figura 1.6). A valorização orgânica é ainda o destino de uma percentagem reduzida de resíduos urbanos (cerca de 6%), bem como a recolha selectiva (cerca de 10%). Esta última tem vindo a aumentar (APA, 2008).

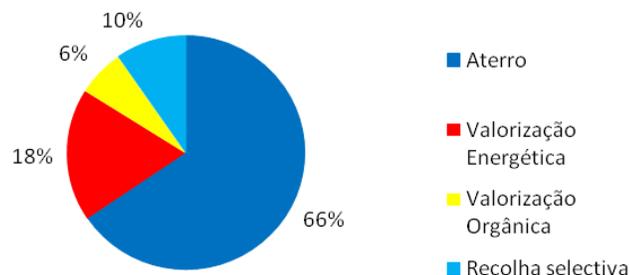
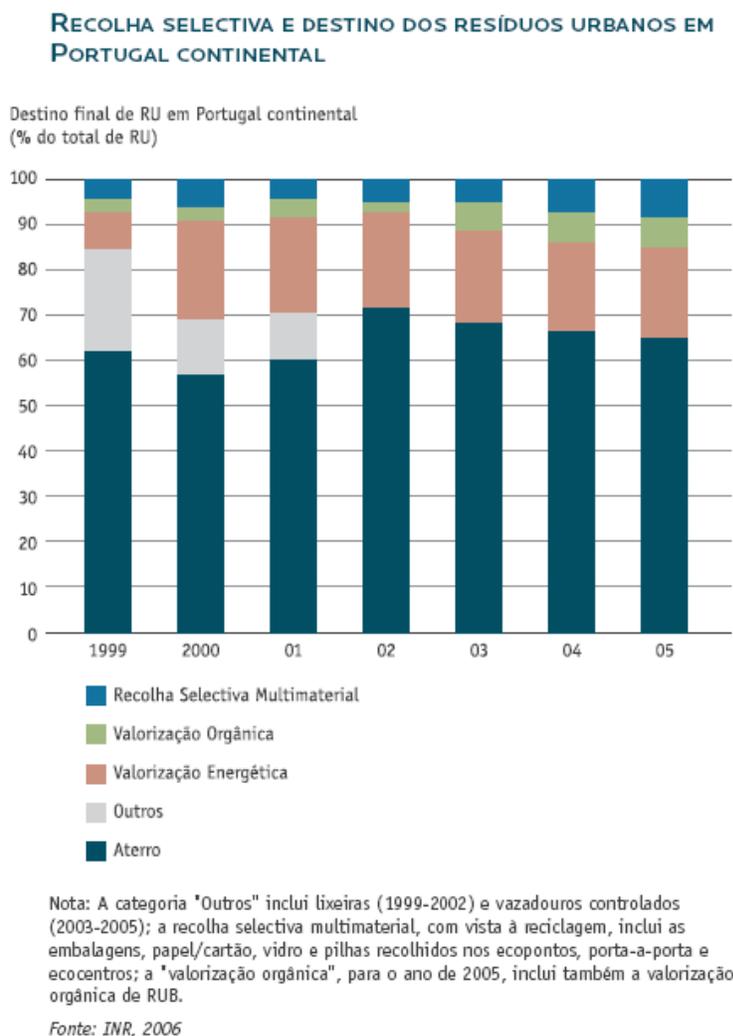


Figura 1.6. Destinos finais de resíduos urbanos em Portugal continental (APA, 2008)

A evolução dos destinos finais de resíduos urbanos em Portugal continental é apresentada na Figura 1.7.



**Figura 1.7. Evolução do destino final de resíduos sólidos urbanos em Portugal continental (IA, 2006)**

Verifica-se que o aterro sanitário é o destino preferencial.

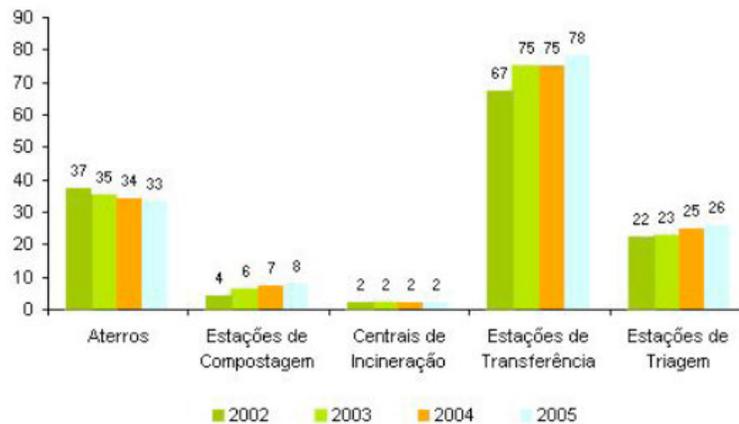
Em 2002 foi o destino final de mais de 70% dos resíduos, uma percentagem que tem vindo a diminuir ao longo do tempo, atingindo em 2006, cerca de 66% (APA, 2008). Observa-se também um aumento da recolha selectiva como destino final. Regista-se ainda que a partir de 2002 não foram encaminhados resíduos sólidos urbanos para vazadouros controlados.

Comparando a situação em Portugal em 2005 com a situação dos restantes Estados-Membros, verifica-se que Portugal ainda regista um défice significativo em termos de reciclagem material e orgânica.

Apenas 16% dos resíduos sólidos urbanos têm este destino final, contrastando com a média europeia de 27% (EU-25). Também é de referir que cerca de 66% dos resíduos sólidos urbanos são ainda depositados em aterro. A média europeia (EU-25) é de cerca de 49% (POTVT, 2007).

Salienta-se que se tem assistido, nos últimos anos, a um aumento nas infra-estruturas de gestão de resíduos (Figura 1.8), nomeadamente, centrais de compostagem, estações de transferência e estações de triagem (APA, 2008).

**Evolução do número de infra-estruturas em Portugal Continental**



Fonte: INR, SGIR

**Figura 1.8. Evolução do número de infra-estruturas em Portugal continental (APA, 2008)**

### **1.3. Instrumentos Legislativos**

A União Europeia tem dedicado especial atenção à problemática dos resíduos, pretendendo tornar-se a longo prazo uma sociedade de reciclagem que procura evitar a produção de resíduos e os utiliza como recurso.

A Decisão nº 1600/2002/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 22 de Julho, que estabelece o Sexto Programa Comunitário de Acção em Matéria de Ambiente, apoia-se nos princípios do Poluidor-Pagador, da Precaução e da Correção da poluição na fonte, de forma a “garantir uma maior eficiência na utilização dos recursos e uma melhor gestão de recursos e resíduos, a fim de assegurar padrões de produção e de consumo mais sustentáveis, dissociando desse modo a utilização dos recursos e a produção de resíduos da taxa de crescimento económico”.

A política comunitária actual assenta na Directiva Quadro “Resíduos” (Directiva 2006/12/CE, que será totalmente derogada pela Directiva 2008/98/CE a 12 de Dezembro de 2010<sup>1</sup>) e na Directiva “Aterros” (Directiva 1999/31/CE), da qual deriva a Estratégia Temática na Prevenção e Reciclagem de Resíduos. Esta última estabelece uma hierarquia de gestão de resíduos, na qual se promove a prevenção de resíduos e a sua reutilização, reciclagem e recuperação, em detrimento da sua deposição em aterros sanitários. O recurso à deposição em aterro deve ser utilizado em última instância.

Em Portugal, o Decreto-Lei nº 178/2006 estabelece o regime geral de gestão de resíduos e apresenta disposições em matéria de princípios, responsabilidade (do produtor ou dos municípios), planeamento, licenciamento e gestão de informação de resíduos. O Quadro 1-1 e o Quadro 1-2 apresentam, respectivamente, os instrumentos de planeamento preconizados neste Decreto-Lei e um resumo da legislação aplicável relevante.

<sup>1</sup> O nº2 do Artigo 1º, o Artigo 17º e o nº 4 do Artigo 18º foram alterados pela Directiva 2008/98/CE, com efeito desde 12 de Dezembro de 2008.

**Quadro 1-1. Instrumentos de Planeamento (DL nº 178/2006)**

<b>Instrumento</b>	<b>Breve Descrição</b>
Plano Nacional de Gestão de Resíduos	Orientações políticas de âmbito nacional da política de gestão de resíduos; Constituição de uma rede integrada e adequada de instalações de valorização e eliminação de resíduos, tendo em conta as melhores tecnologias disponíveis <sup>2</sup>
Plano Estratégico de Resíduos Sólidos Urbanos (PERSU)	Aprovado em Julho de 1997 Encerramento de mais de 300 lixeiras Construção de infra-estruturas para tratamento de resíduos sólidos urbanos Recolha selectiva e reciclagem multimaterial Metas específicas para 2000 e 2005 e objectivos qualitativos para 2010
Plano de Intervenção de Resíduos Sólidos Urbanos e Equiparados (PIRSUE)	Publicado no Despacho nº 454/2006, de 9 de Janeiro Forneceu directrizes para a elaboração do PERSU II
Plano Estratégico de Resíduos Sólidos Urbanos para o período de 2007 a 2016 (PERSU II)	Aprovado em 2007 Continuidade à política de gestão de resíduos, com especial ênfase nas novas exigências comunitárias e nacionais Assegurar o cumprimento dos objectivos comunitários, nomeadamente: - desvio de resíduos urbanos biodegradáveis de aterro - reciclagem e valorização de resíduos de embalagens. Regras orientadoras da disciplina a definir pelos planos multimunicipais, intermunicipais e municipais Identifica prioridades a observar no domínio de gestão de resíduos no período 2007-2016
Estratégia Nacional para a Redução de Resíduos Urbanos Biodegradáveis destinados aos Aterros (ENRRUBDA)	Apresentada em Julho de 2003 Estabelece metas e princípios orientadores para - redução na fonte (ao nível de processos de fabrico e compostagem) - recolha selectiva de matéria orgânica e de papel/cartão - valorização orgânica
Quadro de Referência Estratégico Nacional (QREN)	Definição de prioridades estratégicas nacionais e orientações para a sua prossecução Assegurar a qualificação do território e das cidades

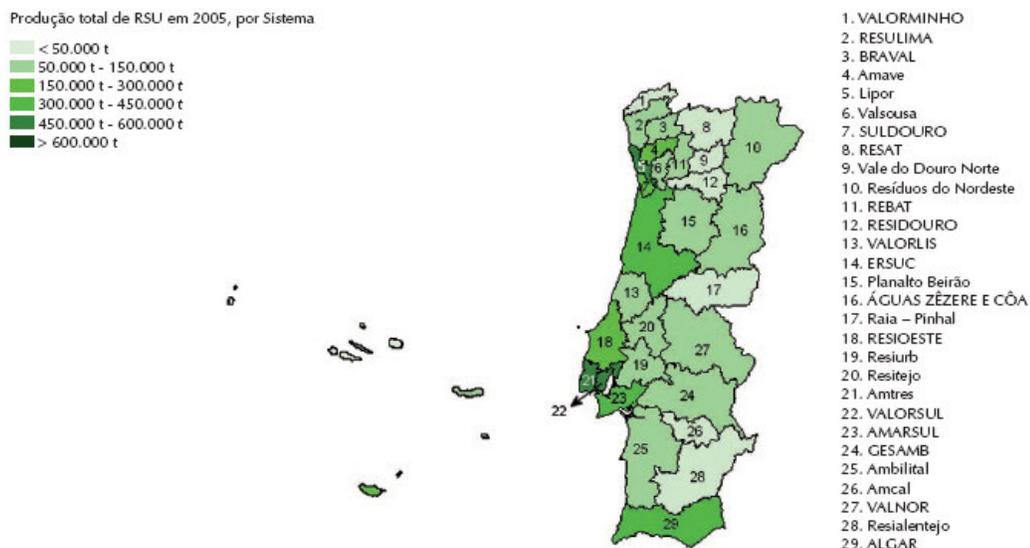
**Quadro 1-2. Legislação Aplicável (IA, 2007; PERSU II, 2007; APA, 2008)**

<b>Legislação</b>	<b>Âmbito</b>
DL nº 187/2007, 12 de Fevereiro	Aprova o PERSU II
DL nº 178/2006, 5 de Setembro	Aprova o Regime Geral de Resíduos e prevê o Plano Nacional de Gestão de Resíduos
DL nº 85/2005, 28 de Abril	Estabelece o regime a que fica sujeita a incineração e a co-incineração de resíduos
DL nº 152/2002, 23 de Maio	Estabelece o regime jurídico a que fica sujeito o procedimento para a emissão de licença, instalação, exploração, encerramento e manutenção pós-encerramento de aterros destinados à deposição de resíduos
Portaria nº 209/2004, 3 de Março	Publica a lista europeia de resíduos (LER) e define as operações de valorização e eliminação de resíduos
Portaria nº 1023/2006, 20 de Setembro	Define os elementos que devem acompanhar o pedido de licenciamento das operações de armazenagem, triagem, tratamento, valorização e eliminação de resíduos
DL nº 372/93, 29 de Outubro	Constituição de Sistemas Multimunicipais e Municipais

<sup>2</sup> Melhores tecnologias disponíveis referem-se à fase de desenvolvimento mais avançada e eficaz das actividades e dos respectivos modos de exploração, que demonstre a aptidão prática de técnicas específicas para constituir, em princípio, a base dos valores limite de emissão com vista a evitar e, quando tal não seja possível, a reduzir de um modo geral as emissões e o impacte no ambiente no seu todo (Directiva 2008/1/CE - Controlo Integrado da Poluição).

O Decreto-Lei nº 372/93 permitiu a constituição de Sistemas Multimunicipais e Municipais de Gestão de Resíduos, abrindo à iniciativa privada as actividades de recolha e tratamento de resíduos sólidos urbanos, outrora uma responsabilidade unicamente estatal (PERSU II, 2007).

Em 2002, estavam constituídos 29 sistemas de gestão de resíduo (Figura 1.9) com 37 aterros, 5 unidades de valorização, 2 unidades de incineração e 54 unidades de transferência. Estavam também instalados 133 ecocentros, 13 492 ecopontos e 18 unidades de triagem (PERSU II, 2007).



**Figura 1.9. Sistemas Multimunicipais e Municipais (PERSU II, 2007)**

Em 2007, estão em exploração 34 aterros, 8 unidades de valorização orgânica (2 exclusivamente para resíduos verdes), 2 unidades de incineração e 76 unidades de transferência. No que respeita à recolha selectiva, estão instalados 185 ecocentros, 28 723 ecopontos e 26 unidades de triagem (APA, 2008).

### 1.3.1 PERSU II – Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2007-2016

Em 1997 foi aprovado o Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos, PERSU, que tinha como objectivo o encerramento de todas as lixeiras do país e o início de uma estratégia de gestão de resíduos, a partir da criação de Sistemas Multimunicipais e Municipais, da construção de infra-estruturas de valorização e eliminação e da introdução da recolha selectiva multimaterial. O PERSU surge no contexto da Directiva Quadro de Resíduos e estabelece metas para 2000 e 2005. O Quadro 1-3 apresenta essas metas e compara-as com os valores reais (APA, 2008).

**Quadro 1-3. Metas do PERSU e valores reais para 2000 (em %) (APA, 2008)**

	1995	2000	2005	Metas 2000	Metas 2005
Redução	0	0	0	3	5
Reciclagem	4	6	9	15	25
Aterros sanitários	14	55	63	42	23
Lixeiras	73	12	0	0	0
Incineração	0	22	21	26	22
Compostagem	9	6	7	15	25

Da análise do Quadro 1-3, verifica-se que as metas estabelecidas para 2000 não foram atingidas. As metas estabelecidas para 2005 também não foram atingidas, à excepção do encerramento das lixeiras.

Com o novo Quadro Comunitário Estratégico Nacional, o QREN 2007-2013, com a mudança do panorama nacional em matéria de resíduos sólidos urbanos e com o não cumprimento de metas

previamente estabelecidas, o Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional iniciou a elaboração do PERSU II. Este plano, aprovado por Portaria em Dezembro de 2006 e mais tarde pelo Decreto-Lei nº 187/2007, de 12 de Fevereiro, define as prioridades e estabelece as metas para o período de 2007-2016.

O PERSU II vem no seguimento do Plano de Intervenção de Resíduos Sólidos Urbanos e Equiparados (PIRSUE) e da Estratégia Nacional para a Redução dos Resíduos Urbanos Biodegradáveis destinados aos Aterros (ENRRUBDA). O PIRSUE forneceu as directrizes para a elaboração do PERSU II, preconizada na medida nº 16 e define cinco eixos de intervenção, cujas medidas se encontram esquematizadas no Quadro 1-4.

**Quadro 1-4. Eixos de intervenção e medidas de acção propostas no PIRSUE (PERSU II, 2007)**

<b>Eixo de Intervenção</b>	<b>Medidas de Acção</b>
1-Deposição em aterro	1- Revisão pelo INR das autorizações concedidas e aceitação de resíduos não perigosos de origem industrial (RIB) em outros aterros de RSU 2- Criação de células para RIB em aterros de RSU 3-Reengenharia de aterros
2-Separação/ valorização na origem de RSU e de resíduos equiparados a RSU	4-Racionalização da logística da actual recolha selectiva 5-Incremento da recolha selectiva porta-a-porta 6-Desenvolvimento de esquemas de integrados de separação/recolha selectiva em zonas rurais 7-Recolha selectiva em situações particulares 8-Recolha selectiva dos resíduos equiparados a urbanos gerados na indústria e nos serviços
3- Valorização multimaterial, orgânica e energética	9-Recolha selectiva nos organismos da Administração Pública 10-Melhoria da eficiência da triagem dos fluxos de recolhas selectivas 11-Revisão das especificações técnicas para retoma de resíduos de embalagem provenientes de várias origens, nomeadamente da recolha selectiva, do TMB e da valorização energética, de forma a potenciar o crescimento dos níveis de reciclagem 12-Avaliação da valorização energética das fracções de refugo das unidades de triagem e MBT <sup>3</sup> através da produção de combustível derivado de resíduos (CDR)
4- Avaliação da integração dos sistemas de gestão de RSU	13-Avaliação de integração de sistemas de gestão de RSU
5-Elaboração de planos de gestão de resíduos	14-Elaboração de programas de acção pelos sistemas de gestão de RSU 15-Reavaliação da ENRRUBDA 16-Elaboração do PERSU II

A Estratégia Nacional para a Redução dos Resíduos Urbanos Biodegradáveis destinados aos Aterros (ENRRUBDA) é uma estratégia específica para resíduos biodegradáveis que resulta da Directiva “Aterros”. Estabelece metas e princípios orientadores, nomeadamente, a redução na fonte, com a intervenção ao nível dos processos de fabrico e compostagem em pequena escala, a recolha selectiva da matéria orgânica e de papel/ cartão “porta-a-porta”, em ecopontos/ ecocentros, com pré-tratamento mecânico e a valorização orgânica por processos aeróbios, anaeróbios e com pré-tratamento mecânico. A deposição de resíduos biodegradáveis em aterros leva à produção de biogás e de lixiviados. Os resíduos biodegradáveis podem ser valorizáveis por reciclagem, produção de composto e aproveitamento energético.

O PERSU II preconiza cinco Eixos de Actuação (Quadro 1-5).

<sup>3</sup> MBT – tratamento mecânico e biológico.

**Quadro 1-5. Eixos de Actuação do PERSU II (2007-2016)**

<b>Eixos</b>	<b>Medidas</b>
I-Prevenção: Programa Nacional	1-Redução da quantidade dos resíduos produzidos 2-Redução da perigosidade dos resíduos
II-Sensibilização/Mobilização dos cidadãos	
III-Qualificação e optimização da gestão de resíduos	1-Optimização dos sistemas de gestão de RSU 2-Sustentabilidade dos sistemas de gestão de RSU 3-Envolvimento dos sistemas na prossecução da estratégia 4-Reforço dos sistemas ao nível de infra-estruturas e equipamentos 5-Reforço da reciclagem 6-Reforço da investigação e do marketing no domínio da reciclagem 7-Estabelecimento de critérios de qualidade para os materiais reciclados, composto e CDR/ CSR 8-Abertura do Mercado de gestão das infra-estruturas de tratamento de resíduos
IV-Sistemas de informação como pilar de gestão dos RSU	
V-Qualificação e optimização da intervenção das entidades públicas no âmbito da gestão de RSU	1-Simplificação dos procedimentos de licenciamento das instalações de gestão de resíduos 2-Reforço da fiscalização/ inspecção 3-Reforço da regulação

Assim, as linhas estratégicas do PERSU II são:

- Reduzir, reutilizar, reciclar;
- Separar na origem;
- Minimizar a deposição em aterro;
- Resíduo para produção de energia (*Waste to Energy*) para a fracção “resto” (não reciclável);
- “Protocolo de Quioto”: compromisso determinante na política de resíduos;
- Informação validada a tempo de poderem tomar-se decisões;
- Estratégia de Lisboa: Sustentabilidade dos sistemas de gestão.

O PERSU II estabelece também objectivos e metas nacionais para resíduos de embalagens (RE) e para biodegradáveis (RUB), emanadas das Directivas “Aterros” e “Embalagens”, que são apresentados nos Quadro 1-6 e Quadro 1-7, respectivamente.

**Quadro 1-6. Metas PERSU II (Embalagens, em %) (PERSU II, 2007)**

		<b>2011</b>
Valorização total de RE		>60
Reciclagem total de RE		55-80
Reciclagem	Vidro	>60
	Papel e cartão	>60
	Plástico	>22,5
	Metais	>50
	Madeira	>15

**Quadro 1-7. Metas PERSU II (Biodegradáveis, em %)⁴ (PERSU II, 2007)**

	<b>2006</b>	<b>2009</b>	<b>2016</b>
Redução de RUB destinados a aterro	75	50	35

⁴ Tendo como referência a quantidade total (em peso) de RUB produzidos em 1995.

Para atingir as metas de Resíduos Biodegradáveis (RUB) prevê-se a sua reciclagem, o tratamento mecânico e biológico (com compostagem ou digestão anaeróbia) e/ou a sua valorização energética a partir da produção de combustíveis derivados de resíduos (CDR).

## 1.4 Combustíveis derivados de resíduos

Combustíveis derivados de resíduos é a designação genérica dos combustíveis obtidos a partir de resíduos, não obedecendo a características técnicas específicas (Dias *et al.*, 2006), mas tendo como característica principal um elevado poder calorífico.

Os CDR produzidos a partir de resíduos sólidos urbanos sofrem um processamento, nomeadamente uma triagem, na qual são separados os materiais não combustíveis (vidro e metais). Pode também fazer-se a separação da fracção húmida putrescível (restos de alimentos), que é encaminhada para compostagem ou digestão anaeróbia.

Têm sido desenvolvidos dois tipos de tratamento para a produção de CDR com alto conteúdo energético:

- Tratamento mecânico e biológico (MBT);
- Processo de estabilização em seco.

O tratamento biológico consiste na separação de metais, inertes e da fracção orgânica, à qual são aplicados processos de compostagem. A fracção residual daqui resultante tem elevado poder calorífico e é composta principalmente por resíduos secos de papel, plástico e têxteis (Dias *et al.*, 2006).

No processo de estabilização a seco, o resíduo sem inertes e metais é seco e estabilizado, deixando o material apto para a combustão. De acordo com a forma dos CDR, podem distinguir-se os seguintes tipos (Dias *et al.*, 2006):

- *Fluff* – material solto, de baixa densidade, podendo ser transportável pelo ar;
- *Pellets* – aglomeração de material solto em cubo, disco ou cilindro, com diâmetro inferior a 25 mm;
- *Briquette* – bloco ou cilindro de CDR produzido por aglomeração, com diâmetro superior a 25mm.

Em Portugal existem quatro Unidades de Tratamento Mecânico e Biológico em funcionamento, cujos resíduos processados provêm de RSU indiferenciados. A Figura 1.10 mostra a sua localização (pontos laranja) e a sua área de intervenção (áreas destacadas a verde). São elas a central de compostagem da Amave, no Vale do Ave, a central de compostagem da AdZC, na zona do Fundão, a central de compostagem da AMTRES, em Oeiras/Cascais e a central de compostagem da AMARSUL, em Setúbal (Dias *et al.*, 2006).

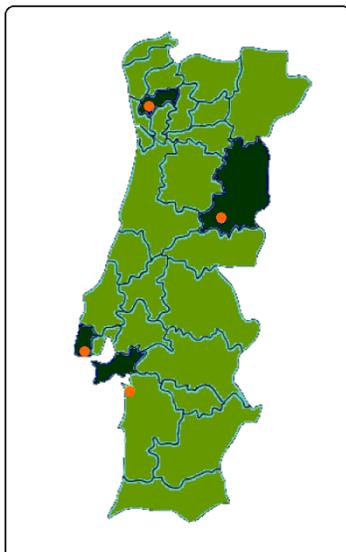


Figura 1.10. Processamento de CDR em Portugal(Dias *et al.*, 2006)

## 1.5 Impacte ambiental da produção, transporte e tratamento de resíduos

A produção de resíduos significa um desperdício de recursos. O princípio termodinâmico do aumento da entropia estipula que não há processos com um rendimento de 100%, ocorrendo sempre dissipação de energia e geração de resíduos, que deve contudo ser minimizada.

O Quadro 1-8 mostra os impactes ambientais do tratamento, deposição dos resíduos e do seu transporte para alguns indicadores (EC, 2000). Destacam-se as emissões de metano provenientes da degradação anaeróbia de resíduos em aterros e a produção de lixiviados, que devem ser encaminhados para uma estação de tratamento de águas lixivantes. A incineração de resíduos pode acarretar a emissão de dioxinas e furanos, que são compostos cancerígenas (EC, 2000).

**Quadro 1-8. Impactes ambientais do tratamento, deposição e transporte de resíduos (adaptado de EC, 2000)**

	<b>Aterro</b>	<b>Compostagem</b>	<b>Incineração</b>	<b>Reciclagem</b>	<b>Transporte</b>
<b>Ar</b>	Emissões de CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , odores	Emissões de CO <sub>2</sub> , odores	Emissões de SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , HCl, HF, COV (excepto metano), CO, CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, dioxinas, dibenzofuranos, metais pesados (Zn, Pb, Cu, As)	Emissões de poeiras	Emissões de poeiras, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , libertação de substâncias perigosas dos derrames acidentais
<b>Água</b>	Lixiviação de sais, metais pesados, matérias biodegradáveis e persistentes para as águas subterrâneas		Deposição de substâncias perigosas nas águas superficiais	Descarga de águas residuais	Risco de contaminação das águas superficiais e das águas subterrâneas devido a derrames acidentais
<b>Solo</b>	Acumulação de substâncias perigosas no solo		Deposição em aterro de escórias, cinzas volantes e resíduos	Deposição em aterro de resíduos finais	Risco de contaminação do solo por derrames acidentais
<b>Paisagem</b>	Ocupação do solo, restrição a outras utilizações do solo	Ocupação do solo, restrição a outras utilizações do solo	Intrusão visual, restrição a outras utilizações do solo	Intrusão visual	Tráfego
<b>Ecossistemas</b>	Contaminação e acumulação de substâncias tóxicas na cadeia alimentar		Contaminação e acumulação de substâncias tóxicas na cadeia alimentar		Risco de contaminação por derrames acidentais
<b>Zonas urbanas</b>	Exposição a substâncias perigosas		Exposição a substâncias perigosas	Ruído	Risco de exposição a substâncias perigosas resultantes de derrames acidentais, tráfego

O balanço das emissões de gases com efeito de estufa na gestão e tratamento de resíduos sólidos urbanos e a sua evolução até 2005 e previsões de evolução até 2020 é apresentado na Figura 1.11. Observa-se que há uma tendência para a redução das emissões directas e das emissões indirectas (consumo de energia).

A reciclagem, a valorização orgânica e o aproveitamento da energia proveniente do biogás e da incineração evitam emissões de gases de efeito de estufa. A reciclagem apresenta um maior potencial de redução indirecta de emissões, o que, num cenário com restrições de carbono, poderá estimular esta valorização e torná-la mais competitiva em termos económicos (PERSU II, 2007).

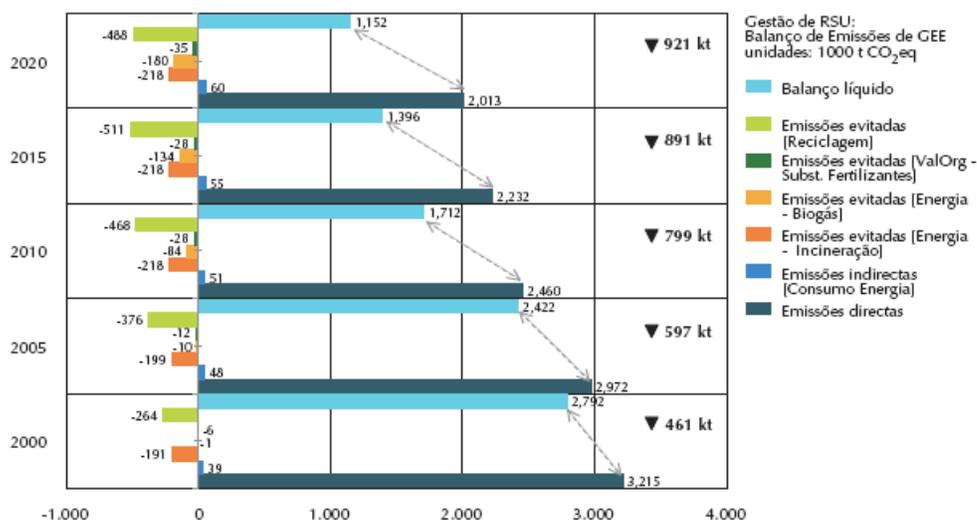


Figura 1.11. Balanço das emissões de gases de efeito de estufa na gestão e tratamento de resíduos (PERSU II, 2007)

Assim, é fundamental minimizar os impactes ambientais provocados pelo tratamento e deposição de resíduos, a partir de soluções de controlo na origem, que fomentem um aumento da eficiência, e da determinação do destino final mais adequado à valorização dos recursos e dos resíduos não só do ponto de vista ambiental, mas também económico.

## 1.6 RSU e Sistemas de Informação Geográfica

Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) pode definir-se como o conjunto de *hardware*, *software* e pessoas que permitem processar dados geográficos e geoespaciais de diferentes fontes (Memon, 2005) e em diferentes áreas, constituindo uma importante ferramenta de gestão e de apoio à decisão.

Os SIG têm sido muito utilizados como instrumentos de gestão de resíduos sólidos urbanos, especialmente na optimização das rotas de transporte dos resíduos (Karadimas *et al.*, 2006; Roviriego, 2005), na definição dos locais mais adequados para a implementação de instalações (Sadek, El-Fadel e Freiha, 2002; Costa *et al.*, 2003, Mahini e Gholamalifard, 2006; DeAngelo, 2004) e em conjugação com outros métodos de apoio à tomada de decisão (Shmelev e Powel, 2005).

Shmelev e Powell (2005) analisaram vários métodos, entre os quais, a utilização de SIG, identificando como vantagens o facto de reflectirem padrões espaciais da distribuição geográfica de actores, fluxos e zonas sensíveis e permitirem a sua análise espacial. Contudo, os SIG não têm uma dimensão temporal e não dispõem de capacidade analítica para tratar problemas reais, necessitando de ser integrados com outras técnicas para analisar comparativamente os cenários. Um outro aspecto relevante é a quantidade de informação envolvida e gerada, que pode dificultar a tomada de decisão quando os dados não são transformados em informação por métodos agregados.

Foi apenas em meados dos anos 90 que as características geográficas de uma zona começaram a ser tidas em consideração na escolha de um local para deposição e tratamento de resíduos sólidos urbanos (Leão *et al.*, 2004) e, portanto, que os SIG começaram a ser mais utilizados nesta área.

## **1.7 Objectivos do trabalho**

A produção de resíduos sólidos urbanos tem vindo a crescer em diversidade e em quantidade e as previsões para os próximos anos apontam para a continuação desta tendência. Em Portugal, o aterro sanitário tem sido o destino preferencial dos RSU, com uma percentagem de resíduos superior à média europeia.

As orientações da União Europeia em matéria de resíduos sólidos urbanos vão no sentido de minimizar a sua produção e os seus impactes, encaminhando-os para destinos mais adequados e encarando-os como futuros recursos.

Este trabalho tem assim como objectivos determinar qual ou quais os destinos finais mais adequados para um determinado resíduo, tendo em conta as suas características físico-químicas e as metas e instrumentos legislativos, e encaminhá-los para o local mais próximo.

Para conhecer e otimizar a distância a percorrer para o correcto encaminhamento dos RSU é necessário ter em consideração a informação geográfica.

Os sistemas de informação geográfica desempenham por isso um papel essencial para verificar que os RSU são tratados nos locais mais próximos e mais apropriados, ou se será necessário encontrar e estudar novos locais para o seu tratamento.

O trabalho foi realizado em duas fases. Numa primeira fase, constituiu-se uma base de dados de RSU que guarda informação relevante e que ajuda a determinar o ou os destinos finais mais aconselhados para um determinado resíduo.

A segunda fase entra em consideração com os locais de tratamento já existentes na Área Metropolitana de Lisboa, responsável por cerca de 30% do total de RSU produzidos em Portugal, e determina o local de tratamento mais próximo da zona de geração do resíduo e a área de influência do RSU (ponto de vista do produtor) e das instalações existentes (ponto de vista do licenciamento e do planeamento), verificando se a AML está bem servida em instalações de tratamento de resíduos.

## 2. Resíduos sólidos urbanos

O Decreto-Lei nº 239/97, de 9 de Setembro, define Resíduos como “quaisquer substâncias ou objectos de que o detentor se desfaz ou tem intenção ou obrigação de se desfazer”. O Quadro 2-1 mostra as fontes típicas de resíduos numa comunidade.

**Quadro 2-1. Fontes de resíduos numa comunidade**  
(Tchobanoglous *et al.*<sup>5</sup>, 1993); Tchobanoglous e Keith, 2002)

Fonte	Actividades, instalações e locais típicos de geração de resíduos	Tipo de resíduos sólidos
Residencial	Apartamentos, residências uni ou multifamiliares, etc	Restos de alimentos, papel, cartão, plásticos, têxtil, cabedal, resíduos de jardim, madeira, vidro, latas de alumínio, outros metais, cinzas, folhas, resíduos especiais <sup>6</sup> , resíduos perigosos
Comercial	Lojas, restaurantes, mercados, escritórios, hotéis, estações de serviço, etc	Papel, cartão, plásticos, madeira, restos de comida, vidro, metais, resíduos especiais, resíduos perigosos
Institucional	Escolas, hospitais, prisões, edifícios governamentais	Idêntico aos comerciais
Resíduos sólidos urbanos	Residenciais e comerciais	Idêntico aos comerciais e residenciais
Construção e demolição	Locais de novas construções, reparação/ renovação de estradas, reparação de pavimentos, locais de demolição de edifícios	Madeira, aço, cimento, pó
Serviços municipais (excluindo estações de tratamento)	Limpeza de ruas, alterações à paisagem, parques e praias, áreas de lazer	Resíduos especiais, lixo, resíduos da poda das árvores
Locais de tratamento; incineradores municipais	Processos de tratamento industrial, de água e de água residual, etc	Lamas residuais, escórias, cinzas volantes
Resíduos sólidos municipais	Todos os acima	Todos os acima
Industrial	Construção, fabrico, manufactura leve e pesada, instalações químicas, centrais de produção de electricidade, etc	Resíduos de processos industriais. Resíduos não industriais que incluem restos de comida, lixo, cinzas, resíduos de construção e demolição, resíduos especiais, resíduos perigosos
Agrícola	Quintas, culturas agrícolas, etc	Resíduos de comida estragados, resíduos agrícolas, lixo, resíduos perigosos

Os Resíduos Sólidos Urbanos são assim “resíduos domésticos ou semelhantes, em razão da sua natureza ou composição, nomeadamente os provenientes do sector de serviços ou de estabelecimentos comerciais ou industriais e de unidades prestadoras de cuidados de saúde, desde que, em qualquer dos casos, a produção diária não exceda 1100 l por produtor” (DL nº 239/97). Constituem entre 50 e 75% dos resíduos municipais gerados numa comunidade (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

Os resíduos sólidos urbanos englobam assim uma quantidade muito variável de materiais (Quadro 2-1). Com base nos dados do estudo Resíduos Sólidos Urbanos – Concepção, Construção e Exploração de Tecnossistemas, que caracteriza a situação em Portugal entre 1996 e 2001, a composição típica de resíduos urbanos era a apresentada no Quadro 2-2. Note-se que esta composição não engloba resíduos perigosos nem resíduos especiais, que têm um sistema de gestão distinto (APA, 2008).

<sup>5</sup> Tchobanoglous *et al.* (1993) continua a ser uma referência na área dos resíduos sólidos urbanos e toda a informação e dados de resíduos permanecem actuais.

<sup>6</sup> Resíduos especiais incluem lâmpadas, mobiliário, monos, resíduos electrónicos, baterias, pilhas, pneus, óleos usados.

**Quadro 2-2. Composição típica de resíduos urbanos (APA, 2008)**

<b>Componentes</b>	<b>%</b>
Papel/ cartão	26,40
Vidro	7,40
Plástico	11,10
Metais	2,75
Têxteis	2,60
Madeira/Embalagens	0,50
Materiais fermentáveis <sup>7</sup>	26,50
Verdes	3,15
Finos	14,25
Outros resíduos	5,35
<b>Total</b>	<b>100</b>

Verifica-se que as maiores percentagens de resíduos urbanos produzidas correspondem a matéria degradável (restos de alimentos). Os materiais com menor percentagem são a madeira e as embalagens. Destaca-se também a produção de verdes, que corresponde a cerca de 3%.

## **2.1 Características Físicas, Químicas e Biológicas de Resíduos Sólidos Urbanos**

O conhecimento das características físicas, químicas e biológicas dos resíduos sólidos urbanos como um todo ou por constituinte é fundamental no desenvolvimento de sistemas integrados de gestão e também para encontrar o melhor destino final para os resíduos.

### **2.1.1 Peso Específico**

O peso específico é dado pela razão entre a massa do resíduo e o seu volume. É uma característica importante de determinação para se ter uma indicação do grau de compactação do resíduo e varia com os materiais que constituem o resíduo e com o seu estado de decomposição. Permite estimar o volume ocupado pelos resíduos sólidos urbanos, sendo essencial para se efectuar o dimensionamento dos equipamentos e das infra-estruturas relacionadas com a gestão de resíduos (Levy e Cabeças, 2006).

O peso volúmico por constituinte de resíduos e de resíduo indiferenciado não compactados é apresentado no Quadro 2-3 (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Os valores constantes do Quadro 2-3 são meramente indicativos, uma vez que esta grandeza varia com a localização geográfica, com a altura do ano e com o tempo de armazenamento (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

---

<sup>7</sup> Materiais fermentáveis - Fração dos resíduos sólidos urbanos facilmente biodegradável, composta por substâncias contendo carbono na sua estrutura molecular (Zero resíduos); inclui resíduos orgânicos como vegetais, restos de alimentos, fruta, entre outros (Levy e Cabeças, 2006).

**Quadro 2-3. Peso volúmico dos constituintes dos resíduos sólidos urbanos não compactados (Tchobanoglous *et al.*, 1993)**

	Peso Volúmico (kg/m <sup>3</sup> )		
	Intervalo		Típico
Restos de alimentos	130	479	290
Papel	41	130	89
Cartão	41	80	50
Plástico	41	130	65
Têxtil	41	100	65
Borracha	100	201	130
Cabedal	100	260	160
Resíduos jardim	59	225	100
Madeira	130	319	236
Vidro	160	479	195
Latas de alumínio	50	160	89
Alumínio	65	239	160
Pó, cinzas	319	996	479
Indiferenciado	89	180	130

### 2.1.2 Conteúdo em humidade

O conteúdo em humidade de um resíduo é uma grandeza importante, pois pode influenciar o tipo de tratamento recomendado para o resíduo, nomeadamente a valorização biológica e a energética.

O Quadro 2-4 mostra os teores em humidade de constituintes de resíduos sólidos urbanos.

**Quadro 2-4. Teor em humidade dos constituintes dos resíduos sólidos urbanos (Tchobanoglous *et al.*, 1993; Tchobanoglous e Keith, 2002)**

	Humidade (%)		
	Intervalo		Típico
Restos de alimentos	50	80	70
Papel	4	10	6
Cartão	4	8	5
Plástico	1	4	2
Têxtil	6	15	10
Borracha	1	4	2
Cabedal	8	12	10
Resíduos jardim	30	80	60
Madeira	15	40	20
Vidro	1	4	2
Latas de alumínio	2	4	3
Alumínio	2	4	2
Pó, cinzas	6	12	8
Indiferenciado	5	20	15

Constata-se que os restos de alimentos e os resíduos de jardim apresentam um teor em humidade superior a 50%.

### 2.1.3 Tamanho das partículas e distribuição de tamanhos

É importante conhecer o tamanho e distribuição das partículas num resíduo para melhor determinar o seu destino final. Por exemplo, a recuperação de materiais por via mecânica (separadores magnéticos, moinhos de martelo) é fortemente afectada por esta grandeza.

O tamanho típico das partículas por constituinte dos resíduos sólidos urbanos é apresentado na Figura 2.1.

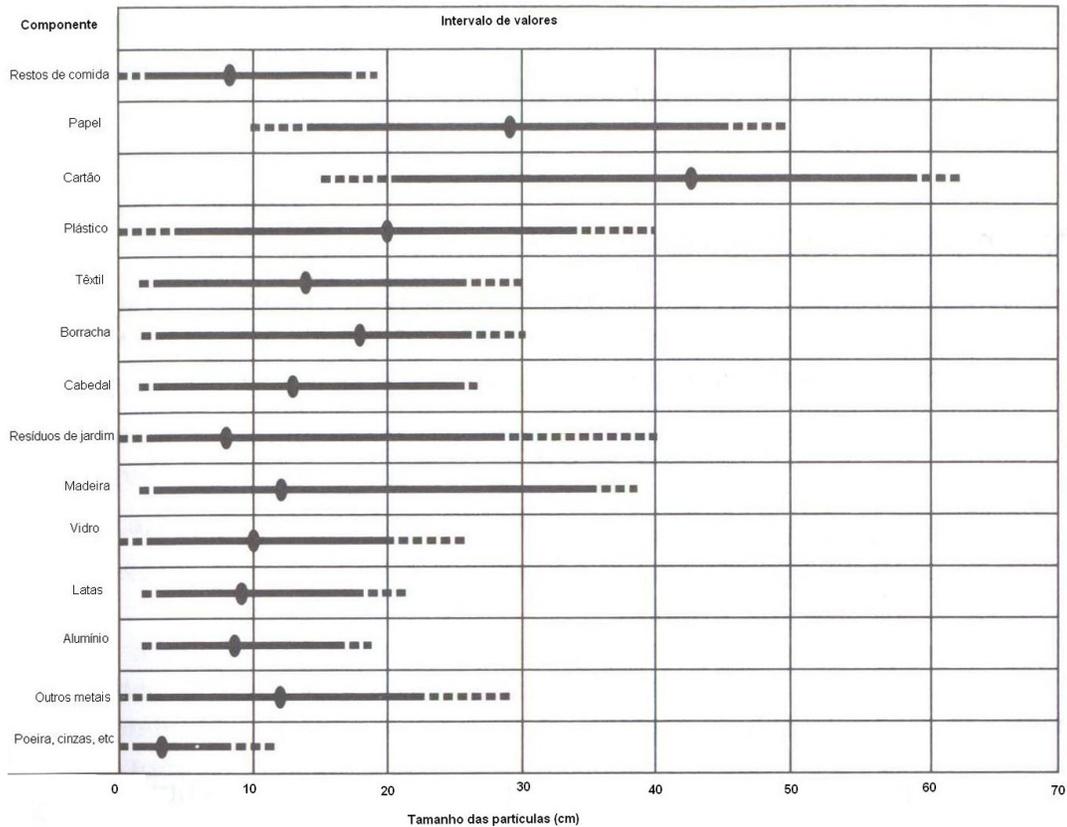


Figura 2.1. Tamanho típico das partículas (adaptado de Tchobanoglous *et al.*, 1993)

### 2.1.4 Capacidade de campo

A capacidade de campo de um resíduo sólido é a quantidade total de humidade que este consegue reter, quando sujeita à gravidade (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Esta grandeza é de importância extrema na escolha do destino final dos resíduos, uma vez que determina a formação de lixiviados. A capacidade de campo varia com a pressão aplicada e com o estado de decomposição do resíduo. Para resíduos sólidos urbanos não compactados varia entre 50 e 60%.

### 2.1.5 Permeabilidade do resíduo compactado

Uma outra grandeza física a conhecer é a permeabilidade, determinante para compreender o movimento de líquidos e gases num aterro, já que é a capacidade de um material para deixar passar fluidos (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

## 2.1.6 Análise química dos resíduos sólidos urbanos (matéria volátil, carbono fixo e percentagem não combustível)

A análise química inclui a determinação (a) de humidade, na qual se mede a perda de humidade quando uma amostra é aquecida a 105 °C durante uma hora, (b) da matéria orgânica volátil combustível (dada pela perda adicional de massa quando a amostra sofre ignição a 950°C), (c) da quantidade de carbono fixo (resíduo combustível que resta após remoção da matéria volátil) e (d) de cinzas (massa de resíduo depois de combustão). O conhecimento destas grandezas é de extrema importância para analisar as opções de recuperação e processamento, nomeadamente a combustão (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

A análise química para os principais constituintes dos resíduos sólidos urbanos é apresentada no Quadro 2-5 (Tchobanoglous *et al.*, 1993). Note-se que o vidro e alumínio são materiais não combustíveis.

**Quadro 2-5. Análise química dos principais constituintes dos resíduos sólidos urbanos (Tchobanoglous *et al.*, 1993)**

	Matéria Volátil (%)	Carbono Fixo (%)	% Não combustível
Restos de comida	21,4	3,6	5
Papel	75,9	8,4	5,4
Cartão	77,5	12,3	5
Plástico	95,8	2	2
Têxtil	66	17,5	6,5
Borracha	83,9	4,9	9,9
Cabedal	68,5	12,5	9
Resíduos jardim	30	9,5	0,5
Madeira	68,1	11,3	0,6
Vidro	-	-	99 <sup>8</sup>
Alumínio	-	-	99

## 2.1.7 Ponto de fusão das cinzas

É a temperatura à qual a cinza resultante da queima do combustível forma um sólido (clínquer) por fusão e aglomeração. As temperaturas de fusão típicas para a formação de clínquer a partir de resíduos sólidos urbanos variam entre 1100 e 1200°C (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

## 2.1.8 Análise elementar

Envolve a determinação da percentagem de carbono, hidrogénio, oxigénio, azoto, enxofre e cinzas. A análise elementar dos principais constituintes de resíduos sólidos urbanos é apresentada no Quadro 2-6.

<sup>8</sup> Este valor não advém do material em si, mas de outros constituintes de embalagens de vidro e de alumínio, nomeadamente a etiqueta.

**Quadro 2-6. Análise elementar dos principais constituintes dos resíduos sólidos urbanos (Tchobanoglous *et al.*, 1993)**

	Porcentagem por peso (peso seco)					
	C	H	O	N	S	Cinzas
Restos de alimentos	48	6,4	37,6	2,6	0,4	5
Papel	43,5	6	44	0,3	0,2	6
Cartão	44	5,9	44,6	0,3	0,2	5
Plástico	60	7,2	22,8	-	-	10
Têxtil	55	6,6	31,2	4,6	0,15	2,5
Borracha	78	10	-	2	-	10
Cabedal	60	8	11,6	10	0,4	10
Resíduos jardim	47,8	6	38	3,4	0,3	4,5
Madeira	49,5	6	42,7	0,2	0,1	1,5
Vidro	0,5	0,1	0,4	<0,1	-	98,9
Alumínio	4,5	0,6	4,3	<0,1	-	90,5
Pó, cinzas	26,3	3	2	0,5	0,2	68

Os resultados da análise elementar são usados para caracterizar a composição química da matéria orgânica presente no resíduo sólido urbano, importante para definir a razão carbono/azoto ideal para valorização biológica. Note-se que os constituintes elementares, quando incinerados, são libertados sob a forma de outros compostos. Teores em cinzas muito elevados revelam o grau de incombustibilidade dos materiais. Poderá ser importante conhecer o teor noutros elementos, como o cloro, para prever a libertação de compostos clorados (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

## 2.1.9 Poder calorífico

É a quantidade de energia que é produzida por quilograma de resíduo sólido urbano. Os resíduos com elevado poder calorífico libertam mais energia quando queimados. Esta grandeza é importante na valorização energética de resíduos. O Quadro 2-7 mostra um resumo das características químicas por constituintes de resíduos. Não estão incluídos nem o vidro nem o alumínio uma vez que são materiais não combustíveis (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

**Quadro 2-7. Características químicas dos constituintes dos resíduos sólidos urbanos (Tchobanoglous *et al.*, 1993)**

	Conteúdo energético (kJ/kg)		
	PCS (como recebido)	PCI (seco)	PCI sem cinzas (seco sem cinzas)
Restos de comida	4180	13 916	16 701
Papel	15 814	17 610	18 738
Cartão	16 403	17 278	18 240
Plástico	32 799	3347	37 272
Têxtil	18 515	20 571	22 858
Borracha	2533	25 637	2849
Cabedal	17 445	18 701	20 892
Resíduos jardim	6050	15 126	15 317
Madeira	15 445	19 343	19 499

O poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos tem vindo a aumentar ao longo dos anos, devido ao aumento de componentes de celulose e matérias plásticas, com elevado poder calorífico (Levy e Cabeças, 2006).

## 2.1.10 Biodegradabilidade

A biodegradabilidade da fracção orgânica dos resíduos sólidos urbanos diz respeito ao conteúdo em sólidos voláteis e em lenhina, uma vez que há compostos extremamente voláteis, mas de biodegradabilidade baixa (por exemplo papel de jornal) devido à fracção de lenhina (Tchobanoglous *et al.*, 1993). O Quadro 2-8 apresenta a fracção biodegradável dos constituintes de resíduos sólidos urbanos.

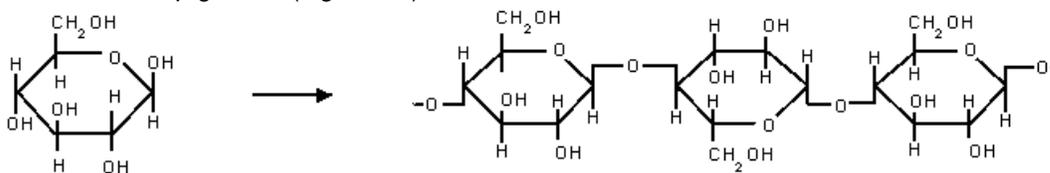
**Quadro 2-8. Fracção biodegradável dos constituintes dos resíduos sólidos urbanos (Tchobanoglous *et al.*, 1993)**

	<b>Matéria volátil (%)</b>	<b>Conteúdo em lenhina (%)</b>	<b>Fracção biodegradável (%)</b>
Restos de comida	7-15	0,4	82
Papel	Impressão	94	21,9
	Escritório	96,4	0,4
	Cartão	94	12,9
Resíduos de jardim	50-90	4,1	74

## 2.2 Tipos de resíduos constituintes dos RSU

### 2.2.1 Papel e cartão

O papel tem como matéria-prima a celulose da madeira proveniente principalmente de eucalipto e de pinheiro. A celulose é um polímero orgânico de cadeia longa (Voet *et al.*, 1999) resultante da união de moléculas de  $\beta$ -glucose (Figura 2.2).



**Figura 2.2. Estrutura celulósica (Voet *et al.*, 1999)**

Durante o seu processo de fabrico é-lhe aplicado um branqueamento com produtos químicos à base de óxidos (Levy e Cabeças, 2006).

### 2.2.2 Plástico

Os plásticos são materiais orgânicos poliméricos sintéticos, de constituição macromolecular, muito maleáveis e tendo como matéria-prima o petróleo. Os plásticos têm elevado poder calorífico e baixo teor em humidade. Podem ser moldáveis ou não com o aumento da temperatura, ou seja, termoplásticos ou termoendurecíveis, respectivamente (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

Os materiais plásticos que se encontram nos resíduos sólidos urbanos pertencem a uma das sete categorias apresentadas no Quadro 2-9.

**Quadro 2-9. Tipos de Plásticos (Tchobanoglous *et al.*, 1993)**

<b>Acrónimo</b>	<b>Designação</b>
PETE	Poliétileno tereftalato
HDPE	Poliétileno de alta densidade
PVC	Policloreto de vinilo
LDPE	Poliétileno de baixa densidade
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno

O PVC é um termoplástico formado por polimerização do cloreto de vinilo ( $\text{CH}_2=\text{CH-Cl}$ ). O polietileno é feito de monômeros de etileno ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ). O polipropileno é um polímero de propileno ( $\text{CH}_2=\text{CHCH}_3$ ) e o poliestireno um polímero de estireno ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$ ) (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

### 2.2.3 Vidro

O vidro é uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, obtida através do arrefecimento de uma massa líquida à base de sílica, com uma percentagem de matéria não combustível próxima dos 100 %. O vidro resulta da fusão, a cerca de  $1500^\circ\text{C}$ , de uma mistura de areia (com função vitrificante) e outras matérias-primas, como carbonato e sulfato de sódio e carbonato de cálcio (cal), magnésio e alumina (Levy e Cabeças, 2006).

### 2.2.4 Restos de alimentos e resíduos verdes

Os restos de alimentos e resíduos verdes decompõem-se em condições aeróbias ou anaeróbias. São instáveis, de humidade variável, com uma elevada biodegradabilidade (Lipor, 2008).

### 2.2.5 Têxtil

Os resíduos têxteis dizem respeito ao tipo de tecidos feitos à base de fibras sintéticas ou naturais utilizados em roupas e coberturas. As fibras naturais que os constituem podem ser lã, algodão, seda, juta, linho e cânhamo, entre outras. Os tecidos sintéticos provêm de fibras celulósicas (acetatos e viscosos) ou proteicas (milho e óleos vegetais) (Levy e Cabeças, 2006).

Os têxteis apresentam um elevado poder calorífico e baixo teor em humidade.

## 2.3 Possibilidade de reciclagem de materiais constituintes de RSU

O Quadro 2-10 mostra os materiais constituintes dos resíduos sólidos urbanos que têm vindo a ser recuperados para reciclagem.

**Quadro 2-10. Materiais constituintes dos RSU recuperados para reciclagem**  
(adaptado de Tchobanoglous *et al.*, 1993)

Material reciclável	Tipo de material ou usos	Fileira
Papel e cartão	Jornais, embalagens de cartão, revistas, cadernos, resmas de papel	Papel e cartão
Plástico	Embalagens plásticas, sacos de plástico, detergentes	Embalagens
Metais	Latas de alumínio, conservas	
Vidro	Boiões de vidro, garrafas de vidro, frascos de vidro	Vidro

As fileiras criadas pela Valorsul e pela Lipor de recolha multimaterial para reciclagem são ilustradas nas Figura 2.3 e Figura 2.4.



Figura 2.3. Resíduos aceites nos ecopontos da grande Lisboa (Valorsul, 2008)

## SEPARAR



## PARA VALORIZAR

Um gesto de todos, por todos.

A separação é a solução. Faça dela um gesto natural.

Depositar os lixos, devidamente separados, nos Ecopontos é o primeiro passo para termos um melhor ambiente. É um gesto simples. E o seu é muito importante.



Não sabe como utilizar o Ecoponto? VEJA COMO É FÁCIL!

### CONTENTOR VERDE



Deve colocar:

**VIDRO**  
-garrafas, boiões,  
frascos

Não deve colocar:

-lâmpadas, espelhos,  
louça, critais, vidro de  
janelas

### CONTENTOR AMARELO



Deve colocar:

**PLÁSTICO**  
-garrafas e garrações  
de água, refrigerantes,  
detergentes,  
vaporizadores, sacos  
limpos

Não deve colocar:

-embalagens de  
produtos químicos ou  
perigosos, de óleos  
de motor ou  
alimentares, restos de  
comida



**METAL**

-latas de bebida,  
enlatados, conservas

### CONTENTOR AZUL



Deve colocar:

**PAPEL E CARTÃO**  
-caixas de cartão  
espalmadas, papel  
de escrita, jornais e  
revistas, folhetos  
publicitários, livros,  
cadernos

Não deve colocar:

-fotografias,  
radiografias, papel  
plastificado, papel e  
cartão com gordura,  
papel vegetal, restos  
de comida



Figura 2.4. Resíduos aceites nos ecopontos do grande Porto (Lipor, 2008)

### 3. Soluções de Tratamento de Resíduos

As soluções de tratamento de resíduos mais comuns são:

- Deposição em aterro sanitário;
- Valorização energética;
- Valorização orgânica por compostagem ou por digestão anaeróbia;
- Reciclagem.

#### 3.1 Deposição em aterro sanitário

Os aterros sanitários são instalações de deposição de resíduos no solo concebidas de forma a minimizar o impacto ambiental e os danos para a saúde pública (Figura 3.1).

Os resíduos são depositados diariamente, sendo compactados e cobertos também diariamente, de forma a ficarem confinados e para prevenção de ratos, moscas e outros vectores transmissores de doenças e para controlo da entrada de água durante o período de operação do aterro (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

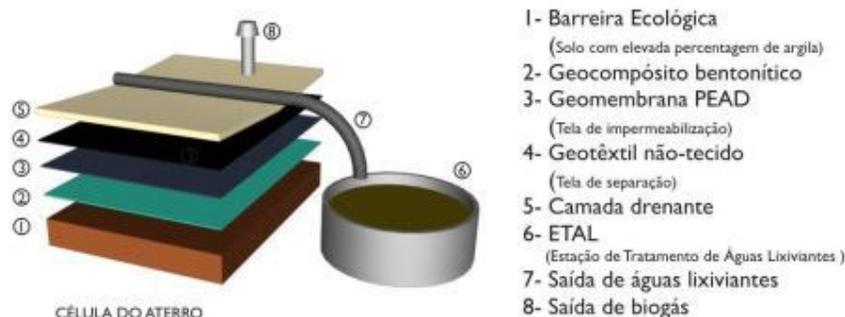


Figura 3.1. Representação esquemática das camadas de um aterro sanitário (AMARSUL, 2008)

O Decreto-Lei nº 152/2002 regula a instalação, exploração, encerramento e manutenção pós-encerramento de aterros destinados a resíduos. Neste decreto estão também definidos os resíduos admissíveis em aterro (artigo 5º), ou seja, os resíduos tratados, os resíduos inertes cujo tratamento não seja tecnicamente viável ou o seu tratamento não contribua para a redução da quantidade de resíduos ou acarrete maiores riscos para a saúde pública.

O Decreto-Lei restringe a deposição em aterro de resíduos líquidos, resíduos explosivos, inflamáveis, oxidantes, resíduos provenientes de estabelecimentos de prestação de cuidados de saúde dos grupos III e IV, pneus usados, excepto como elemento de protecção dos aterros, pneus de bicicleta e pneus com mais de 1400 mm de diâmetro, e outros resíduos que não obedeçam aos critérios de admissão de resíduos constantes do anexo III do diploma.

Os resíduos urbanos biodegradáveis são aceites em aterros mas são condicionados pela estratégia nacional para redução de resíduos urbanos biodegradáveis em aterro com as metas por esta definida.

O local de instalação do aterro é devidamente impermeabilizado e é concebido de forma a possibilitar a drenagem do lixiviado resultante da percolação da precipitação, de possíveis infiltrações de águas subterrâneas e de água contida inicialmente nos resíduos depositados e o escape controlado de gases (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

Num aterro processam-se reacções químicas, biológicas e físicas, consoante os tipos de resíduos constituintes.

De entre as reacções biológicas, a mais importante é a degradação microbiana da fracção orgânica depositada, que se processa inicialmente em condições aeróbias, libertando dióxido de carbono, e posteriormente em condições anaeróbias, formando metano, dióxido de carbono, amónia e sulfeto de hidrogénio (biogás). O biogás pode ser aproveitado para produção de electricidade, desde

que os teores em metano sejam acima de 50 % (Tchobanoglous *et al.*, 1993) (Levy e Cabeças, 2006).

As principais reacções químicas que ocorrem incluem a dissolução e suspensão de materiais do aterro, conversão de produtos líquidos que percolam através dos resíduos, evaporação e vaporização de compostos químicos, absorção de compostos orgânicos voláteis e semi-voláteis, dehalogenação e decomposição de compostos orgânicos, reacções de oxidação-redução que afectam a solubilidade dos sais metálicos (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

Destacam-se ainda a difusão lateral de gases e a emissão de gases para o ambiente circundante, o movimento do lixiviado para camadas mais baixas e a sedimentação causada pela consolidação e decomposição do material aterrado.

O Decreto-Lei nº 152/2002 refere no seu anexo II as condições gerais a que um aterro tem de obedecer (Quadro 3-1). O Quadro 3-2 apresenta um resumo dos requisitos mínimos a que aterros de resíduos não perigosos devem obedecer.

**Quadro 3-1. Condições gerais a que os aterros têm de obedecer (DL nº 152/2002)**

<b>Critério</b>	<b>Especificação (resíduos não perigosos)</b>
Localização	Distância do perímetro do local em relação a áreas residenciais e recreativas, cursos de água, massas de água e outras zonas agrícolas e urbanas; Existência de águas subterrâneas ou costeiras, ou de áreas protegidas; Condições geológicas e hidrogeológicas; Riscos de cheias, de aluimento, de desabamento de terra ou de avalanches; Protecção do património natural ou cultural.
Controlo de emissões e protecção do solo e das águas	Sistema de protecção ambiental passiva constituído por formação geológica de baixa permeabilidade que, quando é criada, não pode ter espessura inferior a 0,5 m; Sistema de protecção ambiental de controlo de infiltração, de captação de águas contaminadas e lixiviados e do biogás.
Estabilidade	Assegurar a estabilidade da massa de resíduos e das estruturas associadas; Evitar deslizamentos; Garantir que o substrato geológico é suficientemente estável para evitar assentamentos, quando existe uma barreira artificial.
Equipamentos, instalações e infra-estruturas de apoio	Reduzir emissão de cheiros e poeiras, elementos dispersos pelo vento, ruído e tráfego, aves, roedores e insectos, formação de aerossóis, incêndios.
Encerramento e integração paisagística	Integração paisagística consoante requisitos mínimos a que os aterros devem obedecer.

**Quadro 3-2. Requisitos mínimos a que os aterros de resíduos não perigosos devem obedecer (DL nº 152/2002)**

Sistema de protecção ambiental passiva	Barreira de segurança passiva
Sistema de protecção ambiental activa	Barreira de impermeabilização artificial Sistema de drenagem de águas pluviais Sistema de drenagem e recolha de lixiviados Sistema de drenagem e tratamento de biogás*
Sistema de encerramento	Camada de drenagem de gases* Camada mineral impermeável Camada de drenagem >0,5 m Cobertura final com material terroso > 1 m
Instalações e infra-estruturas de apoio	Vedação Portão Vias de circulação Queimador de biogás*

\* A definir em função do tipo de resíduos admitido no aterro.

## 3.2 Valorização energética

A valorização energética consiste na conversão de resíduos sólidos em produtos sólidos, líquidos e gasosos com libertação de energia. A Figura 3.2 mostra o esquema de um processo de incineração.

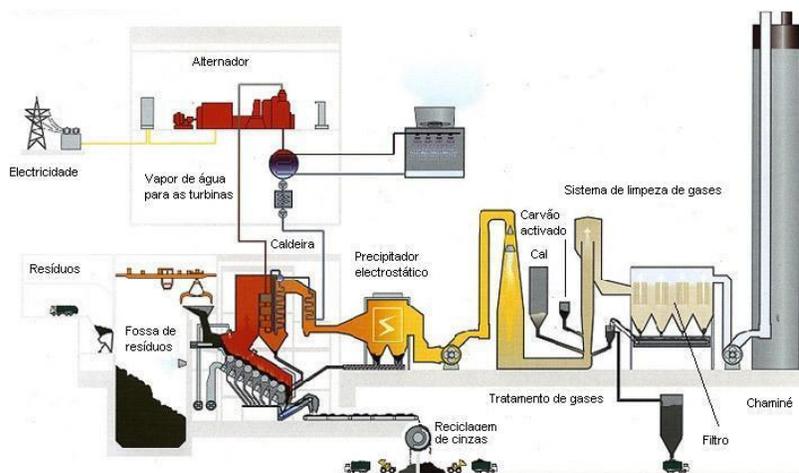


Figura 3.2. Esquema de um processo de incineração (adaptado de PSP incineration, 2008)

Distinguem-se três tipos de valorização consoante os requisitos em ar (Quadro 3-3).

Quadro 3-3. Tipos de valorização energética (Tchobanoglous *et al.*, 1993)

Ar	Tipo de valorização energética
Excesso de O <sub>2</sub> ou O <sub>2</sub> estequiométrico	Combustão
Défice de oxigénio	Gaseificação
Sem oxigénio	Pirólise

### 3.2.1 Combustão

As reacções químicas que governam a combustão são a oxidação do carbono e do hidrogénio, formando-se principalmente dióxido de carbono e água e libertando-se energia (Levy e Cabeças, 2006) (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

Tipicamente a combustão faz-se com excesso de ar para promover a mistura e a turbulência, assegurando-se assim que o ar consegue chegar a todas as partes do resíduo. É também o excesso de ar que controla a temperatura na câmara de combustão (entre 600°C e 1100°C) e a composição e temperatura dos produtos da combustão. As temperaturas acima dos 900°C minimizam a formação de dioxinas e furanos, que são compostos cancerígenos, e de compostos orgânicos voláteis. A combustão pode fazer-se em grelha ou em leito fluidizado.

Na combustão em grelha, o combustível sólido pode ser triturado em pedaços com dimensões variáveis. A caldeira é alimentada por uma tremonha que pode ser carregada por um transportador de correia, e o combustível é, de seguida, transportado para uma das extremidades da grelha. Ao longo da grelha, o combustível é sujeito a uma corrente de ar ascendente. Com este dispositivo, o carbono fixo é queimado na grelha e a matéria volátil no espaço imediatamente acima da grelha. Na Europa aproximadamente 90% das instalações de queima de resíduos urbanos recorrem à combustão em grelha (EC, 2006).

A combustão de partículas em leito fluidizado é uma tecnologia particularmente adequada para a queima de combustíveis com altos teores de inertes e baixo PCI, tais como carvões com altos teores de cinzas, resíduos agrícolas e urbanos, entre outros. Neste processo, a queima do combustível,

triturado em pedaços geralmente com dimensões inferiores a 8mm, ocorre no seio de um leito de material inerte (areia e também cinzas). O material inerte assenta numa base perfurada com muitos orifícios de pequena dimensão, através dos quais é injectado ar a uma velocidade tal que o leito e o combustível se mantêm em movimento permanente (leito fluidizado) (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

### 3.2.2 Gaseificação

A gaseificação é um processo de combustão parcial, no qual há défice de oxigénio. As temperaturas envolvidas estão entre os 750 e os 900°C.

O combustível carbonoso gera um gás também combustível rico em dióxido de carbono, hidrogénio e alguns hidrocarbonetos saturados, especialmente metano. Este gás pode sofrer combustão num motor de combustão interna, turbina a gás ou caldeira com excesso de ar (Tchobanoglous *et al.*, 1993) (Levy e Cabeças, 2006).

O processo, para ser eficiente, exige uma adequada homogeneidade e elevado teor em carbono do combustível. Como tal, muitos resíduos, incluindo alguns tipos de CDR, não podem ser tratados pelo processo de gaseificação, sendo necessário recorrer a diferentes pré-tratamentos (Belgiorno, 2003).

### 3.2.3 Pirólise

A pirólise é um processo de valorização energética de resíduos na ausência de oxigénio, convertendo-os numa fracção sólida, gasosa e líquida (Tchobanoglous *et al.*, 1993) (Levy e Cabeças, 2006).

Contrariamente à combustão e gaseificação, as reacções que ocorrem são altamente endotérmicas, sendo necessária uma fonte de energia externa. É por isso que pode também denominar-se destilação destrutiva.

A constituição das fracções resultantes do processo de pirólise está resumida no Quadro 3-4.

**Quadro 3-4. Fracções resultantes da pirólise (Tchobanoglous *et al.*, 1993)**

<b>Fracção</b>	<b>Constituintes</b>
Gasosa	Mistura de hidrogénio, metano, monóxido de carbono, dióxido de carbono, entre outros, consoante as características do material sujeito a pirólise.
Líquida	Corrente de óleo e alcatrão, contendo ácido acético, acetona, metanol e hidrocarbonetos complexos oxigenados
Sólida	Negro de fumo, consistindo essencialmente por carbono puro e material inerte presente no resíduo

As percentagens das diferentes fracções são função da temperatura, assim como a percentagem de gás na fracção gasosa.

Para temperaturas mais baixas (cerca de 500°C) obtém-se uma maior massa de alcatrões e ácidos bem como de negro de fumo. As temperaturas mais altas (900°C) favorecem uma maior produção de gases, cuja composição também varia com a temperatura, por exemplo, temperaturas menores geram maior quantidade de dióxido de carbono.

## 3.3 Valorização orgânica

Tem como objectivo converter a matéria orgânica presente no resíduo sólido urbano num produto final estável, preferencialmente com um mercado e com valor comercial.

Este tipo de valorização é levada a cabo por microrganismos que retiram da fracção orgânica do RSU as suas fontes de energia e carbono.

Os tipos mais comuns de microrganismos são bactérias, fungos, leveduras e actinomicetas, muito sensíveis ao pH e à temperatura, tendo um intervalo óptimo de actuação. Por exemplo, o pH óptimo de actuação para as bactérias situa-se entre 6,5 e 7,5. Um outro parâmetro importante para o crescimento dos microrganismos é o conteúdo em humidade, sendo muitas vezes necessário adicionar água para obter uma actividade bacteriana óptima (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

### 3.3.1 Compostagem

A compostagem é um processo de valorização da fracção orgânica de RSU, na presença de oxigénio, e tem como produto final uma substância húmica designada vulgarmente por composto.

Durante o processo, uma sucessão de microrganismos aeróbios obrigatórios e facultativos está activa. Inicialmente são as bactérias mesófilas que prevalecem.

Com a degradação da matéria orgânica, há um aumento da temperatura da pilha, o que provoca a predominância de bactérias termófilas.

A compostagem é afectada por várias factores, destacando-se o arejamento, a temperatura, o teor em humidade e a concentração em nutrientes.

Tipicamente este processo faz-se com arejamento forçado para acelerar a velocidade de oxidação do material orgânico e para diminuir a emissão de odores. O arejamento tem também a vantagem de difundir o oxigénio por toda a pilha. A humidade é também uma variável a controlar, já que um elevado teor em humidade impede a passagem do oxigénio, podendo dar origem ao aparecimento de zonas de anaerobiose. Por isso, para a maior parte dos resíduos biodegradáveis o conteúdo em humidade deve ser da ordem dos 50 a 60% (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

O equilíbrio da relação carbono/ azoto é fundamental, pois representa a relação entre a matéria possível de degradar e a matéria mineralizada.

As instalações de compostagem necessitam tipicamente de uma grande área disponível.

### 3.3.2 Digestão Anaeróbia

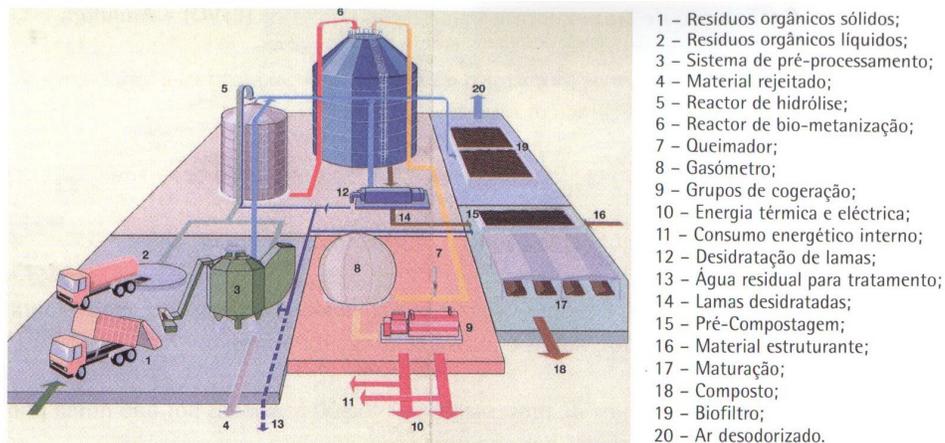
A digestão anaeróbia refere-se à degradação da matéria orgânica na ausência de oxigénio. Este processo ocorre em quatro etapas:

- Hidrólise: transformação de compostos de elevada massa molecular (como polímeros orgânicos e lípidos) em compostos mais simples e utilizáveis como fonte de energia e tecido celular (ácidos gordos, monossacarídeos, aminoácidos, entre outros).
- Acidogénese: fermentação dos produtos da primeira etapa em ácidos orgânicos simples, sendo o mais comum o ácido acético ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ). Os microrganismos responsáveis são bactérias anaeróbias facultativas e obrigatórias.
- Acetogénese: produção biológica de acetato, dióxido de carbono e hidrogénio;
- Metanogénese: conversão dos produtos da acetogénese (ácidos orgânicos e hidrogénio) em biogás por parte de bactérias estritamente anaeróbias, denominadas metanogénicas.

As bactérias metanogénicas usam um número limitado de substratos e o biogás forma-se essencialmente por duas vias principais (a) conversão de dióxido de carbono e hidrogénio e metano e (b) conversão de formato e acetato em metano, dióxido de carbono e água.

Os microrganismos envolvidos estabelecem uma relação sintrófica, na qual as bactérias metanogénicas convertem os produtos da acetogénese, nomeadamente o hidrogénio, que inibe o crescimento das acetogénicas (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

A Figura 3.3 mostra o diagrama de um processo de digestão anaeróbia.



**Figura 3.3. Diagrama de um processo de digestão anaeróbia (Levy e Cabeças, 2006)**

### 3.4 Reciclagem

A reciclagem diz respeito à recuperação de materiais da cadeia de resíduos sólidos urbanos, com o objectivo da conservação de um recurso, uma vez que o produto da reciclagem é tipicamente reintroduzido na cadeia produtiva.

Os metais, o papel e o cartão, os plásticos, o vidro e a madeira, principalmente provenientes de embalagens, são bons candidatos à reciclagem.

#### 3.4.1 Sociedade Ponto Verde

A Sociedade Ponto Verde, S.A. é uma entidade privada sem fins lucrativos, constituída em Dezembro de 1996, com a missão de promover a recolha selectiva, a retoma e a reciclagem de resíduos de embalagem a nível nacional (SPV, 2008) (Levy e Cabeças, 2006).

A sua criação resulta da possibilidade de transferência da responsabilidade dos operadores que colocam as embalagens no mercado para uma entidade única, que reúne diversos accionistas, como embaladores, distribuidores, autarquias e fabricantes (SPV, 2008).

Com os objectivos de valorizar e reciclar resíduos de embalagem e articular responsabilidades e processos entre os vários intervenientes, a Sociedade Ponto Verde criou um Sistema Integrado de Gestão de Resíduos de Embalagens, o Sistema Ponto Verde.

Assim, os embaladores/importadores que colocam a embalagem no mercado asseguram a sua gestão e destino final através do pagamento de uma contrapartida financeira por cada unidade colocada no mercado.

A Sociedade Ponto Verde definiu uma série de especificações técnicas para a retoma de resíduos de embalagem, criando critérios de aceitação e/ou rejeição para posterior reciclagem.

#### 3.4.2 Papel e cartão

Apenas uma porção de papel descartado pode ser reutilizada devido a questões logísticas e também económicas. A indústria papelreira, com algumas dificuldades (Quercus, 2008), tem vindo a desenvolver tecnologia para recuperar o papel descartado pelo consumidor depois de utilizado e de devidamente separado dos restantes resíduos e classificado por tipos. Contudo, há vários tipos de papel que não podem ser reciclados, como papel plastificado, betuminoso e papel com muita tinta (Levy e Cabeças, 2006).

A reciclagem de papel faz-se pelo aproveitamento das fibras de celulose existentes no papel usado. Os tipos principais reciclados são jornais, cartão corrugado, papel de elevada classe e misturas. As fibras podem ser recicladas 3 a 5 vezes, o que faz com que possa ser necessário adicionar pasta de papel virgem para substituir fibras degradadas (Levy e Cabeças, 2006).

As vantagens da reciclagem do papel são várias: além de permitir conservar o recurso natural

madeira, permite a poupança de água, uma vez que uma tonelada de papel de primeira qualidade necessita de 200 000 l, enquanto que uma tonelada de papel reciclado necessita apenas de 2000 l (Quercus, 2008; Levy e Cabeças, 2006) e, consequentemente, a poupança de energia.

As especificações da Sociedade Ponto Verde (Quadro 3-5) aplicam-se a embalagens de papel/ cartão constituídas por, pelo menos, 75% de papel/ cartão em peso e cuja função é proteger os produtos que acondicionam e/ou agrupam com o fim de serem transportados, bem como todos os produtos cuja função é a apresentação para venda (SPV, 2007).

Assim, consoante a percentagem de papel/ cartão no lote, são aceites diferentes teores em massa de contaminantes (SPV, 2007).

**Quadro 3-5. Especificações para resíduos de papel/ cartão (SPV, 2007)**

<b>A- Lotes de resíduos de embalagens 100% papel/ cartão</b>		
<b>Materiais</b>		<b>Teor em massa (%)</b>
Produto	Resíduos de embalagem de cartão canelado	≥ 95
	Resíduos de embalagem de cartão compacto	
	Resíduos de embalagem de papel	
Contaminantes	Resíduos de embalagem diferentes das embalagens de papel/ cartão e papéis não embalagem <sup>9</sup>	< 5
	Resíduos de embalagem de cartão para alimentos líquidos	
	Outros não especificados <sup>10</sup>	≤ 1
	Resíduos de embalagem de papel/ cartão com resíduos orgânicos	≤ 0,01
	Resíduos de embalagem de papel/ cartão com cimento, betume ou alcatrão	
	Resíduos de embalagem de papel/ cartão que tenham contido resíduos perigosos	0
<b>B – Lotes mistos (teor de papel/ cartão não embalagem é superior a 5%)</b>		
Produto	Resíduos de cartão canelado	≥ 95
	Resíduos de cartão compacto	
	Resíduos de papel e outros resíduos de embalagem de papel/ cartão	
Contaminantes	Resíduos de embalagem diferentes de embalagens de papel/ cartão	< 5
	Resíduos de embalagem de cartão para alimentos líquidos	
	Outros não especificados	≤ 1
	Resíduos de papel/ cartão com resíduos orgânicos	≤ 0,01
	Resíduos de papel/ cartão com cimento, betume ou alcatrão	
	Resíduos de embalagem de papel/ cartão que tenham contido resíduos perigosos	0
<b>C – Lotes de resíduos de embalagens de cartão para alimentos líquidos</b>		
Produto	Resíduos de embalagem de cartão para alimentos líquidos	≥ 95
Contaminantes	Resíduos de embalagem de papel/ cartão e papéis não embalagem	< 5
	Resíduos de embalagens diferentes das embalagens de papel/ cartão	
	Outros não especificados	≤ 1
	Resíduos de embalagem de papel/ cartão com cimento, betume ou alcatrão	≤ 0,01
	Resíduos de embalagem de papel/ cartão que tenham contido resíduos perigosos	0

A Sociedade Ponto Verde estabelece ainda limites de aceitação para o teor em humidade dos resíduos de embalagem de cartão/ papel (Quadro 3-6).

<sup>9</sup> Inclui resíduos de embalagens de metal, plástico, vidro, madeira e de outros materiais e jornais e revistas

<sup>10</sup> Embalagens compostas ou mistas e todas aquelas que sejam enceradas, parafinadas ou que incluam materiais afins

**Quadro 3-6. Limites de aceitação de teores de humidade (SPV, 2007)**

Teor em humidade (%)	Condição
≤ 10	O lote é aceite
> 10 e ≤ 25	O lote é aceite com abatimento do excesso de peso estipulando-se um teor de humidade base de 10%
> 25	O lote é recusado

### 3.4.3 Vidro

O processo de produção do vidro já é feito a partir de resíduos de vidro moído (casco), o que diminui a sua temperatura de fusão (Levy e Cabeças, 2006) (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

O vidro é um material ideal para reciclagem, podendo, dependendo das circunstâncias, ser infinitamente reciclado com um menor gasto energético. Poderá ser interessante fazer uma separação prévia dos resíduos por cores e por tipos. A recolha selectiva do vidro evita a sua presença no tratamento de resíduos. Com efeito, o resíduo indiferenciado que se obtém na presença de vidro é de pior qualidade; não sendo combustível, o vidro prejudica o rendimento do processo; não sendo biodegradável, permanece muito tempo inalterável quando depositado em aterro (Levy e Cabeças, 2006).

A Sociedade Ponto Verde define vidro de embalagem como o vidro utilizado na embalagem de produtos alimentares e outros e que, uma vez usado, pode ser recolhido de forma selectiva, nomeadamente, frascos, garrafas, garrações, boiões. As especificações da SPV aplicam-se a casco mistura, isto é, resíduos de embalagem de vidro sem separação prévia de cores na composição vitrificável, e que permitem a presença de contaminantes com teores em massa muito pequenos, conforme é apresentado no Quadro 3-7 (SPV, 2007).

**Quadro 3-7. Composição do lote (SPV, 2007)**

Materiais		Teor em massa (%)
Produto	Casco	≥ 98
Contaminantes	Infusíveis com dimensão ≤ 40 mm	≤ 0,05
	Infusíveis com dimensão > 40 mm	≤ 0,5
	Metais ferrosos	≤ 0,75
	Metais não ferrosos	≤ 0,2
	Matéria orgânica	≤ 0,5

Não são aceites o vidro hospitalar e os vidros especiais, como os cerâmicos, plastificados, écrans de TV/computador, lâmpadas, espelhos, pirex, vitrocerâmicos, cristais de chumbo, vidro opala, vidros não transparentes, vidros corados (SPV, 2007).

A Sociedade Ponto Verde especifica ainda que o total de materiais contaminantes e produtos indesejados não pode exceder os 2 % (SPV, 2007).

### 3.4.4 Plástico

Os plásticos podem ser reciclados mecânica e quimicamente, principalmente os termoplásticos.

A reciclagem mecânica é um processo bastante utilizado na indústria para reciclagem de desperdícios de produção. Contudo, a qualidade do produto final depende da qualidade do resíduo plástico recolhido selectivamente. Este processo consiste na trituração, lavagem, secagem, aglomeração, extrusão e granulação do resíduos de plástico, preferencialmente de um único tipo de material plástico. Em alternativa, devem utilizar-se misturas de plásticos com densidades semelhantes (Levy e Cabeças, 2006; Tchobanoglous *et al.*, 1993).

A reciclagem química consiste na quebra das cadeias poliméricas para obtenção de novos polímeros, outros produtos químicos como metanol e amoníaco, ou produtos combustíveis. Este processo permite, nalguns casos, uma separação por tipos de plástico menos rigorosa, podendo vir a permitir reciclar os refugos de plástico que vão para aterro (Levy e Cabeças, 2006).

Existem especificações técnicas da Sociedade Ponto Verde para a retoma de resíduos de embalagens de plástico para vários tipos de plástico, conforme mostra o Quadro 3-8 (SPV, 2007).

**Quadro 3-8. Especificações para resíduos de plástico por tipo (SPV, 2007)**

<b>Esferovite (EPS)</b>		
		Teor em massa (%)
Produto	Resíduos de embalagem de EPS	≥ 94
Contaminantes	Outros não especificados <sup>11</sup>	≤ 6
	Resíduos perigosos	0
<b>PEAD</b>		
Produto	Resíduos de embalagem de PEAD	≥ 95
	Resíduos de embalagem de PP (apenas embalagens rígidas)	≤ 10
Contaminantes	Papel (não constituinte da embalagem)	≤ 1
	Resíduos perigosos	0
	Outros não especificados	≤ 4
	Peças de PEAD por injeção	≤ 1
<b>Filme (resíduos de embalagem flexíveis em polietileno secos e limpos)</b>		
Produto	Resíduos de embalagem flexíveis de PEAD + LDPE	≥ 94
	Filmes de PP	< 2
Contaminantes	Outros filmes	≤ 2
	Papel (não constituinte da embalagem)	≤ 1,5
	Resíduos perigosos	0
	Outros não especificados	≤ 5
<b>PET</b>		
Produto	Resíduos de embalagem de PET	≥ 96
	PET óleos	< 0,25
Contaminantes	PVC	≤ 0,2
	Resíduos perigosos	0
	PE + PP	< 0,25
	Outros não especificados	≤ 4
<b>PET óleos</b>		
Produto	Resíduos de embalagem de PET	≥ 96
	PET transparente cristal + azul	< 1
Contaminantes	PVC	≤ 0,2
	Resíduos perigosos	0
	PE + PP	< 0,25
	Outros não especificados	≤ 4

### 3.4.5 Metal

Os principais metais constituintes dos resíduos sólidos urbanos são o alumínio, elemento metálico mais abundante na crosta terrestre, e o aço. Estes materiais têm sido utilizados no fabrico de embalagens de refrigerantes e cerveja, nos produtos de conserva e nas tampas dos frascos. O alumínio pode ainda ser encontrado nas embalagens de cartão para líquidos ou nos tabuleiros de folha de alumínio. São materiais resistentes, principalmente o aço, opacos e invioláveis (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

O alumínio é obtido a partir de bauxite enquanto que o aço é obtido através da fusão do minério ferro, o qual dá origem a bobinas laminadas a quente. Segue-se uma laminação a frio, obtendo-se um produto final com espessura adequada para embalagens.

A reciclagem do alumínio faz-se por fusão. Após derretido, o alumínio é moldado sob a forma de lingotes. O processo de reciclagem do aço é semelhante ao do alumínio (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

As vantagens da reciclagem de metais são a conservação das matérias-primas (bauxite e ferro) e a poupança de energia. Por exemplo, a energia necessária para produzir uma lata de alumínio reciclado é 5% inferior à necessária para produzir a lata da matéria-prima em bruto. Convém também referir que apesar da abundância das matérias-primas a sua distribuição geográfica pode ser

<sup>11</sup> Materiais plásticos e não plásticos não especificados, como embalagens de cola, silicões, vernizes, tintas, e EPS com odores fortes.

reduzida. Por exemplo, a Jamaica, Austrália, Suriname, Guiana e Guiné são os principais exportadores de alumínio (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

As especificações da Sociedade Ponte Verde dizem respeito a aço e alumínio e são apresentadas no Quadro 3-9 (SPV, 2007).

**Quadro 3-9. Especificações para resíduos metálicos (SPV, 2007)**

<b>Aço</b>		
Produto	Resíduos de embalagem de aço	≥ 90
Contaminantes	Aço não embalagem <sup>12</sup>	≤ 5
	Outros resíduos de embalagem <sup>13</sup>	≤ 5
	Outros não especificados <sup>14</sup>	< 2
<b>Alumínio</b>		
Produto	Resíduos de embalagem de alumínio	≥ 90
Contaminantes	Alumínio não embalagem <sup>15</sup>	≤ 5
	Outros resíduos de embalagem	≤ 5
	Outros não especificados	< 2

### 3.4.6 Madeira

Os principais usos finais para os resíduos de madeira são como combustível para caldeiras, em aplicações paisagísticas, para compostagem e correções ao solo e como camas para animais (Tchobanoglous *et al.*, 1993).

Os resíduos de madeira são trazidos e inspeccionados, sendo-lhes retirados materiais indesejáveis, como poeiras, pedras ou lixos, e separados de madeira contaminada (madeira tratada e pintada). Depois de desfeitos em pedaços passam para uma tremonha, sendo separados por tamanhos para posterior utilização.

O Quadro 3-10 mostra as especificações definidas pela Sociedade Ponto Verde. São consideradas embalagens de madeira todas as embalagens constituídas por, pelo menos, 95% de madeira em peso e cuja função é proteger os produtos que condicionam e/ou agrupam com o fim de serem transportados (SPV, 2007).

<sup>12</sup> Produtos de aço provenientes da recolha selectiva de embalagens: talheres, ferramentas, pequenos electrodomésticos.

<sup>13</sup> Outros resíduos de embalagem não pertencentes a esta família de materiais.

<sup>14</sup> Outros resíduos não contemplados nas definições anteriores (têxteis, matéria orgânica, metais não ferrosos, plásticos, vidro, cartão complexo).

<sup>15</sup> Produtos de alumínio provenientes de recolha selectiva: talheres e panelas.

**Quadro 3-10. Especificações para resíduos de Madeira (SPV, 2007)**

Produto	Embalagens de madeira e/ou derivados de madeira	≥ 96
Contaminantes	Embalagens de madeira e/ou derivados de madeira pintados a tinta orgânica sem sais metálicos e/ou tratados com solventes orgânicos	Obedecer a valores limite de metais, como chumbo, mercúrio, halogéneos e outros compostos orgânicos
	Painéis de fibras (Platex e MDF)	< 2
	Embalagens de madeira e/ou derivados de madeira revestidos com materiais que não sejam facilmente eliminados (papéis, vidros, cerâmicos, plástico, metais)	< 1
	Embalagens de madeira e/ou derivados de madeira que contenham cimento ou tenham sofrido tratamento com betume ou alcatrão	< 1
	Resíduos perigosos	0

A humidade é uma outra condicionante para a retoma de embalagens de madeira, sendo que o lote é aceite para teores de humidade iguais ou inferiores a 25%. Quando o teor em humidade é superior a 25%, o lote é aceite com o abatimento do excesso de peso (SPV, 2007).

## 4. Área Metropolitana de Lisboa

A Área Metropolitana de Lisboa (AML) engloba 18 concelhos: Lisboa, Alcochete, Almada, Amadora, Barreiro, Cascais, Loures, Mafra, Moita, Montijo, Odivelas, Oeiras, Palmela, Seixal, Sesimbra, Setúbal, Sintra, Vila Franca de Xira (Figura 4.1) e é a maior e mais densamente povoada área metropolitana do território português (AML, 2003).

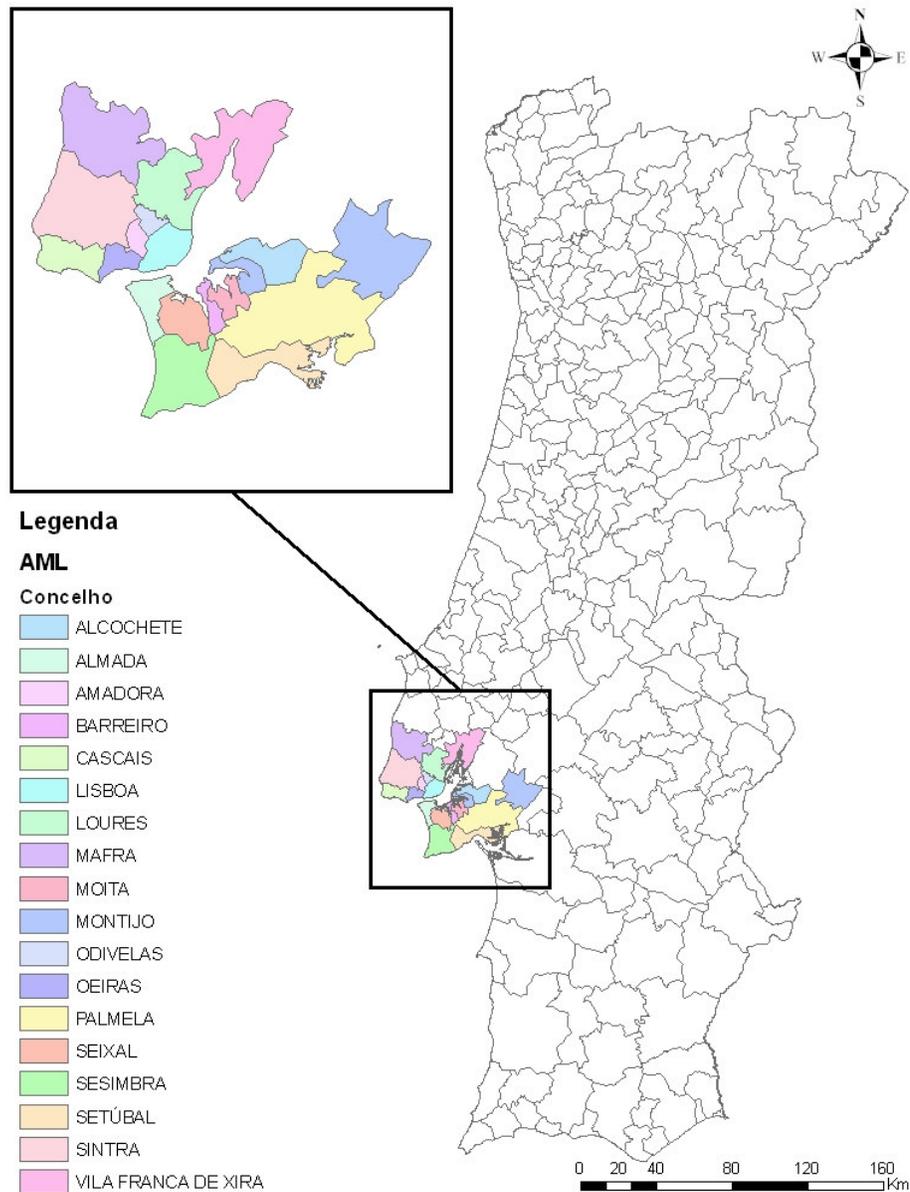


Figura 4.1. Área Metropolitana de Lisboa

## 4.1 Caracterização

### 4.1.1 População

A Área Metropolitana de Lisboa regista a maior concentração populacional de Portugal. Nos seus dezoito concelhos, que correspondem a cerca de 3% do país, reside mais de um quarto da população portuguesa, ou seja, cerca de 2,7 milhões de pessoas (AML, 2003).

A Figura 4.2 mostra a distribuição populacional pela área. Verifica-se que a cidade de Lisboa tem o maior número de habitantes. A zona sul apresenta pequenos focos populacionais maioritariamente no litoral (AML, 2003).

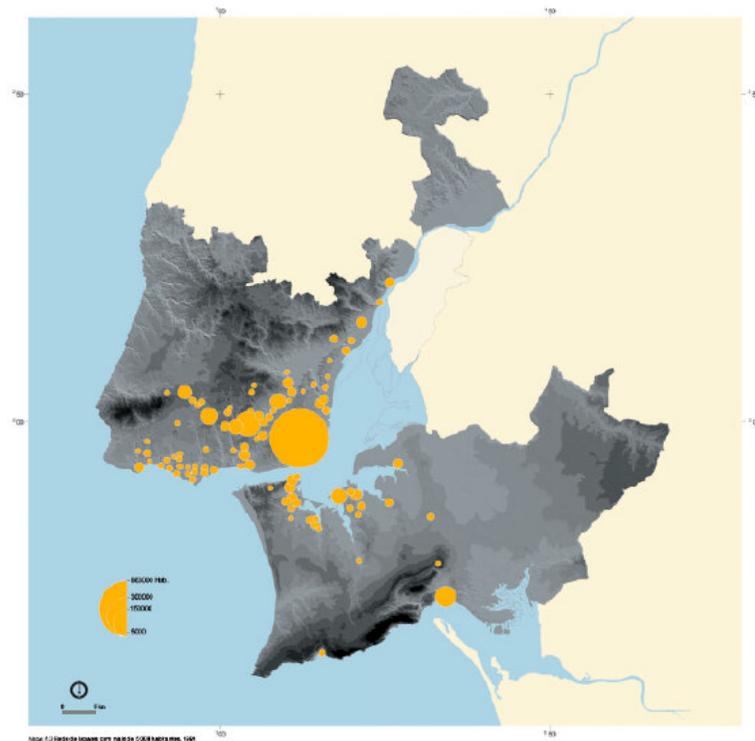


Figura 4.2. Zonas com mais de 5000 habitantes em 1991 (AML, 2003)

### 4.1.2 Resíduos

A Área Metropolitana de Lisboa é responsável pela produção de cerca de 1,4 milhões de toneladas de resíduos, isto é, cerca de 30 % do total nacional (INE, 2006). Os concelhos da Grande Lisboa produzem mais de 3/4 e a Península de Setúbal o restante.

A composição média dos resíduos sólidos urbanos produzidos na Área Metropolitana de Lisboa, que difere da composição típica de resíduos em Portugal continental<sup>16</sup>, é apresentada no Quadro 4-1 (Valorsul, 2008).

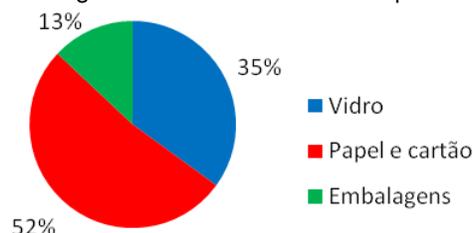
<sup>16</sup> O que pode dever-se ao tipo de população predominantemente urbana, ao diferente método utilizado na caracterização de resíduos ou a uma maior quantidade de resíduos desviados para recolha selectiva.

**Quadro 4-1. Composição média de RSU da AML em 2005 (Valorsul, 2008)**

Componentes	%
Papel/ cartão	19,4
Vidro	6,0
Plástico	9,5
Metais	2,2
Têxteis	3,2
Orgânicos	37,7
Finos	12,6
Outros resíduos	9,4
<b>Total</b>	<b>100</b>

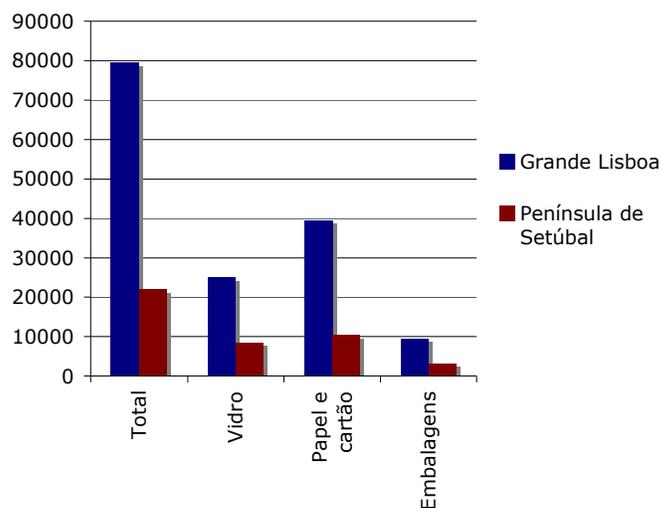
Do total de resíduos produzidos, cerca de 7% (101 461 toneladas) são recolhidos selectivamente (INE, 2006).

A Figura 4.3 apresenta as percentagens de resíduos recolhidos por recolha selectiva.



**Figura 4.3. Percentagens de resíduos recolhidos por recolha selectiva (dados do INE, 2006)**

Constata-se que o papel e cartão foram recolhidos em maior quantidade, seguido do vidro e depois das embalagens (Figura 4.4).



**Figura 4.4. Recolha selectiva na Grande Lisboa e Península de Setúbal (dados do INE, 2006)**

### 4.1.3 Sistemas de Gestão de RSU na Área Metropolitana de Lisboa

As empresas responsáveis pelo tratamento e valorização dos resíduos sólidos urbanos da Área Metropolitana de Lisboa são apresentadas no Quadro 4-2. No Quadro 4-3 apresenta-se o total de RSU recolhidos pelos três sistemas, a população servida e a capitação de RSU. A quantidade de resíduos encaminhada por destino final é apresentada no Quadro 4-4.

**Quadro 4-2. Empresas responsáveis pela gestão dos resíduos sólidos urbanos da AML**

Empresa	Municípios abrangidos
Valorsul, S.A.	Amadora, Lisboa, Loures, Odivelas e Vila Franca de Xira
AMARSUL	Margem Sul do Tejo
AMTRES -Tratolixo	Cascais, Mafra, Oeiras e Sintra

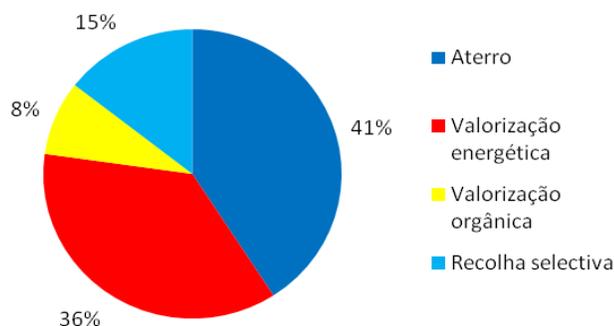
**Quadro 4-3. Resíduos recolhidos pelos sistemas que operam na AML em 2006 (APA, 2008)**

Sistema de Gestão	Resíduos recolhidos (t)	População (hab)	Capitação RSU (kg/hab.ano)
AMTRES-Tratolixo	455 032	786 580	595
Valorsul	359 512	1 192 049	463
AMARSUL	547 632	735 985	472

**Quadro 4-4. Resíduos sólidos urbanos encaminhados por destino final em 2006 (APA, 2008)**

Sistema	Aterro (t)	Valorização energética (t)	Valorização orgânica (t)	Recolha selectiva (t)
AMTRES-Tratolixo	178 408	54 349	102 915	117 829
Valorsul	46 195	439 977	2231	53 001
AMARSUL	331 676	0	8450	25 605
Total	556.279	494 326	113 396	196 435

Verifica-se que o principal destino final dos resíduos sólidos urbanos produzidos na Área Metropolitana de Lisboa é o aterro, que é o destino preferencial da AMTRES/Tratolixo e da Amarsul. Segue-se a valorização energética, para a qual muito contribui o sistema da Valorsul (Figura 4.5). Note-se que a AMTRES é a empresa que mais valoriza organicamente os resíduos que recebe.



**Figura 4.5. Resíduos totais produzidos na AML por destino final em 2006 (APA, 2008)**

#### 4.1.4 Circuitos de recolha e tratamento de resíduos na AML

##### Valorsul

A Valorsul intervém numa área inferior a 1% da área total do país, mas gere quase um sexto de todos os RSU produzidos em Portugal de uma forma integrada (Valorsul, 2008).

O sistema da Valorsul permite tratar resíduos indiferenciados, materiais recicláveis e matéria orgânica, sendo constituído por cinco instalações:

- CTRSU – Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos (incineração);
- CTE - Centro de Triagem e Ecocentro;
- AS - Aterro Sanitário;
- ETVO - Estação de Tratamento e Valorização Orgânica (por digestão anaeróbia com aproveitamento de biogás para produção de electricidade);
- ITVE - Instalação de Tratamento e Valorização de Escórias (resultantes do processo de incineração).

O sistema integrado de tratamento da Valorsul é apresentado na Figura 4.6.

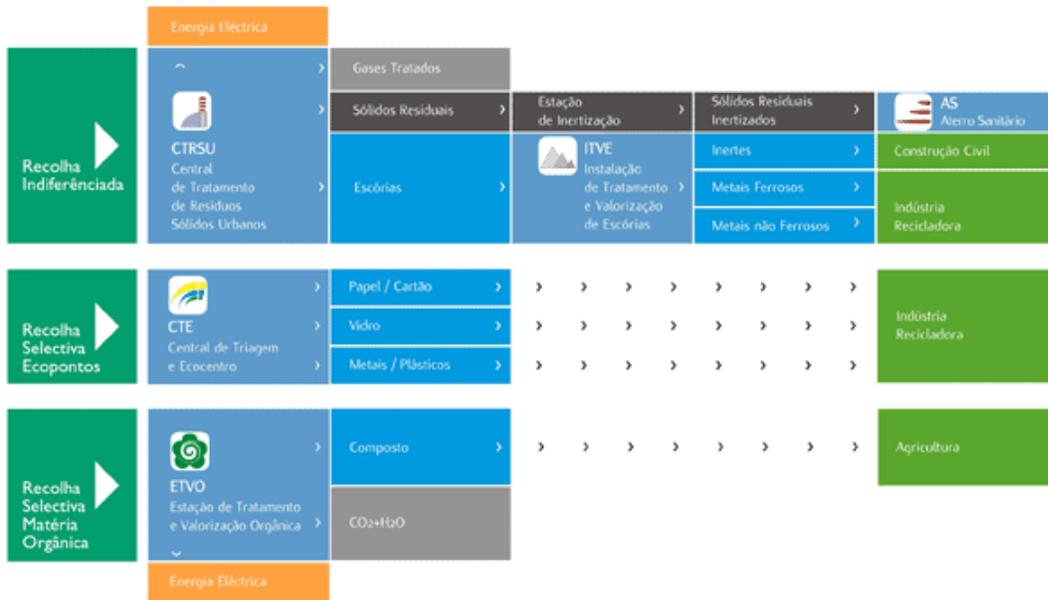


Figura 4.6. Sistema integrado de tratamento de resíduos (Valorsul, 2008)

##### AMARSUL

A AMARSUL gere o Sistema Multimunicipal de Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos da Margem Sul do Tejo, prestando serviços de recolha e de tratamento e valorização de resíduos, nomeadamente, a gestão de um aterro sanitário, de um ecocentro e a disponibilização de energia eléctrica (AMARSUL, 2008). A AMARSUL gere duas centrais de triagem, em Palmela e no Seixal, onde recebe os resíduos provenientes da recolha selectiva.

O vidro é apenas armazenado sem sofrer qualquer triagem prévia. As embalagens e o metal seguem para um tapete e para uma mesa de triagem manual, onde as embalagens de plástico são separadas por tipos. Os materiais ferrosos são captados por separadores magnéticos localizados no final da linha da mesa de triagem. Os materiais rejeitados são encaminhados para o aterro sanitário. Os restantes materiais que estão em conformidade com as normas para reciclagem são enfardados ou agregados em blocos (material ferroso) e encaminhados para as entidades recicladoras. A esferovite segue directamente em sacos de plástico sem ser enfardada (AMARSUL, 2008).

Os resíduos indiferenciados provenientes dos contentores municipais são depositados no aterro sanitário depois de devidamente prensados. Este aterro encontra-se devidamente impermeabilizado,

tendo associada uma estação de tratamento de águas lixiviantes (ETAL) e dispendo de tubagens que permitem o escoamento dos gases resultantes da decomposição dos resíduos e dos líquidos para a ETAL (AMARSUL, 2008).

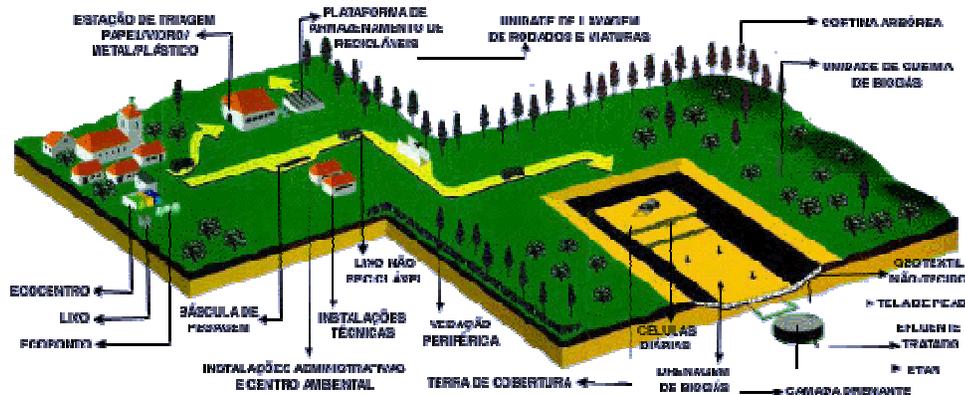


Figura 4.7. Exemplo de um aterro sanitário numa unidade de gestão de resíduos sólidos urbanos<sup>17</sup> (Quercus, 2008)

A AMARSUL possui um sistema de aproveitamento do biogás que é produzido no aterro sanitário do Seixal. O biogás é uma mistura de gases, dióxido de carbono e metano, podendo ser aproveitado para produção de electricidade quando o metano está em percentagens compreendidas entre 45 e 50%<sup>18</sup>, sendo comprimido e queimado em motores-geradores. Possui ainda uma unidade de valorização orgânica por compostagem em Setúbal, na qual os resíduos recebidos sofrem uma triagem para recuperar a fracção orgânica. Esta é degradada por acção de microrganismos num ambiente quente e húmido e na presença de oxigénio (AMARSUL, 2008).

Está prevista a construção de uma unidade de valorização orgânica por digestão anaeróbia, com aproveitamento de biogás para produção de electricidade (AMARSUL, 2008) para 2009 (APA, 2008).

### AMTRES – Tratolixo

A Tratolixo recebe os resíduos sólidos urbanos indiferenciados dos concelhos de Cascais, Mafra, Oeiras e Sintra, que são reencaminhados para um primeiro tratamento mecânico, no qual a fracção orgânica é separada das restantes por intermédio de crivos de 120 a 80 mm. Também ocorre a separação de metais ferrosos, que são atraídos por um electroímã. Segue-se a triagem manual dos plásticos e cartão dos RSU indiferenciados. Todos os resíduos rejeitados são sujeitos a uma prensagem para redução do volume e encaminhados para o exterior (Tratolixo, 2008).

A fracção orgânica sofre um tratamento biológico, que consiste num revolvimento mecânico e arejamento forçado em condições de temperatura e humidade controladas. Forma-se um composto com elevado potencial agrícola, que passa para uma separação mecânica para afinção da sua composição. O processo de compostagem é controlado em termos de emissões atmosféricas por intermédio de biofiltros (Tratolixo, 2008).

Os plásticos, metais e pacotes para líquidos alimentares recolhidos selectivamente vão para um centro de triagem, onde se faz a separação dos materiais por processos mecânicos e manuais, sendo posteriormente enfardados e enviados para a indústria recicladora. O papel e cartão recolhidos selectivamente são encaminhados para um outro centro de triagem, sendo-lhes retirados os materiais contaminantes. Após enfardamento são encaminhados para a indústria recicladora. O vidro recolhido selectivamente fica armazenado temporariamente num cais para posteriormente seguir para a indústria recicladora. Outros tipos de resíduos recicláveis (madeiras, baterias, pneus) são armazenados num ecoponto, um local com maior capacidade que os ecopontos, para posteriormente serem encaminhados para a reciclagem (Tratolixo, 2008).

<sup>17</sup> Não inclui valorização orgânica.

<sup>18</sup> Esta percentagem é inferior à recomendada pela bibliografia consultada. Segundo a AMARSUL (comunicação pessoal do Sr. Bernardo Sousa Martins, Julho de 2009), o funcionamento dos motores-geradores instalados no ecoparque do Seixal só é possível para teores de metano no biogás acima dos 40%.

A Tratolixo dispõe ainda de um aterro que atingiu a sua capacidade máxima em 2003, estando por isso encerrado. Há um conjunto de infraestruturas associadas ao aterro como uma estação de tratamento de águas lixivantes e uma unidade de aproveitamento do biogás (Tratolixo, 2008).

## 5. Sistemas de Informação Geográfica e RSU

### 5.1 Sistemas de Informação Geográfica

Em geral, um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é definido como um sistema computacional para captura, armazenamento, análise e visualização de dados espaciais (Huxholt, 1991). O SIG é por isso o conjunto de *hardware*, *software* e pessoas que permitem processar dados geográficos e geoespaciais de diferentes fontes, como detecção remota, satélites, fotografia aérea, GPS, Galileu (Memon, 2005).

A modelação geográfica reveste-se de importância devido ao facto da generalidade dos fenómenos ser geo-referenciável, o que oferece um campo de aplicação vastíssimo e diversificado para um mesmo conjunto de componentes de modelação (Matos, 2001).

O processo de representação geográfica pressupõe a atribuição de coordenadas a pontos. Para tal, é necessário escolher um dos seguintes sistemas de coordenadas:

- Astronómicos – definidos pela posição aparente dos astros na esfera celeste, têm como grandezas latitude, longitude e azimute astronómico;
- Cartesianos tridimensionais – o sistema de eixos tem origem próxima do centro de massa da Terra e um dos eixos orientado segundo o eixo de rotação da Terra; têm como grandezas as coordenadas X, Y e Z;
- Elipsoidais – é definida uma superfície auxiliar elipsoidal posicionada em função de um sistema de coordenadas tridimensionais ou astronómico; têm como grandezas a latitude, longitude e altitude elipsoidal);
- Cartográficos – são definidos através de uma transformação de coordenadas elipsoidais em planas.

Quando se escolhe um sistema de coordenadas elipsoidal, é necessário definir a dimensão e a posição do elipsóide. O conjunto de parâmetros que define a posição, dimensão e forma de um elipsóide é denominado *Datum* geodésico.

A representação plana de fenómenos distribuídos sobre a superfície terrestre requer a planificação de uma porção do elipsóide por intermédio de uma projecção cartográfica (Matos, 2001).

Em SIG há ainda que definir a escala de uma representação. Esta é a relação entre a dimensão do sistema geográfico e a dimensão real do fenómeno a modelar.

Há dois tipos de sistemas geográficos:

- Vectoriais – bidimensionais, compostos por objectos estáticos e com fronteiras bem definidas. O elemento básico da representação vectorial é o ponto. Uma sequência de pontos é uma linha e um conjunto de linhas fechado, isto é, uma sequência de pontos em que o primeiro coincide com o último, dá origem a um polígono.
- Matriciais – discretização do espaço em células dispostas de forma regular, cuja posição é identificável por índice de linha e coluna (Matos, 2001). Cada uma destas células é denominada *pixel* (*picture element*).

Note-se que ambos os sistemas são de natureza discreta, mas quando se pretende modelar um fenómeno de natureza contínua, o modelo matricial é o mais adequado. Um exemplo de um sistema matricial correntemente considerado como uma superfície composta por faces num espaço tridimensional ou células dispostas regularmente é o modelo digital de terreno (MDT), um conjunto de dados em suporte numérico que, para uma dada zona, permite associar a qualquer ponto definido sobre o plano cartográfico um valor correspondente à sua altitude.

Os modelos vectoriais podem ser analisados do ponto de vista espacial, recorrendo a funções de proximidade ou sobreposição topológica, constituindo operações elementares de manipulação de temas que permitem a derivação de novos temas que obedeçam a determinadas condições (Matos, 2001). Estas funções podem ser de sobreposição, como é o caso da união e da intersecção, funções de corte, criação de envolventes aos temas (*buffer*).

A generalidade dos sistemas de informação geográfica vectoriais opera com pontos, linhas e polígonos organizados em estruturas topológicas, estando assim estruturados em grafos (Matos, 2001). Um grafo consiste num conjunto finito de nós (pontos) e arcos (linhas). Denomina-se caminho a uma sequência de nós  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  tal que  $x_i$  é adjacente a  $x_{i+1}$ . Uma rede é um grafo com um número inteiro  $k(a)$  associado a cada arco, sendo este objecto de análise de redes, por exemplo, a determinação do caminho mais curto entre dois nós. Cada rede é caracterizada por um fluxo: sendo  $In(x)$  e  $Out(x)$  os conjuntos de arcos orientados respectivamente para o nó  $x$  e do nó  $x$ , o fluxo “a

(fonte) -  $z$  (sumidouro)” é uma função inteira definida para cada arco e que satisfaz as condições: o fluxo está entre zero e um número inteiro; o fluxo é zero se o arco pertencer a  $In(a)$  e a  $Out(z)$ ; para um nó diferente de  $a$  e  $z$ , o somatório do fluxo dos arcos pertencentes a  $In(x)$  é igual ao somatório do fluxo dos arcos pertencentes a  $Out(x)$  (Matos, 2001). A determinação matemática de relações e propriedades espaciais, como a conectividade, direcção e comprimento de linhas, as áreas adjacentes e sua definição denomina-se Topologia (Memon, 2005) e é utilizada em análise de redes.

A análise de redes opera em sistemas lineares de funcionalidades interconectadas (ESRI, 2008), como conjuntos de estradas, caminhos-de-ferro, rios, condutas, linhas telefónicas e eléctricas. A modelação do movimento sobre a rede é realizada com base na impedância da rede, isto é, a resistência ao movimento, à qual pode ser associado um custo de atravessamento (Silva, 2006). Os valores de impedância podem ser expressos como a distância total percorrida, o tempo dispendido, o custo em termos de combustível, entre outros (Silva, 2006).

Os resultados de uma análise de redes são a definição de rotas de viagem mais eficientes, de locais com uma determinada característica, que se encontram mais próximos de um dado ponto, a obtenção de informações sobre zonas comerciais incluindo o tempo de viagem para um sítio em particular (ESRI, 2008).

Para realizar a análise é necessário construir, agrupar e organizar um conjunto de dados geográficos que se denomina *network dataset* (ESRI, 2008; Anexo I). Esta rede é normalmente construída a partir de conjuntos de dados simples (linhas e pontos) e de informações de trânsito, como zonas fechadas ou com trânsito condicionado, mudanças de direcção e até limites de velocidade.

## 5.2 SIG e gestão de RSU

Os sistemas de informação geográfica têm sido muito utilizados como instrumentos de gestão de resíduos sólidos urbanos, especialmente na optimização das rotas de transporte dos resíduos, na definição dos locais mais adequados para implementação de instalações e em conjugação com outros métodos.

Shmelev e Powell (2005) fizeram um apanhado das técnicas utilizadas na gestão de resíduos sólidos urbanos, dos quais são exemplo:

- Análise de ciclo de vida, que reflecte um espectro muito alargado de emissões, mas não tem dimensão de espaço e de tempo;
- Análise multi-critério, que permite comparar cenários com múltiplos atributos, sendo flexível na definição de critérios, mas limitada no número de cenários em comparação;
- Optimização, que dá a melhor solução para um problema, assumindo contudo à partida determinados pressupostos;
- SIG, que reflecte padrões espaciais da distribuição geográfica de actores, fluxos e zonas sensíveis e permite fazer análise espacial, mas não tem uma dimensão temporal e necessita da integração com outras técnicas para analisar comparativamente os cenários. Além do mais, a quantidade de informação gerada pode dificultar as tomadas de decisão;
- Estudos de impacte ambiental (EIA), que permitem exames detalhados de todos os impactes e combinam informação económica, ambiental e social, mas são muito exigentes em termos de recursos, dados e tempo, focando-se apenas nos impactes.

Estas técnicas podem sempre combinar-se entre si. Dadas as vantagens e inconvenientes de cada um dos métodos, estes investigadores propõem por isso uma combinação entre (a) SIG, através da sobreposição de mapas para análise geográfica da localização de infra-estruturas e rotas de transporte relativamente a áreas ambientalmente sensíveis e aos locais com elevada densidade populacional, (b) avaliação de impacte ambiental, para fornecer dimensão espacial da degradação dos arredores dos locais de tratamento sob a forma de um coeficiente de importância (significância) e (c) análise de ciclo de vida, para conhecer todos os impactes da corrente de resíduos e dos seus destinos finais. Para agregar todos estes métodos, utiliza-se a optimização.

A principal vantagem deste modelo integrado é permitir aos decisores a análise dos compromissos (*trade-offs*) ecológico-económicos no desenvolvimento de sistemas de gestão de RSU.

A escolha de locais adequados ao tratamento de resíduos remonta aos anos 60, altura em que a análise era estritamente de optimização financeira e feita a locais previamente seleccionados para implementar aterros e unidades de incineração. Os custos dependiam da operação e do transporte dos resíduos até ao local e as receitas provinham da produção de energia (Leão *et al.*, 2004). Nos anos 80, com a introdução de legislação ambiental, começaram a introduzir-se critérios ambientais na

decisão da localização das instalações de tratamento. No final dos anos 80 e princípio dos anos 90, começaram a incluir-se estações de recuperação e pressupostos de redução da quantidade de resíduos produzida. A optimização ainda era maioritariamente feita com considerandos económicos, mas tendo em conta as receitas de recuperação e os custos de poluição.

A característica comum de todos os modelos desenvolvidos até meados dos anos 90 é não ter em consideração as características geográficas do local. A dimensão espacial é representada pela distância relativa entre a origem e o destino dos resíduos. As propriedades dos locais não são explicitamente consideradas, sendo os seus custos independentes das mesmas e a disponibilidade de terra limitada apenas pelo número de alternativas propostas.

Em 1996, Siddiqui *et al.* (Leão *et al.*, 2004) desenvolveram uma metodologia para encontrar o local mais adequado para instalar um aterro sanitário utilizando sistemas de informação geográfica e um processo analítico e hierárquico. A análise do local foi feita tendo em conta aspectos ambientais, proximidade a fontes de resíduos e indicadores económicos relativos ao custo de transporte.

Sadek, El-Fadel e Freiha (2002) criaram uma aplicação de apoio à decisão multi-critério para a escolha de locais adequados à instalação de aterros sanitários. Este sistema baseia-se em critérios ambientais, sócio-culturais e económicos e de engenharia e infra-estruturas, permitindo ao utilizador definir o peso de cada um dos critérios. Numa primeira fase é feita uma análise de exclusão (zonamento), na qual são analisados factores que incluem a topografia, solo, geologia, hidrologia, uso do solo, distribuição da população, entre outros. Os critérios que o utilizador adopta são aplicados aos factores através de condições se (*if*), distâncias de protecção e sobreposição de mapas e intersecções, de forma a criar um mapa de zonas de aptidão aglomerado. Os factores decisivos são divididos em três grupos:

- i) ambiental (inclui precipitação, aquíferos, lagos, linhas costeiras);
- ii) sócio-económico (inclui uso do solo, custo do solo, população);
- iii) engenharia (inclui solo, geologia, declive, estradas, linhas eléctricas).

Os polígonos são tratados de forma diferente consoante a importância que lhes é atribuída. Numa segunda fase é feito um estudo mais aprofundado do local.

Costa *et al.* (2003) propuseram também um modelo SIG para a selecção de locais para aterros de resíduos, que se encontra estruturado em duas fases – zonamento por aplicação de critérios de exclusão (constrangimentos) e ponderação dos parâmetros de classificação para adequabilidade nas áreas residuais resultantes do zonamento. Pretendem assim identificar parcelas de território com aptidão para a instalação de aterros, independentemente do tipo de resíduos considerado, identificando critérios de exclusão relacionados com as áreas construídas (áreas urbanas, industriais, aeroportos, estradas) áreas classificadas, como Reserva Ecológica Nacional (REN), Rede Natura, factores geológicos (falhas e aquíferos) e factores hidrológicos e geomorfológicos (rios, planícies de inundação, declives), aos quais são aplicadas distâncias de protecção. Obtêm áreas consideradas aptas, a que chamam áreas residuais, que são posteriormente alvo de análise para identificar diferentes graus de aptidão. Os critérios de hierarquização destas áreas incluem a susceptibilidade a riscos naturais, níveis de vulnerabilidade de aquíferos, ocupação do solo, geologia e engenharia geoambiental. Estes autores desenvolveram uma aplicação que autonomamente calcula os pesos dados aos diferentes critérios de hierarquização, mediante os dados do utilizador.

Mahini e Gholamalifard (2006) utilizaram uma análise multi-critério em ambiente SIG para avaliar a adequação de um local à instalação de aterros sanitários. A avaliação multi-critério considera vários critérios (factores positivos e factores limitantes), tendo como objectivo apoiar a decisão. É normalmente atingida mediante três processos:

- i) Sobreposição *Booleana*, no qual todos os critérios são traduzidos em afirmações lógicas de adequabilidade e combinados por um ou mais operadores lógicos (tipicamente uniões e intersecções);
- ii) Combinação linear de pesos, no qual os critérios contínuos são padronizados num intervalo numérico comum e depois combinados por intermédio de uma média pesada. O resultado é um mapeamento contínuo de adequabilidade, ao qual podem ser associados critérios qualitativos;
- iii) Média pesada ordenada – dá um espectro de estratégias de decisão, analisando os compromissos envolvidos e o grau de risco da solução considerada.

Estes autores consideraram a combinação linear de pesos e escolheram como critérios a permeabilidade do local à água, profundidade à água subterrânea, distância a rios, a áreas residenciais (devido ao *NIMBY – not in my backyard*, não no meu quintal), e a estradas, declive e orientação do vento, uma vez que os principais impactes ambientais dos aterros estão relacionados com estes temas. Mahini e Gholamalifard definiram um intervalo de adequabilidade entre 0 (baixa) e 255 (alta) e fizeram uma classificação de cada critério, aplicando posteriormente o método de Saaty,

no qual se estabelece uma hierarquia para cada um dos critérios em relação aos outros por intermédio de uma matriz quadrada.

DeAngelo (2004) estudou a localização de uma incineradora em Nova Iorque utilizando SIG. Enquanto que a maior parte dos RSU gerados em Manhattan é transportada para uma incineradora fora da cidade, os resíduos dos subúrbios são encaminhados para estações de transferência, tendo como destino final aterros localizados noutros estados. Com o objectivo de evitar a exportação destes resíduos, DeAngelo categorizou-os e constituiu uma base de dados em SIG com informação sobre todos os locais de tratamento e transferência, tipos de infra-estrutura, material recebido e processado por semana e constatou que havia estações de transferência sobreexploradas, isto é, que recebiam uma maior quantidade de resíduos do que a que conseguiam processar. Para evitar esta situação equacionou a eliminação de uma ou mais estações e a construção de uma incineradora. Recorrendo a imagens aéreas e a visitas aos potenciais locais identificados pelas imagens, determinou numa segunda fase os constrangimentos dos locais escolhidos, sendo o mais importante a justiça ambiental, ou seja, a procura de justiça e protecção iguais para todos os estatutos ambientais e regulamentos ambientais. Com base neste constrangimento, foram escolhidos locais degradados e desabitados, que têm a mais valia de poder ser recuperados, e locais próximos de estações de transferência. DeAngelo comparou ainda o cenário actual da exportação de resíduos, com a alternativa proposta da incineração de resíduos, evidenciando os aspectos positivos de geração de electricidade e recuperação de materiais ferrosos e não-ferrosos e não esquecendo os aspectos negativos, como as questões de qualidade do ar, poluição sonora e localização.

Os SIG têm sido também muito utilizados para otimizar distâncias, determinar as melhores rotas para um dado local e saber as instalações mais próximas por intermédio da análise de redes (ESRI, 2008).

Os modelos de análise de redes, a partir de algoritmos e programas, podem gerar rotas de autocarros ou camiões, sendo apenas necessário definir a origem e o destino de uma determinada mercadoria (*commodity*) (Memon, 2005).

Para isso, o programa de análise de informação geográfica *ArcGIS* dispõe de uma ferramenta de análise de redes, o *Network Analyst*, que permite encontrar a melhor forma de chegar de um local a outro ou a melhor forma de visitar vários locais (ESRI, 2008) (Memon, 2005), estando-lhe sempre associada uma impedância. A expressão “melhor forma” é subjectiva: para uma pessoa a melhor forma de chegar a um local pode ser a mais rápida, a mais segura ou a com melhor paisagem (ESRI, 2008).

Existem bases de dados de resíduos sólidos *online*. Um exemplo é o *SWIS* do estado da Califórnia, um sistema de informação sobre instalações de resíduos sólidos, locais de operação e de deposição. Inclui aterros, estações de transferência, instalações de recuperação de materiais, locais de compostagem e também instalações já fechadas. Para cada uma, a base de dados tem a localização, a empresa responsável e os tipos de resíduos que recebe.

Também o estado do *Massachusetts* dispõe de uma base de dados (*DEP*) com a localização de instalações de tratamento e deposição.

Tochetto e Simonetto (2004) desenvolveram um *site* na *internet*, o *SIRSWeb* – Sistema de informação sobre resíduos sólidos produzidos no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O *site* é constituído por quatro módulos:

- Cadastro – inserção de dados para funcionamento do sistema, que tem o cadastro dos resíduos, viabilidade económica, tratamento, impacte ambiental, empresa, destino e dados históricos;
- Consulta – consultas à base de dados por SQL; informação sobre quantidade e classificação dos resíduos;
- Relatório – geração de relatórios, como lista de resíduos considerados mais perigosos para o ambiente;
- Mapa – visualização dos locais de produção de resíduos para analisar a sua concentração numa determinada região e a sua situação. Pode aceder-se a informação sobre o tipo de resíduos, quantidades geradas e informação sobre o seu tratamento por região.

Em resumo, os principais trabalhos na área de sistemas de informação geográfica aplicados a resíduos sólidos urbanos dedicam-se a encontrar os melhores locais para a implementação de aterros sanitários, considerados como o principal destino final dos resíduos. As bases de dados de resíduos encontradas têm informação sobre os destinos actuais dos resíduos.

### 5.3 Constituição de uma base de dados geográfica de RSU

O armazenamento de informação e sua sistematização são feitos recorrendo a bases de dados. As bases de dados são por isso colecções organizadas de dados armazenados, que podem ser consultados para obter informação e responder a questões.

A determinação do destino final de um RSU pressupõe a ponderação de informação descrita em capítulos anteriores, que pode ser armazenada numa base de dados de resíduos sólidos urbanos para facilitar consultas e resultados. Esta base de dados é uma *geodatabase* mas não tem associada informação geográfica. É um ficheiro *mdb* criado em *Microsoft Access* que pode ser lido no *ArcGIS* 9.1, e é constituída pelas seguintes tabelas, que têm sempre uma coluna comum de ligação entre tabelas – o ID (identificador do Resíduo):

- Resíduos – permite saber o nome do resíduo para cada ID; todas as tabelas estão ligadas a esta (Figura 5.1).
- Características dos Resíduos;
- Metas estipuladas no PERSU II definidas pela União Europeia para resíduos de embalagem;
- Componentes de RSU;
- Refugo;
- Tratamento (destino final dos resíduos).

A Figura 5.1 mostra o esquema da base de dados e as relações das tabelas entre si.

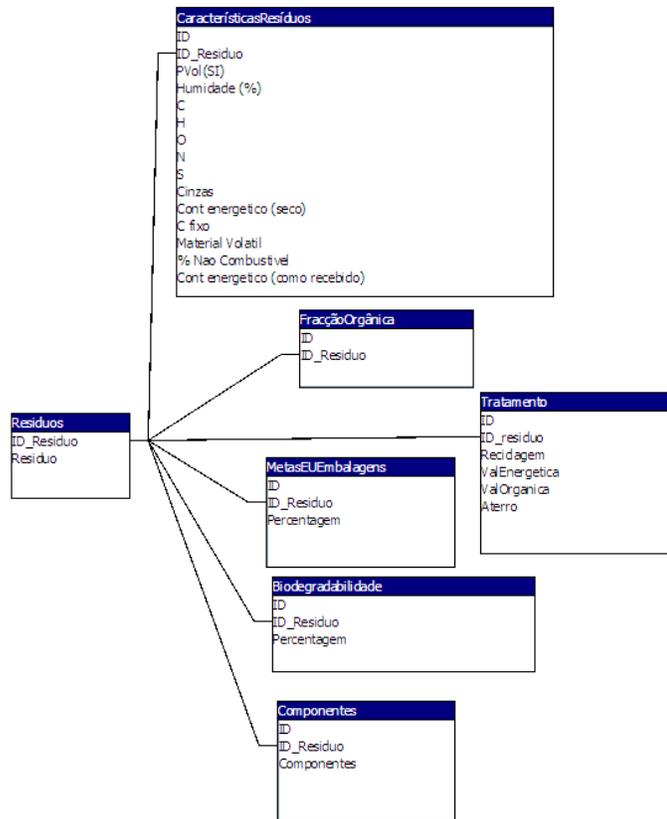


Figura 5.1. Esquema da base de dados

O Quadro 5-1 mostra para cada tabela os campos e suas características. Há campos de texto na base de dados que são posteriormente convertidos em números reais, como, por exemplo, o conteúdo energético, a percentagem não combustível e a matéria volátil.

**Quadro 5-1. Campos e características dos campos das tabelas da base de dados**

<b>Tabela</b>	<b>Campo</b>	<b>Tipo</b>
Residuo	ID	Número Inteiro
	Nome	Texto
Biodegradabilidade	ID	Número Inteiro
	ID_Residuo	Texto
	Percentagem	Número Real
Características	ID	Número Inteiro
	ID_Residuo	Texto
	PVol (SI)	Número Real
	Humidade (%)	Número Real
	C	Número Real
	H	Número Real
	O	Número Real
	N	Número Real
	S	Número Real
	Cinzas	Número Real
	Cont energetico	Texto
	C fixo	Número Real
	Mat vol	Texto
	% não comb	Texto
	Cont energ (como recebido)	Texto
Cont energ (seco sem cinzas)	Texto	
Componentes	ID	Número Inteiro
	ID_Residuo	Texto
	Percentagem	Número Real
Fraccao Organica	ID	Número Inteiro
	ID_Residuo	Texto
MetasEUEmbalagens	ID	Inteiro
	ID_Residuo	Texto
	Percentagem	Número Real
Refugio	ID	Número Inteiro
	ID_Residuo	Texto
	Percentagem	Número Real
Tratamento	ID_Residuo	Número Inteiro
	Reciclagem	Texto
	ValOrganica	Texto
	ValEnergetica	Texto
	Aterro	Texto

### 5.3.1 Critérios de determinação do destino do resíduo

Para determinar quais os destinos finais de um determinado resíduo sólido urbano recorreu-se aos seguintes critérios:

- Hierarquia na gestão de resíduos;
- Cumprimento das metas de reciclagem de embalagens estipuladas no PERSU II (tabela MetasEUEmbalagens);
- Cumprimento da percentagem de fracção biodegradável a desviar do aterro para a valorização orgânica estipulada no PERSU II para o ano de 2009 (tabela Fraccao Organica) ;
- Fracção biodegradável: se for elevada (>70%) aponta para a valorização orgânica como destino final preferencial (tabela Biodegradabilidade);
- Poder calorífico: elevado poder calorífico do componente do resíduo seco indica que a incineração pode ser um destino adequado para uma determinada fracção dessa componente (tabela Características);
- Percentagem de material não combustível: se for elevada (>20 %) indica que a incineração não é um destino final adequado (tabela Características);
- Cinzas: as cinzas volantes têm como destino final o aterro (tabela Características);

- Refugo, isto é, percentagem do RSU que não pode ser valorizada (tabela Refugo).

Neste sentido, o destino final preferencial do vidro e do metal deverá ser a reciclagem, dado que não são passíveis de valorização orgânica (muito baixa biodegradabilidade) nem de valorização energética (elevada percentagem de material não combustível).

Relativamente ao material fermentável e aos resíduos verdes, o seu destino final preferencial deverá ser a valorização orgânica, devido à sua elevada biodegradabilidade e ao facto de serem fermentáveis. A valorização energética poderá ser uma boa opção para uma pequena percentagem deste tipo de resíduos, dado o seu poder calorífico elevado. A fracção residual deverá ser encaminhada para aterro, nomeadamente as cinzas volantes provenientes da incineração. As escórias podem ser valorizadas na construção civil.

O papel e cartão e o plástico provenientes de resíduos de embalagem devem ser reciclados para cumprir as orientações da União Europeia e a fracção restante valorizada organicamente (papel e cartão) e energeticamente (papel, cartão e plástico). Segundo a Valorsul (comunicação pessoal da Sr<sup>a</sup> D. Sofia Mota, 2008) a percentagem de refugo proveniente dos fluxos de materiais recebidos no centro de triagem é a que se apresenta no Quadro 5-2 e cujo destino final é a incineração.

**Quadro 5-2 . Percentagem de refugo dos fluxos recebidos no centro de triagem (Valorsul, dados de 2007)**

	Percentagem
Papel / Cartão	1
Plásticos e metal <sup>19</sup>	52
Vidro	0
Madeira	0

No entanto, há outros critérios que podem ser considerados relevantes na determinação do destino final de um resíduo. Levy e Cabeças (2006) propõem como parâmetros relevantes para um tipo de tratamento os constantes do Quadro 5-3.

**Quadro 5-3. Parâmetros relevantes para as operações de remoção e valorização (Levy e Cabeças, 2006)**

Operação	Parâmetros relevantes
Remoção indiferenciada	- Dados quantitativos; - Peso específico; - Humidade; - Composição física.
Remoção selectiva	- Dados quantitativos; - Composição física: percentagem dos materiais-alvo; - Peso específico, humidade.
Valorização orgânica	- Dados quantitativos; - Composição física: percentagem de materiais biodegradáveis; - Composição química: humidade, carbono, azoto, metais pesados, sólidos voláteis
Valorização energética	- Dados quantitativos; - Composição física: percentagem combustíveis, inertes; - Composição química: humidade, poder calorífico, metais pesados.

## 5.4 Determinação do destino final

Depois de definidas as tabelas e constituída a base de dados, criou-se uma interface que permite adicionar novos resíduos e inserir os seus dados nas diferentes tabelas, alterar os dados das tabelas para um determinado resíduo e apagar resíduos. Com base em critérios definidos acima e explicitados abaixo, o programa mostra as percentagens do resíduo que vão para um determinado tratamento.

O resultado é assim a tabela Tratamento, que mostra as percentagens de cada resíduo que vão para um determinado destino final, podendo sempre o utilizador alterar estas percentagens

<sup>19</sup> O plástico deverá estar em maior quantidade, pois o metal não é passível de valorização energética.

manualmente. Toda a programação foi feita em *Visual Basic for Applications* (VBA), que o *ArcGIS 9.1* suporta.

O VBA é uma linguagem de programação orientada por objectos na medida em que primeiro desenha o ambiente (interface), determinando quais os objectos (botões de comando) necessários e colocando-os numa base (*UserForm*). Seguidamente, atribui as características (propriedades) que achar mais convenientes a cada um dos objectos e finalmente insere instruções em código em cada um deles, sendo executada uma tarefa (Campos e Vilar, 1998). Não sendo um sistema de gestão de bases de dados, o VBA tem vários dispositivos que permitem o acesso programado a bases de dados e mesmo a sua construção.

Assim, é a partir de um ODBC (*Open Database Connectivity*) que o VBA faz a ligação à base de dados. O acesso é feito por ADO (*activeX data objects*), pois permite modificar, apagar ou acrescentar dados sem que o utilizador tenha necessidade de inserir qualquer código.

O VBA disponibiliza um objecto de bases de dados – o *RecordSet*. Este é constituído por todos os registos de uma tabela que verifiquem ou não uma determinada condição normalmente dada por uma consulta (*query*) em SQL.

SQL é o acrónimo para *Structured Query Language*. É uma linguagem utilizada em bases de dados para construção de consultas.

A sua sintaxe obedece a realizar uma operação (*Select, Update, Insert, Delete*) de uma coluna ou linha de uma tabela que verifique uma determinada condição. Assim, se por exemplo se quiser saber o ID do resíduo “Papel/Cartão”, a *query* SQL será *SELECT ID\_Residuo from Residuos where nome="Papel/Cartao"*.

Tendo um *RecordSet* definido, é possível executar esta *query* SQL, ficando armazenado o resultado.

Optou-se neste trabalho por apresentar sugestões de vários destinos finais para um determinado tipo de resíduo sólido urbano, partindo das características do resíduo sólido e da legislação. Cada linha tem a informação sobre um resíduo sólido urbano. A tabela Tratamento mostra a quantidade (percentagem) que vai para cada um dos destinos finais considerados (reciclagem, valorização orgânica, valorização energética, aterro).

O utilizador pode acrescentar mais linhas com outros resíduos não considerados, preenchendo também as suas características.

Este módulo possui três menus:

1. Cria ODBC – carregando nesta opção, o utilizador pode criar um ODBC.
2. Altera Dados – neste menu, o utilizador pode alterar os dados existentes nas tabelas (Figura 5.2). Pode ainda adicionar um novo resíduo (Figura 5.3), especificando quais as tabelas onde quer introduzir a sua informação (Figura 5.4), introduzir a informação do novo resíduo nas tabelas, a partir do Alterar Dados, e apagar um resíduo previamente definido (que é apagado de todas as tabelas onde é referenciado; Figura 5.5).

A caixa de diálogo 'Alterar dados:' possui o seguinte layout:

- Um campo de lista suspensa rotulado 'Tabela:'.
- Um campo de lista suspensa rotulado 'Coluna:'.
- Um campo de lista suspensa rotulado 'Resíduo:'.
- Dois botões: 'Adicionar novo resíduo' e 'Apagar resíduo'.
- Um campo de texto rotulado 'Valor actual:'.
- Um campo de texto rotulado 'Novo Valor:'.
- Três botões na base: 'Alterar', 'Ok' e 'Cancelar'.

**Figura 5.2. Alterar dados**

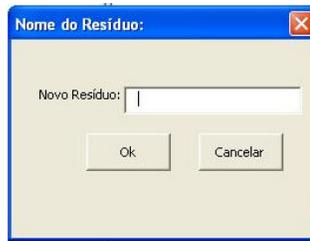


Figura 5.3. Adicionar um novo resíduo



Figura 5.4. Escolher as tabelas que vão conter informação do novo resíduo

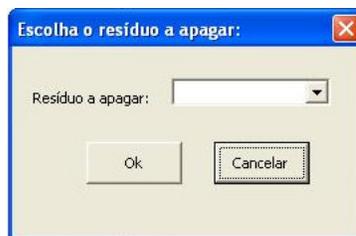


Figura 5.5. Apagar resíduo (de todas as tabelas onde é referenciado)

3. Calcula destino – este menu calcula o destino final de todos os resíduos existentes na base de dados, tendo como base critérios pré-definidos (Figura 5.6).

Assim, para a valorização energética, os critérios considerados foram o poder calorífico seco, a percentagem de cinzas e a percentagem não combustível, sendo-lhes atribuído um peso que deve perfazer o valor um. Por omissão, as três variáveis que influenciam a escolha da valorização energética como destino preferencial têm o mesmo peso, mas o utilizador é livre de atribuir mais peso a uma delas, desde que o somatório permaneça igual a um. Dos resíduos que preencham este requisito, o utilizador pode ainda determinar que apenas uma percentagem é incinerada. Escolheram-se como critérios (a) o poder calorífico seco porque, conforme já foi referido em capítulos anteriores, o poder calorífico determina a quantidade de energia libertada quando um RSU é incinerado; (b) a percentagem não combustível porque quanto maior esta grandeza, mais desaconselhada é a incineração, e (c) a percentagem de cinzas, por ser um importante produto final na incineração, procurando-se a minimização da sua produção.

No que respeita à reciclagem, o utilizador pode definir a percentagem de cumprimento das metas da União Europeia no que respeita à reciclagem de embalagens. Para a biodegradabilidade, o utilizador define uma biodegradabilidade efectiva.

O aterro entra em consideração com a percentagem do refugo constante na tabela Refugo. É ainda possível entrar em conta com as percentagens dos diferentes constituintes dos RSU, as quais estão definidas na tabela Componentes. O utilizador tem finalmente de localizar no seu computador a base de dados, a partir do botão *Browse*. Caso não fique satisfeito com os resultados, o utilizador pode sempre alterá-los em Altera Dados.

**Confira os critérios:**

Valorização energética

Poder calorífico seco (kJ/kg) > 10000  
 Peso (razão): 0.33

% cinzas < 5  
 Peso (razão): 0.33

% não combustível < 10  
 Peso (razão): 0.34

% incinerada a considerar 30

Reciclagem

% metas estabelecidas 100

Biodegradabilidade

% biodegradabilidade efectiva 100

Aterro

% do refugo 100

Entrar com % das componentes RSU

BD:

**Figura 5.6. Calcular destino**

## 5.5 Locais de tratamento de resíduos

Os locais de tratamento de resíduos já existentes na AML são propriedade da Valorsul, AMTRES/ TratoLixo e AMARSUL e incluem aterros sanitários, valorização orgânica, valorização energética, ecocentros e estações de transferência de resíduos sólidos urbanos. Estas entidades foram contactadas para solicitar o envio da informação geográfica, de preferência em formato shp (*shapefile*) ou então as coordenadas das instalações.

A Valorsul forneceu a informação no formato shp de polígonos (Figura 5.7), enquanto que a TratoLixo e a AMARSUL enviaram as coordenadas do portão principal das instalações (AMARSUL) e um ponto representativo da actividade (TratoLixo), apresentados no Quadro 5-4.

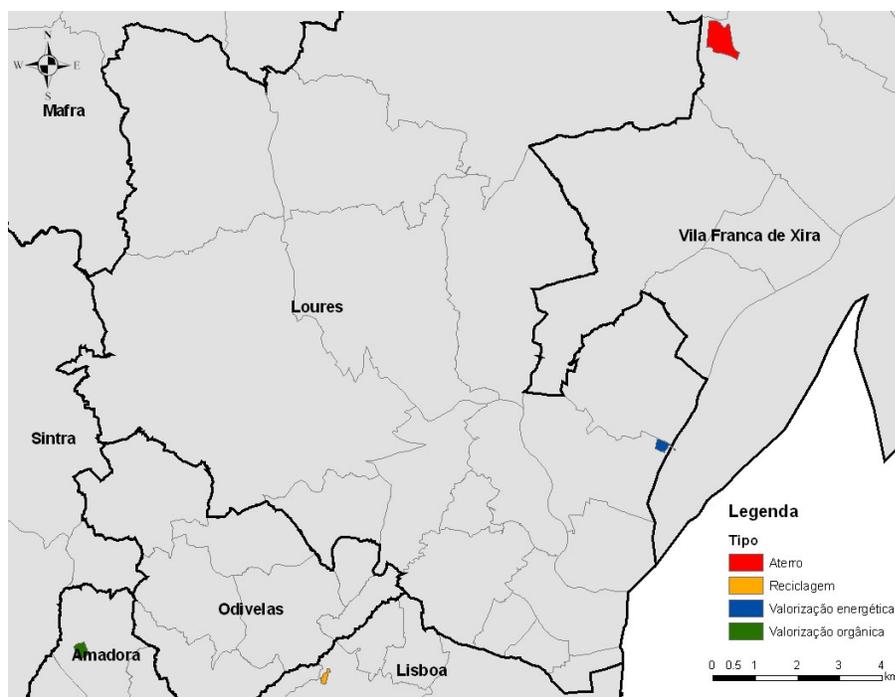


Figura 5.7. Locais de tratamento de RSU já existentes (Valorsul, 2008)

Quadro 5-4. Coordenadas dos locais de tratamento de RSU já existentes (AMARSUL, 2008; TratoLixo, 2008)

Local	Datum WGS84		Datum 73		Datum Lisboa (militares)	
	X	Y	X	Y	M	P
CIVTRS Palmela	-8°58'49.610"	38°36'57.480"	-73799.89	-116482.74	126200.02	183517.05
CIVTRS Seixal	-9°08'52'380"	38°36'37.810"	-88389.62	-116941.21	111610.29	183058.58
CIVTRS Setúbal	-8°51'33.560"	38°33'09.150"	-63306.22	-123614.14	136693.68	176385.66
Ecocentro Sesimbra	-9°07'20.590"	38°29'18.990"	-86314.53	-130497.17	113685.38	16950.62
Ecocentro Almada	-9°11'55.760"	38°39'20.650"	-92768.18	-111869.36	107231.73	188130.43
Ecocentro Alcochete	-8°56'04,160"	38°44'21,450"	-69677.27	-102828.1	130322.63	19717.69
Ecocentro Barreiro	-9°02'53,650"	38°40'15,390"	-79643.06	-110323.06	120356.85	189676.73
Ecocentro Moita	-9°01'55,410"	38°39'04,170"	-78256.67	-112533.22	121743.23	187466.57
Ecocentro Montijo	-8°59'55,000"	38°42'28,120"	-75285.53	-106272.06	124714.38	193727.73
Ecocentro Seixal	-9°09'50,100"	38°37'16,200"	-89772.87	-115741.8	110227.04	184257.99
TratoLixo			-104155.86	-101881.30	96162.5	198087.5

Notas: CIVTRS – centro integrado de valorização e tratamento de resíduos sólidos; o ecocentro de Sesimbra inclui uma estação de transferência.

Para traçar os polígonos das instalações utilizou-se o *Google Earth*. A partir das coordenadas, localizaram-se as diferentes instalações e escolheram-se quatro pontos de referência heterogeneamente distribuídos, anotando-se as suas coordenadas (Conversations with myself, 2008), que foram convertidas para o Datum Lisboa (coordenadas militares) utilizando um utilitário do Instituto Geográfico do Exército de transformação de coordenadas. Com estes dados, criou-se um ficheiro *txt* e gravou-se a imagem do *Google Earth*. Adicionaram-se estes dados no *ArcGIS* e criou-se uma camada (layer) de pontos a partir do *txt*. Posteriormente, georreferenciou-se a imagem e traçou-se o polígono por cima. A Figura 5.8 mostra os locais de tratamento da TratoLixo e a Figura 5.9, a Figura 5.10 e a Figura 5.11 mostram os locais de tratamento da AMARSUL.

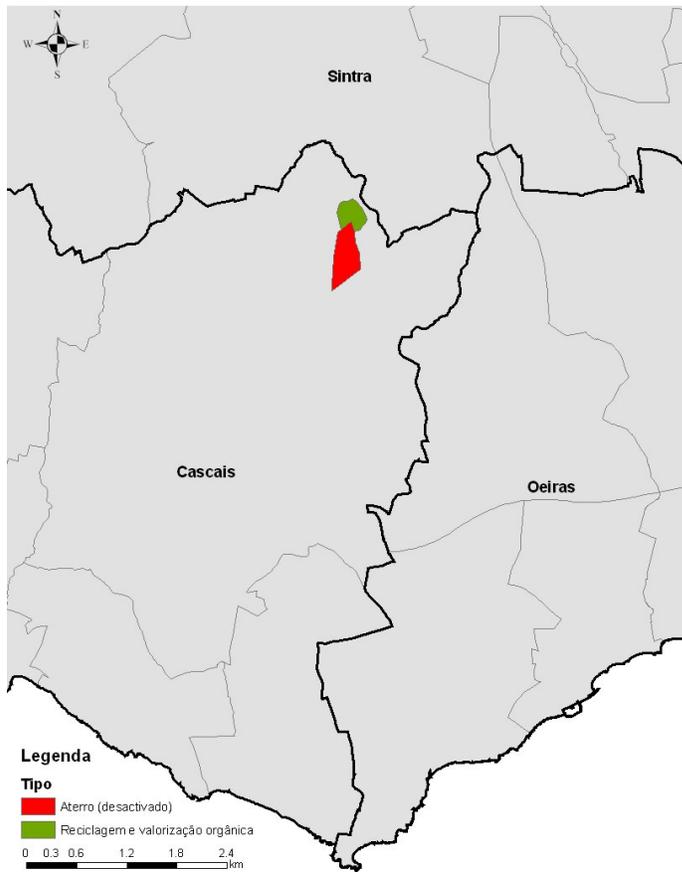


Figura 5.8. Locais de tratamento da TratoLixo/AMTRES

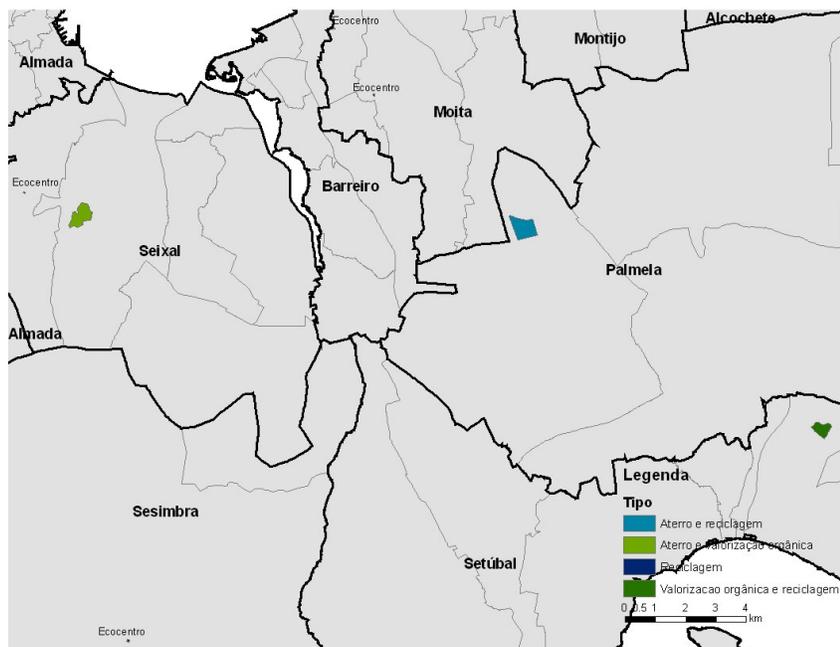
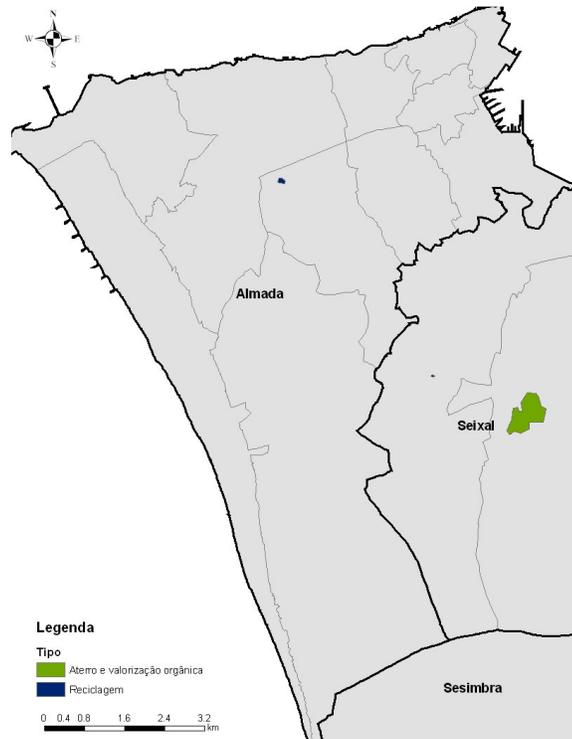
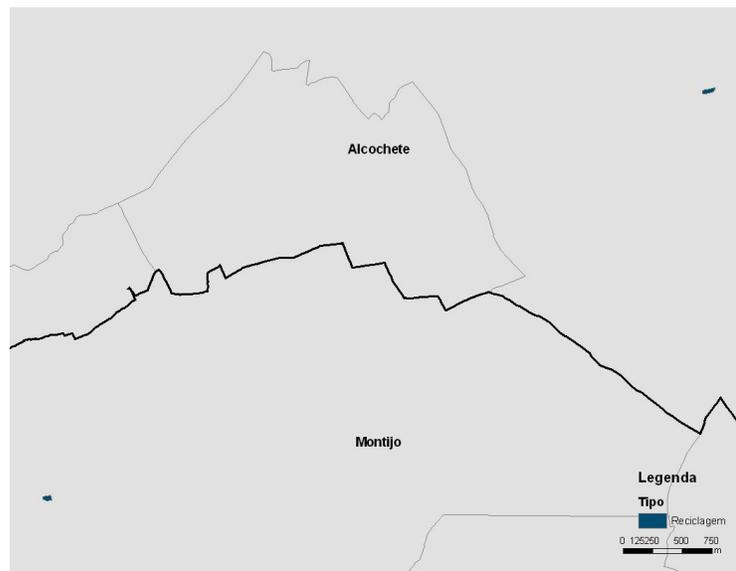


Figura 5.9. Locais de tratamento da AMARSUL (Sesimbra, Palmela, Setúbal, Moita e Barreiro)



**Figura 5.10. Locais de tratamento da AMARSUL (Seixal e Almada)**



**Figura 5.11. Locais de tratamento da AMARSUL (Alcochete e Montijo)**

Tendo o destino final do RSU, a localização das instalações de tratamento e deposição e o sítio de produção do resíduo sólido urbano, está-se em condições de determinar a instalação mais próxima.

## 6. Determinação do local mais adequado para tratamento do resíduo

### 6.1 Criação da rede

Para determinar o local mais adequado ao tratamento de resíduos há que definir uma rede que ligue o local da sua geração ao local do seu tratamento. A remoção de RSU assenta no transporte rodoviário, podendo passar ou não por uma estação de transferência. Quando na remoção e transporte para o destino final são utilizados os mesmos veículos, todo o processo de transporte é designado como sendo em baixa (Levy e Cabeças, 2006). Quando existe uma estação de transferência há uma diferenciação entre os veículos de recolha e os veículos de transporte para o destino final. O transporte da estação de transferência para o destino final é por isso denominado em alta (Levy e Cabeças, 2006).

A rede considerada no presente trabalho foi a rede viária da Área Metropolitana de Lisboa, tendo-se recolhido esta informação junto das Câmaras Municipais da AML e da própria AML. Notou-se uma grande diferenciação entre os dados, não só no sistema distinto de coordenadas, mas também nas tabelas de atributos. Algumas Câmaras forneceram um ficheiro sem os dados da toponímia, convertido directamente de um ficheiro *Autocad*.

O ficheiro fornecido pela AML apresenta uma rede viária muito simplificada, convertida directamente de *Autocad*, sem informação dos nomes das estradas, sem conectividade e apresentando apenas os principais eixos viários de ligação aos vários Concelhos (Figura 6.1).

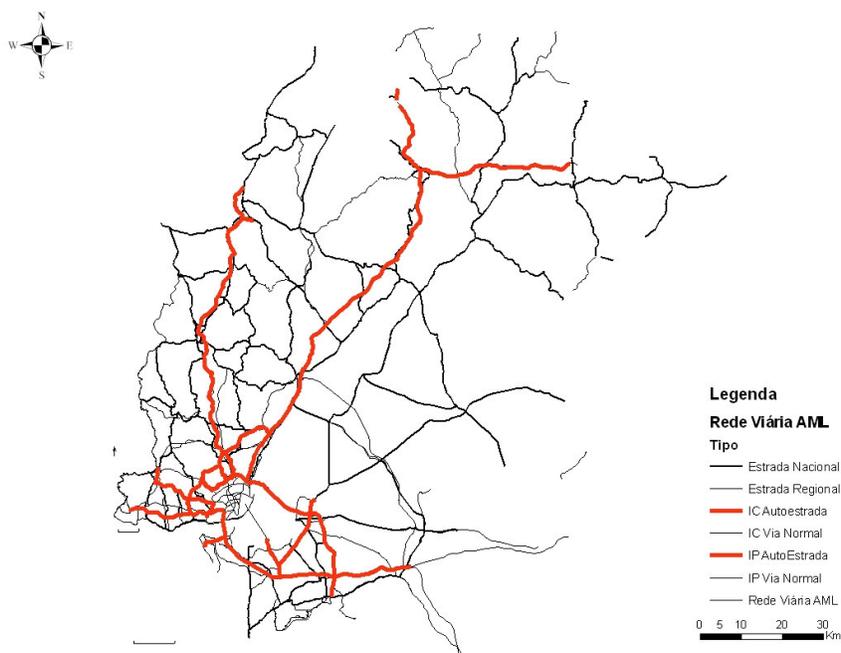


Figura 6.1. Rede viária fornecida pela AML

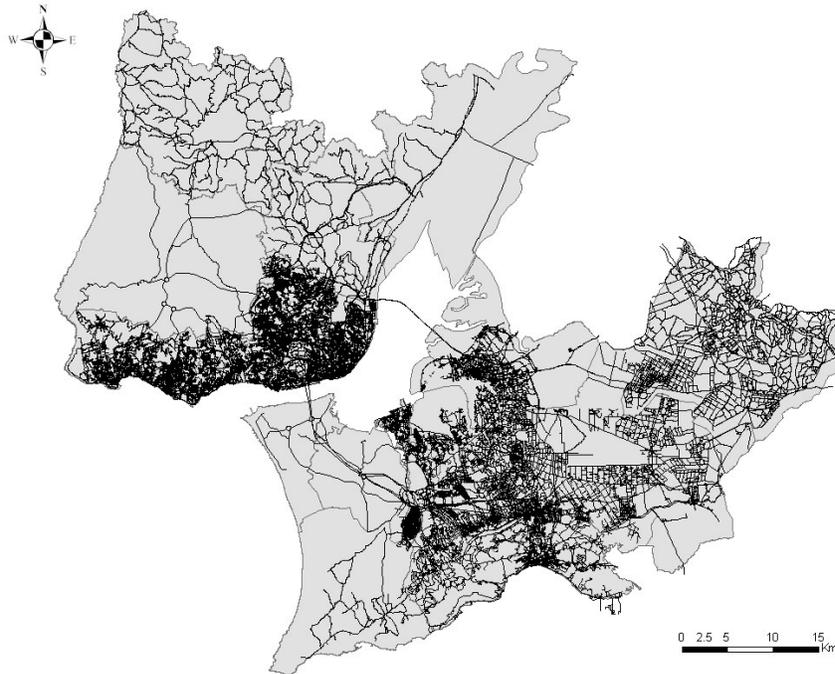
A maior parte das Câmaras Municipais forneceu a sua rede viária, com excepção de Sintra (rede não digitalizada), Almada e Seixal.

Foi necessário organizar e tratar os dados, criando colunas em comum nas tabelas de atributos, para facilitar a sua união geográfica.

Como os dados estão em sistemas de coordenadas diferentes foi necessário colocá-los no mesmo sistema de coordenadas das instalações de tratamento existentes.

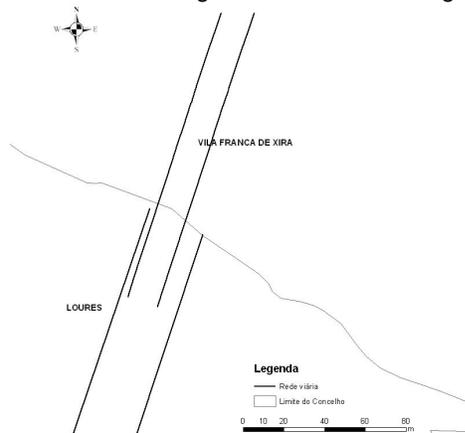
Foi ainda necessário ajustar alguns dados espacialmente. Este procedimento é utilizado sempre que os dados não estão alinhados apesar de se encontrarem no mesmo sistema de coordenadas (CAD to GIS, 2005). Para ajustar espacialmente um tema vectorial, é necessário tê-lo em edição (*Editor ->Start Editing*). Seguidamente, escolhe-se o tema para ajustar (*Spatial Adjustment -> Set Adjust Data*) e escolhem-se alguns pontos de controlo (botão *New Displacement Link*), fazendo-se a sua correspondência com os outros dados. Há vários métodos de ajustamento dos dados, tendo-se escolhido a transformação *Similarity* porque esta mantém a razão entre escalas e não altera significativamente os dados. Por último, fez-se o ajustamento (*Spatial Adjustment -> Adjust*).

A Figura 6.2 mostra a rede viária da AML após tratamento.

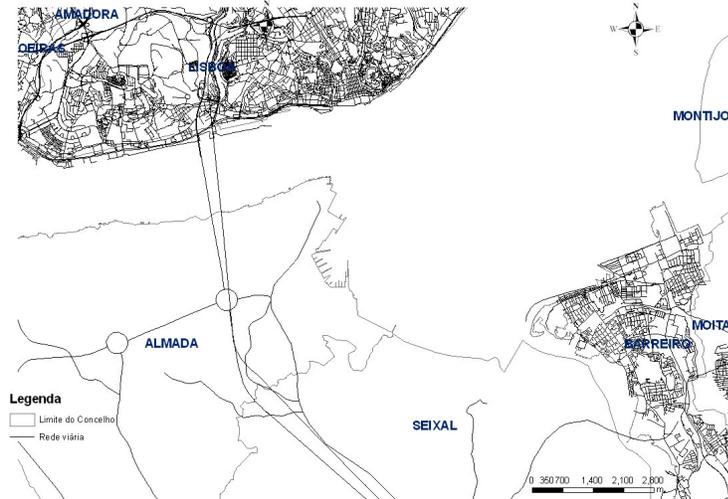


**Figura 6.2. Rede viária da AML fornecida pelas Câmaras Municipais**

Verificou-se, no entanto, que esta rede não apresentava conectividade (Figura 6.3) e tinha troços repetidos (Figura 6.4), pelo que o seu tratamento era moroso e estava fora do âmbito deste trabalho. Optou-se então por não utilizar estes dados e seguir uma outra abordagem.

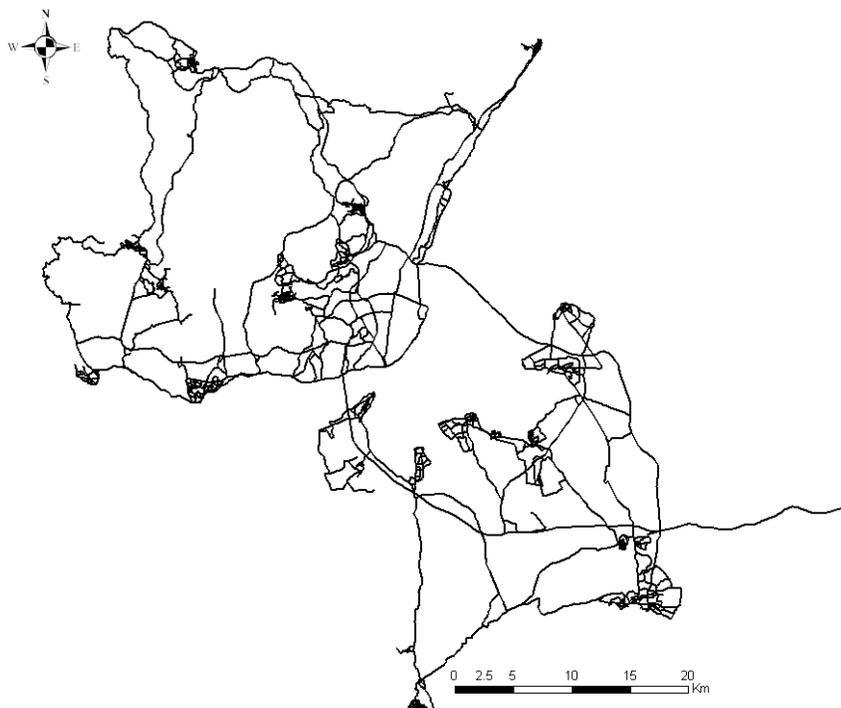


**Figura 6.3. Falta de conectividade na rede fornecida pelas Câmaras Municipais**



**Figura 6.4. Troços repetidos na rede fornecida pelas Câmaras Municipais**

Tentou-se fazer a exportação da informação de estradas que é disponibilizada pelo *Google Earth* e pelo *Google Maps*, mas tal não é possível. No entanto, o *Google Earth* permite fazer o traçado de caminhos (*paths*, sem a opção de *snap*, isto é, sem ligar as linhas umas às outras) e exportá-los para *kml*, um formato de ficheiro típico que, a partir de *software open source*, pode ser facilmente convertido no formato *shp*. Assim, fez-se o traçado dos principais eixos de via (de ligação aos concelhos e de ligação aos locais de tratamento), exportou-se esta informação para *kml* e converteu-se para *shp*, procedendo-se posteriormente ao seu tratamento (ligação de cada troço entre si, a partir da opção *Snapping* do *Editor* do *ArcGIS* e quebra de linhas para contemplar cruzamentos). A Figura 6.5 mostra a rede viária simplificada utilizada neste trabalho.



**Figura 6.5. Rede viária simplificada utilizada neste trabalho**

## 6.2 Análise da rede

A análise desta rede foi feita recorrendo ao *Network Analyst*, uma extensão do *ArcGIS* que permite construir e analisar redes de dados (*network dataset*) resultantes da incorporação de modelos avançados de conectividade e de representação de cenários complexos (ESRI, 2008). A conectividade guarda informação sobre a forma como os elementos estão relacionados entre si (Silva, 2006).

O *Network Analyst* permite determinar o local mais próximo (*closest facility*) de um dado ponto escolhido pelo utilizador, a que se dá o nome de incidente. As instalações (*facilities*) são todos os pontos de destino. Como as instalações têm de ser representadas por pontos e não por polígonos, alterou-se o conjunto de dados dos locais de tratamento, criando novas *layers* de pontos agrupadas por tipo de tratamento. Há ainda a considerar toda a rede de caminhos que liga o incidente às instalações.

Numa análise de redes podem ser definidos os seguintes parâmetros:

- atributo de custo (por defeito, é o comprimento dos troços);
- restrições à rede (por defeito, não definido), que incluem as vias de sentido único;
- restrições às instalações que são consideradas (por defeito, não definido), que só permitem pesquisar instalações localizadas a menos de 15 minutos, por exemplo;
- instalações a encontrar (por defeito, uma instalação);
- permissão de inversão de marcha na rede (por defeito, não definido);
- hierarquizar a rede, atribuindo uma importância diferente a diferentes grupos de caminhos (por defeito, não definido).

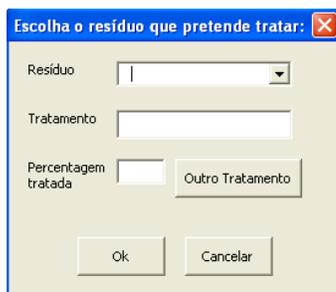
## 6.3 Instalação mais próxima

Nesta fase desenvolveu-se um módulo que permite ao utilizador escolher o resíduo a tratar: opção Escolhe Tratamento. Quando é indicado o resíduo, o programa acede à base de dados de resíduos, nomeadamente à tabela Tratamento e mostra qual o destino para tratamento da maior percentagem deste resíduo sólido urbano (Figura 6.6). O utilizador pode sempre escolher um outro tratamento e definir uma percentagem diferente (Figura 6.7). Para isso basta carregar no botão Escolher outro tratamento, aparecendo uma *combobox* com todos os tratamentos existentes na base de dados.

O utilizador tem ainda de indicar o caminho para a rede de dados e o nome da *layer* que guarda o incidente, isto é, o local de geração do resíduo. Esta *layer* tem de ser uma *shapefile* criada à parte e importada para o *Network Dataset*, o que é feito no *ArcCatalog* (Anexo II).

O programa conta o número de instalações de tratamento apropriadas para o tratamento do resíduo e mostra o atributo de custo, que é, para o caso simplificado, o comprimento de cada troço da rede. O conjunto de dados utilizados para determinar a instalação mais próxima é adicionado ao *ArcGIS* e o utilizador só tem de carregar no comando *Solve* existente na extensão activa *Network Analyst*.

A Figura 6.8 e a Figura 6.9 mostram a interface de determinação do local mais próximo, e a Figura 6.10 mostra a interface geográfica.



O formulário, intitulado "Escolha o resíduo que pretende tratar:", apresenta os seguintes campos e botões:

- Um menu suspenso rotulado "Resíduo".
- Um campo de texto rotulado "Tratamento".
- Um campo de texto rotulado "Percentagem tratada" e um botão rotulado "Outro Tratamento".
- Dois botões de ação: "Ok" e "Cancelar".

Figura 6.6. Formulário de escolha do resíduo

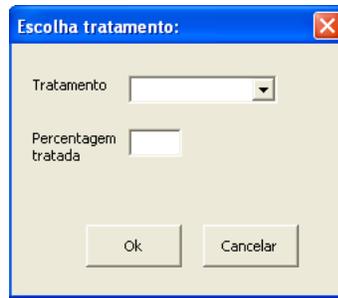


Figura 6.7. Escolher outro tratamento

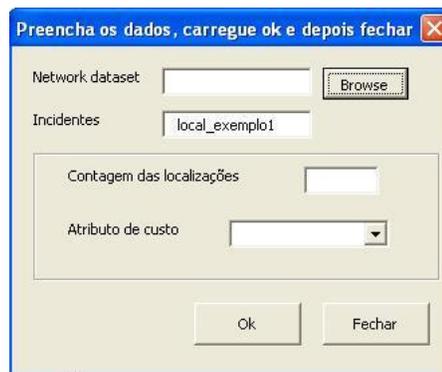


Figura 6.8. Interface de determinação do local mais próximo (1/2)

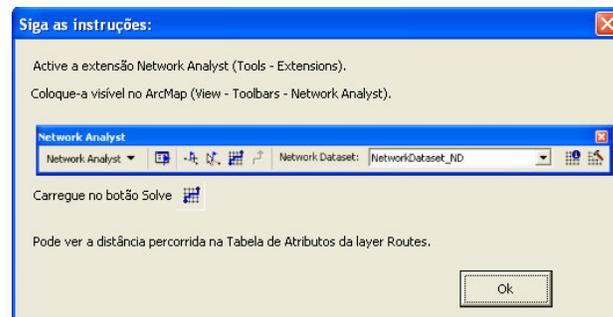
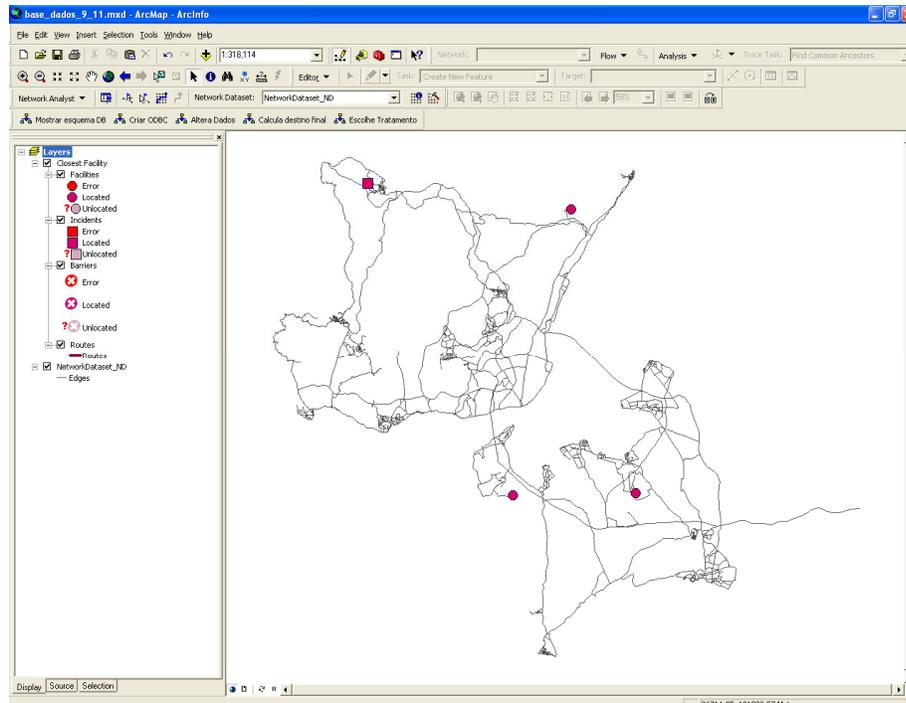


Figura 6.9. Interface de determinação do local mais próximo (2/2)



**Figura 6.10. Interface geográfica**

O utilizador pode criar manualmente uma *layer* de instalação mais próxima mais complexa do que a que é apresentada (Anexo III), dispensando a utilização deste módulo.

## **6.4 Instalação mais próxima: exemplos de utilização**

A título de exemplo, escolheram-se quatro pontos de geração de resíduos e tipos de resíduos e determinaram-se os locais mais próximos. Apresentam-se alguns resultados na Figura 6.11, na Figura 6.12, na Figura 6.13 e na Figura 6.14. O quadrado representa o local de geração e os círculos representam as instalações de tratamento estando assinalado o caminho para a instalação mais próxima a outra cor.

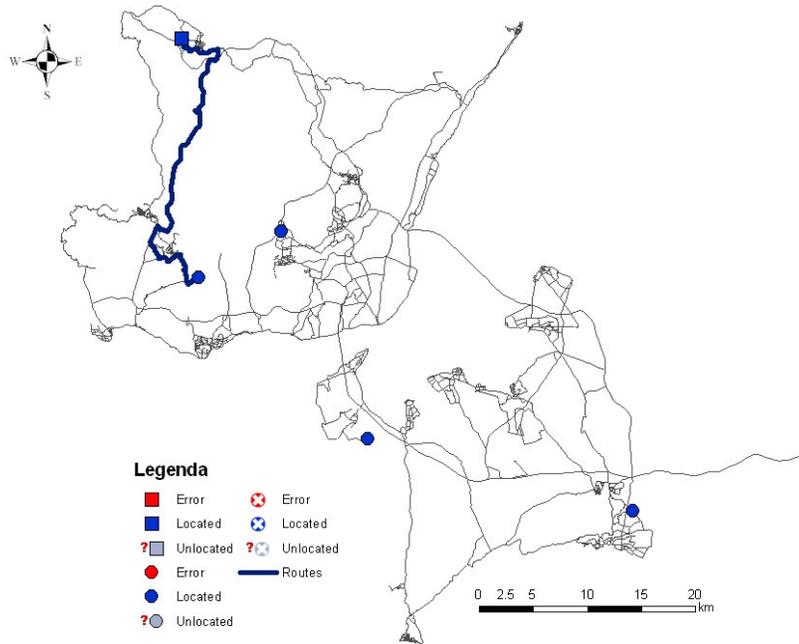


Figura 6.11. Instalação de valorização orgânica mais próxima para a zona de Mafra

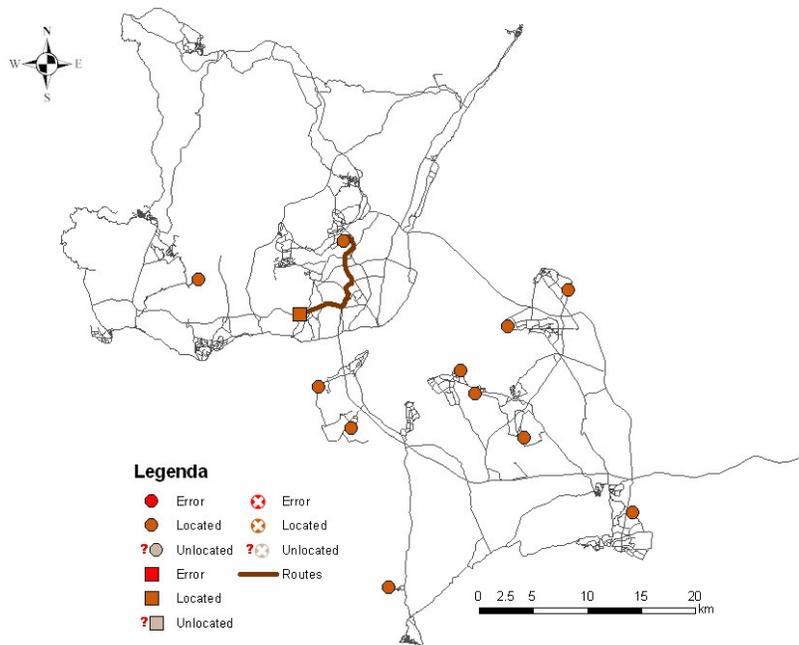
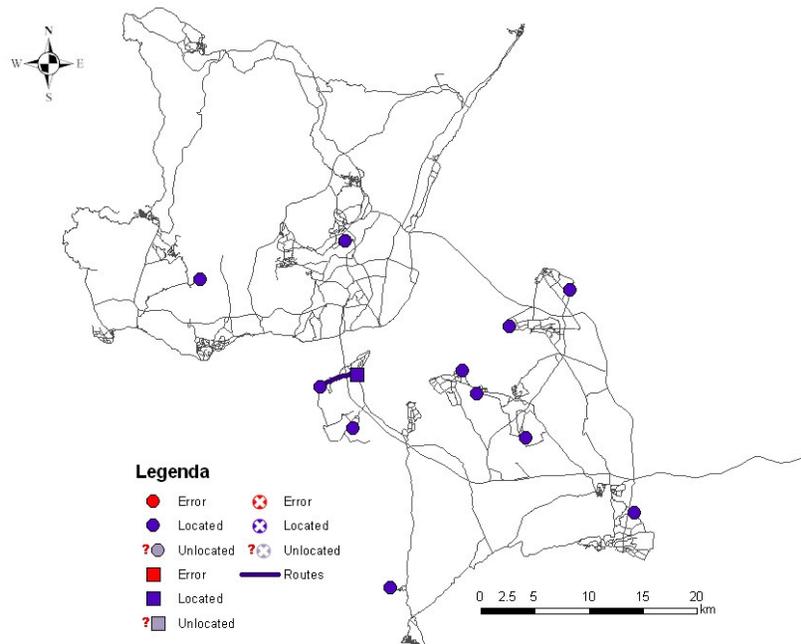
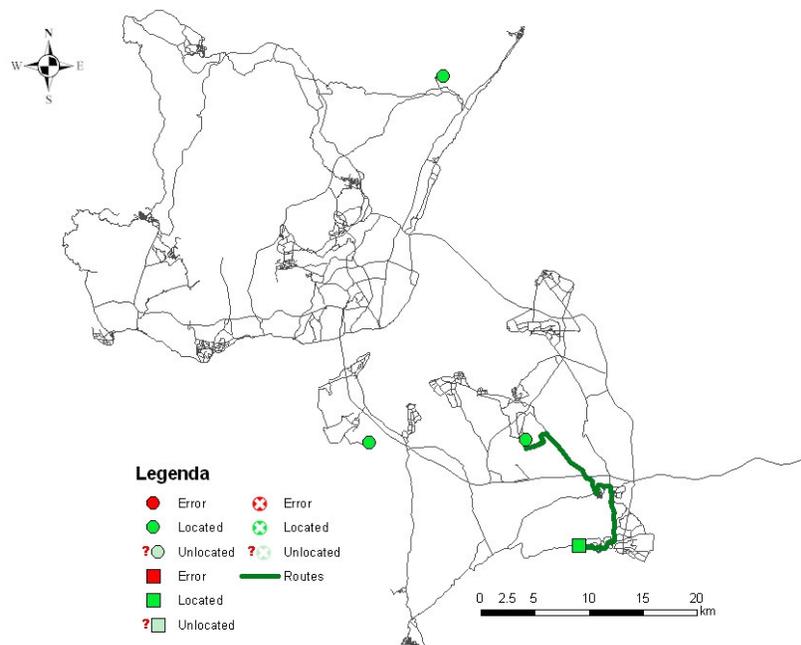


Figura 6.12. Instalação de reciclagem mais próxima para a zona de Lisboa



**Figura 6.13. Ecocentro mais próximo para a zona de Almada**



**Figura 6.14. Aterro mais próximo para a zona de Setúbal**

O Quadro 6-1 mostra as distâncias que separam o local de geração do local de tratamento.

**Quadro 6-1. Distância entre o local de geração e o local de tratamento**

Local	Resíduo	Tratamento	Distância à instalação (km)
Concelho de Mafra	Papel e cartão	Reciclagem	36 (Tratolixo)
	Têxtil	Valorização energética	43 (Valorsul)
	Fermentáveis	Valorização orgânica	36 (Tratolixo)
	Plástico	Aterro	33 (Valorsul)
Concelho de Lisboa	Papel e cartão	Reciclagem	13 (Valorsul)
	Têxtil	Valorização energética	25 (Valorsul)
	Fermentáveis	Valorização orgânica	17 (Valorsul)
	Plástico	Aterro	21 (AMARSUL)
Concelho de Almada	Papel e cartão	Reciclagem	4 (AMARSUL)
	Têxtil	Valorização energética	29 (Valorsul)
	Fermentáveis	Valorização orgânica	10 (AMARSUL)
	Plástico	Aterro	10 (AMARSUL)
Concelho de Setúbal	Papel e cartão	Reciclagem	8 (AMARSUL)
	Têxtil	Valorização energética	53 (Valorsul)
	Fermentáveis	Valorização orgânica	8 (AMARSUL)
	Plástico	Aterro	23 (AMARSUL)

## 6.5 Área de influência

Levy e Cabeças (2006) referem que deve ponderar-se a instalação de uma estação de transferência para distâncias superiores a 25/30 km, dada a reduzida velocidade dos veículos de remoção. As instalações de transferência permitem otimizar custos de transporte, minimizar o desgaste das viaturas, reduzir os recursos humanos da operação e sobretudo ajustar a entrada e deposição de resíduos sólidos urbanos na unidade de tratamento.

A recomendação de Levy e Cabeças (2006) foi testada em termos territoriais, recorrendo à opção *Service Area* (área de serviço) existente no *Network Analyst*. Dado o local de produção do resíduo ou da instalação de tratamento, o programa determina a sua área de influência (opção Área de Influência) para averiguar (a) a proximidade do RSU aos locais de tratamento, do ponto de vista do produtor/gestor do RSU e (b) se se justifica a instalação de uma estação de transferência ou até mesmo de um novo local de tratamento, do ponto de vista de licenciamento e planeamento. Para isso, o utilizador tem de indicar a camada (*layer*) que guarda o local de geração do resíduo ou o conjunto de instalações mais próximas e definir a máxima distância de influência (por defeito, 25 000 m), conforme o formulário da Figura 6.15.

Além dos parâmetros que podem ser definidos numa análise de redes, pode ainda definir-se nesta análise a interrupção de polígonos, que gera uma área de serviço com polígonos concêntricos, para o caso em que se tenha mais do que uma condição (por exemplo, quando se pretende encontrar as áreas de serviço a 2, 3 e 5 minutos de distância). Neste trabalho, não se considerou a interrupção de polígonos, deixando-se à consideração do utilizador a criação de uma *layer* área de serviço mais complexa de uma forma manual (Anexo IV), que dispensa a utilização deste módulo. A determinação da área de serviço funciona da mesma forma que a determinação da instalação mais próxima, sendo necessário adicionar os dados e posteriormente carregar na opção *Solve* do *Network Analyst*.

**Figura 6.15. Formulário de área de influência**

## 6.6 Área de influência: exemplos de utilização

### 6.6.1 Do ponto de vista do produtor/gestor de resíduos sólidos urbanos

A Figura 6.16, a Figura 6.17, a Figura 6.18 e a Figura 6.19 mostram o resultado para os locais de geração dos resíduos considerados acima.

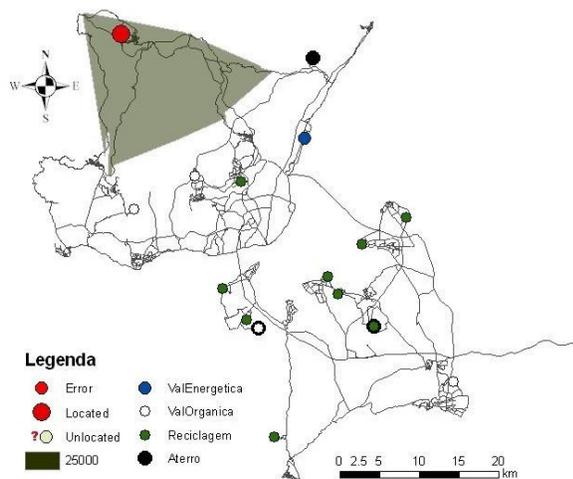


Figura 6.16. Área de influência de um resíduo produzido na zona de Mafra

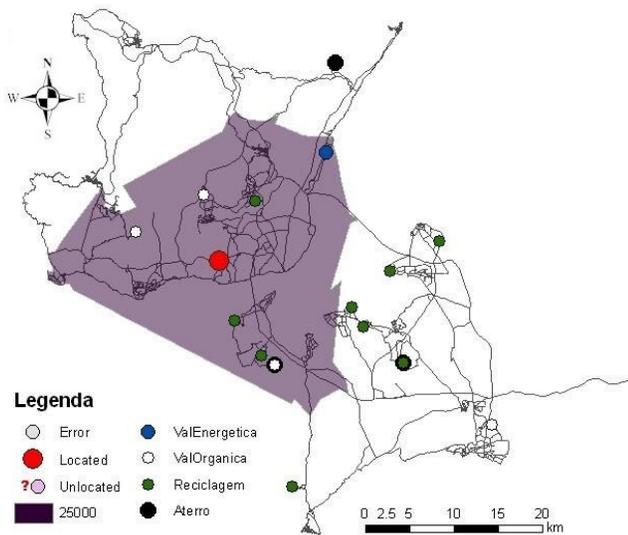


Figura 6.17. Área de influência de um resíduo produzido na zona de Lisboa

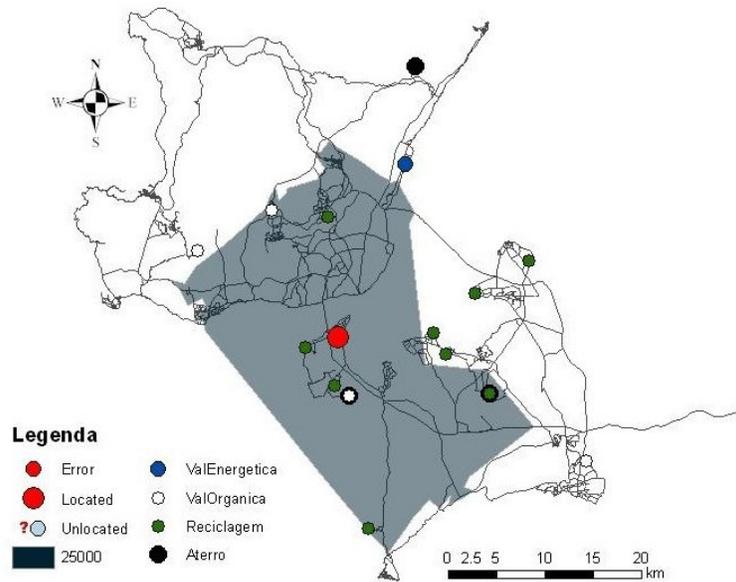


Figura 6.18. Área de influência de um resíduo produzido na zona de Almada

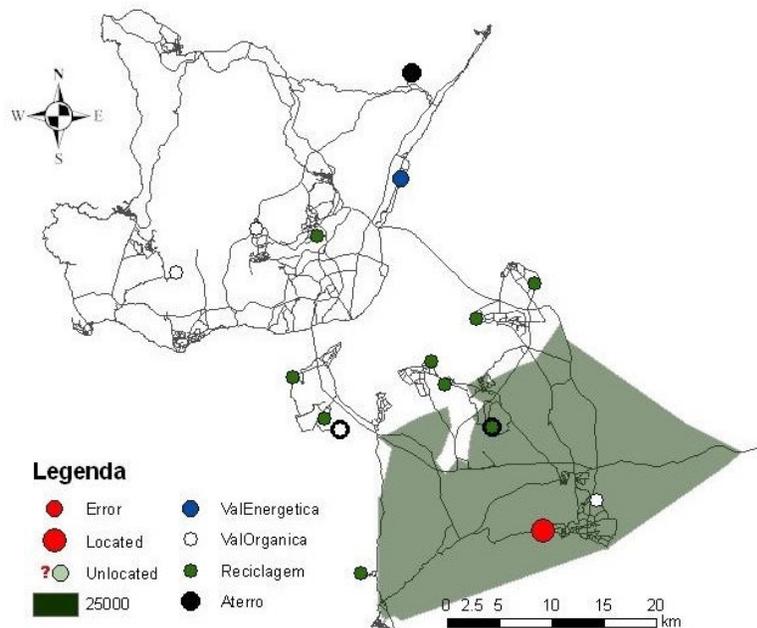


Figura 6.19. Área de influência de um resíduo produzido na zona de Setúbal

Verifica-se que na zona de influência de um RSU produzido em Mafra não existe nenhum local de tratamento, enquanto que as zonas de Lisboa, Almada e Setúbal estão bem servidas. Nota-se que a zona de influência de Lisboa abrange todos os tipos de tratamento disponíveis ao RSU e que Almada e Setúbal só não englobam a valorização energética.

## 6.6.2 Do ponto de vista do licenciamento e planejamento

A Figura 6.20, Figura 6.21, Figura 6.22 e a Figura 6.23 mostram os resultados para as instalações por tipo de tratamento.

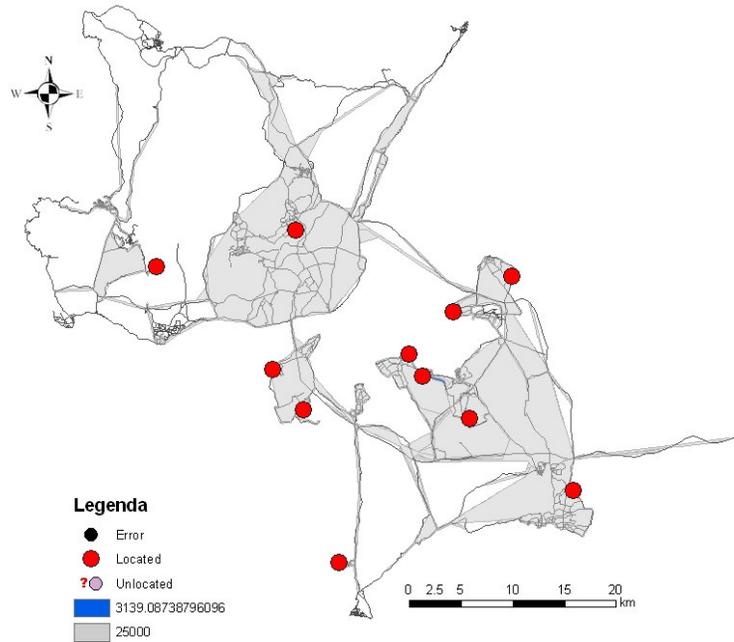


Figura 6.20. Áreas de influência das instalações de reciclagem

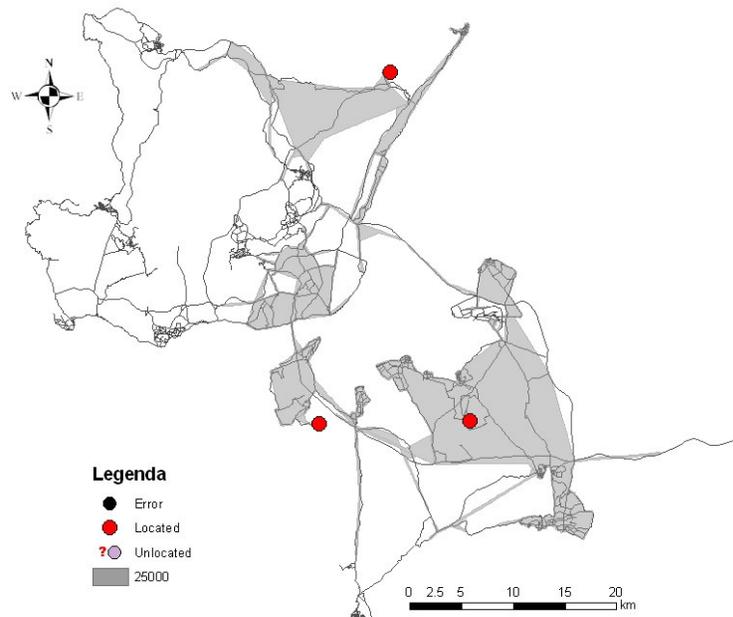


Figura 6.21. Áreas de influência de aterros sanitários

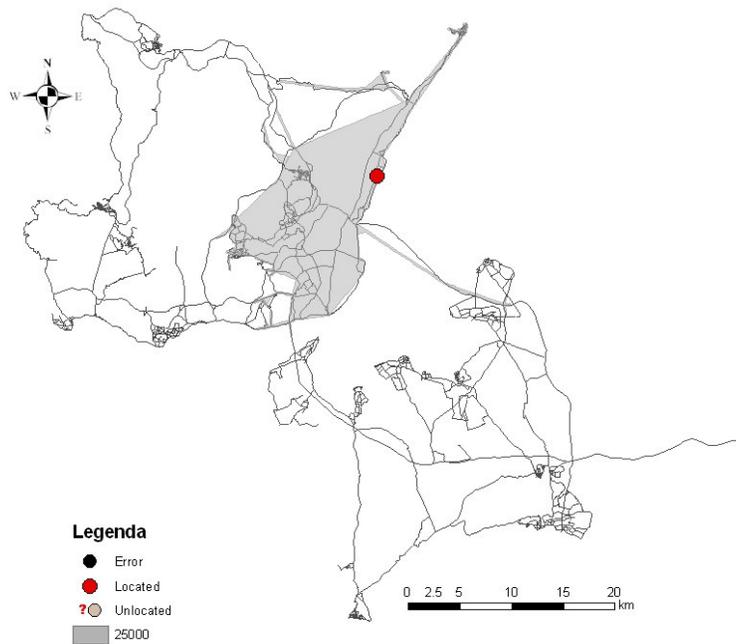


Figura 6.22. Área de influência de instalação de valorização energética

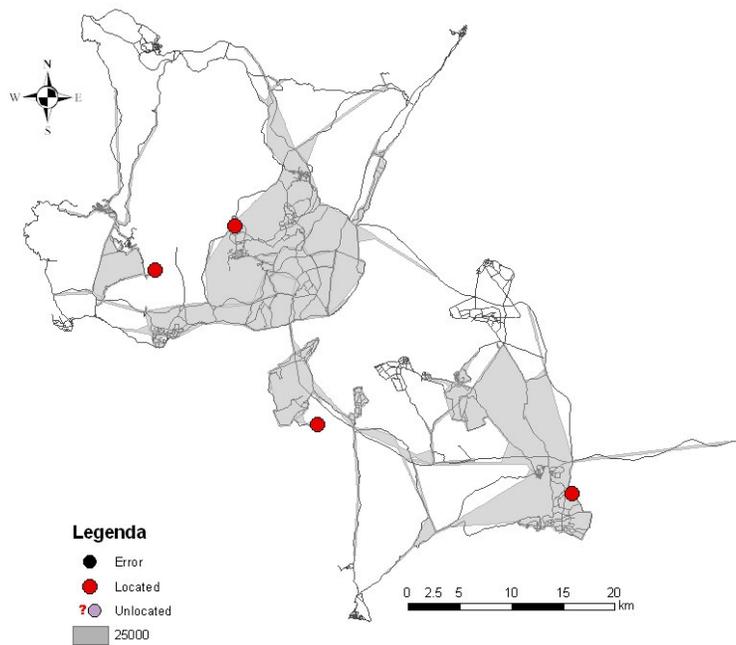


Figura 6.23. Áreas de influência de instalações de valorização orgânica

Verifica-se que as instalações de reciclagem abrangem uma vasta área de influência, cobrindo a área a sul do rio Tejo quase na totalidade.

Os aterros sanitários abrangem toda a zona este da margem sul, o concelho de Almada, parte do concelho de Lisboa, e a zona mais a nordeste da Área Metropolitana de Lisboa (concelho de Vila Franca de Xira).

No que respeita à valorização energética, nota-se uma maior influência nos concelhos de Lisboa e Vila Franca de Xira. A margem sul não está coberta por este tipo de instalação, assim como os concelhos mais a oeste da AML. A valorização orgânica cobre todo o concelho de Lisboa, parte dos concelhos de Oeiras e Cascais e, na margem sul, Almada e Setúbal.

Nota-se ainda que os concelhos de Sintra e Mafra apresentam uma reduzida área coberta. É importante referir que estes resultados dependem dos dados que são utilizados, com particular destaque para a rede, que é bastante simplificada e que justifica algumas das áreas não cobertas pelas instalações de tratamento.

## 6.7 Interface Gráfica e disponibilização do programa

A Figura 6.24 mostra o conjunto de opções disponível ao utilizador, que pode ser activado em *View -> Toolbars*, seleccionando Determinar Destino Final.

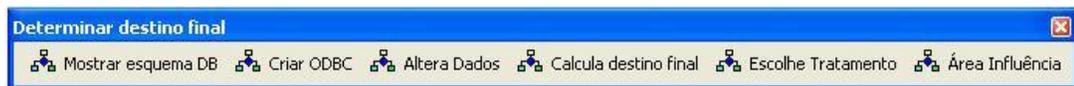


Figura 6.24. Interface Gráfica

Em anexo são fornecidos:

1. Projecto *mx*d, denominado *programa.mxd*, que pode ser lido no *ArcGIS 9.1* e versões seguintes;
2. Base de dados *residuos\_db.mdb*, que guarda os dados utilizados na determinação das percentagens de tratamento do resíduo;
3. Rede de dados *rede.mdb*, que guarda o *network dataset* criado a partir da rede viária (*NetworkDataset\_ND*), as localizações dos resíduos (*local\_exemplo1* a *local\_exemplo4*) e os locais de tratamento (Reciclagem, ValEnergética, ValOrganica, Aterro).

## 7. Discussão

Não existe um tratamento único para um dado resíduo sólido urbano, recomendando-se sempre a sua separação em componentes, dada a enorme diversidade de materiais, física e química, e o posterior encaminhamento para os destinos considerados mais adequados, respeitando as orientações da União Europeia. A determinação de um destino final mais adequado pressupõe ainda a consideração dos factores contextuais de cada região, das melhores tecnologias disponíveis e da análise do mercado de resíduos, que não foram considerados neste trabalho.

É também importante referir que a composição física dos resíduos tem vindo a alterar-se ao longo do tempo, devido à introdução de novos materiais de embalagem, à melhoria da qualidade de vida e aos avanços tecnológicos, pelo que é essencial actualizar esta informação e estudá-la de uma forma profunda para garantir o melhor encaminhamento possível e o menor desperdício.

A base de dados criada constitui uma tentativa simplificada de agregar alguma informação relevante à determinação do tratamento mais adequado de um resíduo sólido urbano. Tentou-se, a partir de critérios relativamente simples e consensuais, sugerir percentagens de tratamento de um dado resíduo, dando sempre a possibilidade ao utilizador não só de alterar os dados, mas também de alterar os resultados.

De uma forma geral, a Área Metropolitana de Lisboa encontra-se bem servida ao nível de estações de tratamento, nomeadamente estações de triagem e ecocentros que fazem o encaminhamento dos materiais para reciclagem. Notam-se contudo algumas lacunas no que respeita à incineração de resíduos e à sua deposição em aterro. Apesar das cada vez maiores restrições à deposição em aterro, esta infraestrutura é sempre necessária como forma complementar de apoio aos restantes tratamentos. Refira-se que a AMTRES/Tratolixo desactivou um aterro sanitário no concelho de Cascais, só podendo actualmente encaminhar resíduos para aterro a partir do estabelecimento de protocolos com outras entidades gestoras.

Note-se que os concelhos servidos pela AMTRES (Cascais, Mafra, Oeiras e Sintra) abrangem uma área elevada (cerca de 754 km<sup>2</sup>) e apresentam uma população crescente (750 918 hab em 2001 (INE); 786 580 em 2007, de acordo com a APA, 2008), o que poderia comprometer a médio/longo prazo a sustentabilidade do sistema de gestão como está actualmente. Está por isso prevista a construção de um aterro em Mafra para 2009 (APA, 2008). Refira-se ainda que o tempo de vida útil dos aterros pode ser prolongado através da reutilização, reciclagem e triagem na fonte para aproveitamento da fracção biodegradável. A AMTRES/Tratolixo tem por isso previsto a construção de uma central de valorização orgânica também em Mafra e também para 2009 (APA, 2008), possivelmente para maximizar o tempo de vida do novo aterro sanitário.

Relativamente à valorização orgânica, as orientações de gestão comunitárias destacam a compostagem como uma prioridade para o tratamento da matéria fermentável depositada em aterros, que poderá ser assim valorizada e reutilizada num composto rico em nutrientes.

A AML está servida por três instalações de valorização orgânica por compostagem localizadas na Amadora, no Seixal e em Cascais, da responsabilidade de cada uma das três entidades gestoras. Tem-se dado também maior atenção à valorização orgânica por digestão anaeróbia, que é um processo natural nos aterros sanitários e que tem a vantagem de produzir electricidade que pode ser utilizada no funcionamento da própria instalação. A AMARSUL tem previsto a construção de uma estação de valorização orgânica por digestão anaeróbia no Seixal para 2009 (APA, 2008).

Há ainda certos componentes dos RSU que apresentam um elevado poder calorífico, pelo que a sua incineração permite uma valorização mais adequada, com a vantagem de haver produção de electricidade. Contudo, não se encontra prevista a construção de mais centrais de valorização energética para a Área da Grande Lisboa, o que pode dever-se às características actuais dos componentes dos resíduos (elevada fracção biodegradável que pode ser aproveitada para valorização orgânica, e uma percentagem considerável de papel e cartão e outros materiais que podem ser reciclados), elevados custos de investimento e também apertado controlo da poluição e das emissões poluentes, tornando difícil a sua aceitação por parte das populações.

A remoção selectiva de RSU para reciclagem tem vindo a aumentar, assim como as estações dedicadas ao seu correcto encaminhamento (ecocentros). O desafio, independentemente das orientações comunitárias e das metas estipuladas que continuam a não ser cumpridas, passa por uma maior sensibilização do público para estas questões e pela constituição de sistemas integrados de recolha, triagem e reciclagem.

As instalações de tratamento de RSU na AML foram construídas na sua maioria nos finais dos anos 90. Com a tendência de crescimento na produção de resíduos sólidos urbanos, o seu tempo de

vida previsto pode ver-se reduzido, o que acarreta importantes desafios de gestão e planeamento no médio/longo prazo, tendo em conta as especificidades de todo o mercado dos resíduos e ainda a consideração dos destinos finais e tratamentos mais adequados, sempre com o objectivo da redução da quantidade de resíduos depositados em aterro e o aumento da reciclagem e recuperação dos materiais. A determinação da área de influência de cada tipo de instalações pode ser um contributo relevante nesta análise, bem como a determinação do local mais próximo para o tratamento de um dado RSU, permitindo averiguar a necessidade de se ponderar a construção de novos locais ou de locais intermédios de transferência sempre que a distância que é percorrida ultrapasse o máximo aceitável de custos *versus* tarifas. Esta distância pode ser determinada, numa primeira fase, a partir de análise territorial, optimização de percursos e área de influência e posteriormente considerando todos os condicionantes ambientais e económicas da(s) zona(s) escolhidas e os interesses das populações.

Considera-se essencial a um trabalho desta envergadura a utilização e disponibilização de dados geográficos actualizados e integrados entre si, de forma a facilitar e tornar mais exacta a análise. Infelizmente, não se conseguiu obter uma rede viária completa e com conectividade, tendo de se utilizar uma rede simplificada para exemplificar a análise e todas as potencialidades dos SIG. Esta rede não tem em conta os sentidos, nem os limites de velocidade de cada estrada e apresenta como atributo de custo a distância. Os resultados poderiam diferir se o atributo de custo fosse o tempo e se se entrasse em consideração com todas as restrições de trânsito. É também uma rede incompleta, que tenta representar as principais vias utilizadas entre concelhos e as suas principais localidades, daí ser necessário analisar os resultados com cuidado. A utilização da rede fornecida pelas várias Câmaras Municipais necessitaria da correcção de mais de 10 000 linhas, o que seria um processo moroso e fora dos objectivos deste trabalho.

Note-se também que a análise realizada não considera o transporte em baixa, dentro do município, que pode incluir recolha porta-a-porta, recolha por pontos e recolha mista. A consideração deste transporte requer o conhecimento dos tipos de veículos, da sua capacidade, do número de voltas a realizar por cada veículo e a optimização da distância e do tempo a percorrer, o que por si só daria um outro trabalho, no qual a rede viária fosse bem conhecida e estivesse bem caracterizada.

O programa que foi desenvolvido permite ao utilizador, de uma forma rápida e simples, determinar as diferentes percentagens de tratamento de um RSU por tipo de instalação, tendo em conta critérios como o seu poder calorífico, o refugo, a biodegradabilidade e as metas da União Europeia em matéria de resíduos, e encontrar o local mais próximo onde o tratamento da maior percentagem é feito. A abordagem seguida permite alterar os dados existentes, introduzir novos dados, alterar os valores dos critérios definidos e por último alterar o destino final mais adequado para o resíduo, dando liberdade ao utilizador de fazer diferentes simulações. Uma vez determinado o tratamento mais aconselhável ao RSU, o utilizador pode saber a instalação de tratamento mais próxima (em termos de distância), indicando para isso o local de geração do resíduo. Por último, pode conhecer a área de influência do ponto de vista do produtor/gestor de RSU e do licenciamento e planeamento, para concluir da necessidade de instalar uma nova infra-estrutura de tratamento ou de transferência.

Os resultados do programa para locais exemplo em Mafra, Lisboa, Almada e Setúbal mostram distâncias percorridas a variar entre 4 e 53 km. Nota-se que a zona a sul do Rio Tejo se apresenta bem servida por ecocentros, instalações de valorização orgânica e aterro. O concelho de Lisboa está também bem servido pela Valorsul, notando-se contudo que o aterro sanitário da responsabilidade da AMARSUL se encontra mais próximo que o da Valorsul para o local considerado.

A determinação da área de influência do resíduo mostra que a zona de Mafra é a que maiores carências deverá apresentar em termos de locais de tratamento. Setúbal e Almada englobam diferentes locais de tratamento, estando de uma forma geral bem servidas, excepto na valorização energética. Lisboa encontra-se muito bem servida por locais de tratamento, localizados quer na margem norte quer na margem sul do Tejo.

Nota-se que a área de influência das instalações de reciclagem na margem sul do Tejo é bastante elevada, abrangendo praticamente todos os concelhos. Regista-se novamente que o concelho de Mafra não se encontra coberto por instalações de tratamento, justificando o investimento em novas infra-estruturas na zona. No entanto, os resultados obtidos para a área de influência das instalações têm de ser analisados com muito cuidado, porque resultam da consideração de uma rede simplificada que não apresenta todas as vias existentes na AML. Os resultados podem diferir consideravelmente com a complexidade da rede viária que é utilizada.

## 8. Conclusões

A escolha do tipo de tratamento mais adequado para um RSU pressupõe a ponderação das suas características físico-químicas, das especificidades do local onde é gerado e dos compromissos internacionais assumidos, não sendo possível identificar um único tratamento mais adequado. É por isso aconselhável considerar que há uma maior percentagem do RSU que é encaminhada para uma instalação em detrimento de outra. Verifica-se também que os RSU actualmente produzidos na AML apresentam uma maior percentagem de resíduos orgânicos, pelo que a sua valorização orgânica poderá ser o tratamento mais adequado. Destaca-se ainda a reciclagem como o tratamento mais adequado para papel e cartão, vidro e metal (que são constituintes importantes dos RSU), principalmente devido às metas da UE impostas para os resíduos de embalagem.

A Área Metropolitana de Lisboa encontra-se bem servida por instalações de tratamento, com particular destaque para os ecocentros existentes na margem sul (um por Concelho) e para a zona da Grande Lisboa. A excepção são os Concelhos de Cascais, Sintra, Oeiras e Mafra, para os quais estão previstas instalações de tratamento para 2009. A análise das áreas de influência do RSU mostra que a zona de Mafra não apresenta locais de tratamento num raio de 25 km. Pelo contrário, a zona de Lisboa engloba todos os tipos de instalações de tratamento. Almada e Setúbal encontram-se também bem servidas por instalações de tratamento, com excepção da valorização energética. Nota-se ainda que as instalações de tratamento de RSU existentes cobrem razoavelmente a Área Metropolitana de Lisboa.

Para realizar a análise dos locais de tratamento mais próximo, é necessário ter uma estrutura geográfica com uma rede viária actualizada e com conectividade, o que se consegue com a participação dos vários intervenientes na gestão dos RSU e com uma aposta clara no cadastro, com informações detalhadas sobre o sentido das vias, os limites de trânsito, as possibilidades de inversão de marcha e a hierarquia das vias.

O programa desenvolvido constitui uma ferramenta simplificada de apoio à decisão, recomendando um tratamento mais adequado para um resíduo, através da definição de percentagens por tipo de tratamento condicionadas pelas características físico-químicas e pelas orientações da política de resíduos sólidos, e permite identificar o local mais próximo onde este tratamento se pode fazer. É um programa cujos resultados podem ser facilmente modificados pelo utilizador, que tem permissão de alteração de dados na base de dados, bem como de inserção de novos dados e de eliminação de outros. A rede de dados geográficos que é utilizada é uma rede simplificada que não tem em consideração restrições de trânsito e que é constituída unicamente pelas principais vias de acesso aos locais de tratamento e de ligação aos concelhos. Sugere-se por isso, como trabalho futuro, a construção de uma rede viária entre concelhos bem caracterizada e com conectividade para posteriores simulações nesta ferramenta, o que acarretará novos desenvolvimentos no programa para considerar restrições, hierarquia e até diferentes atributos de custo. Seria também interessante tornar mais complexa a base de dados, acrescentando-lhe mais tabelas e mais variáveis para uma determinação mais rigorosa do tratamento mais adequado e definir mais critérios, com base nesta nova informação, o que acarretará também novos desenvolvimentos no programa.

## Referências Bibliográficas

APA (2008), *Relatório do Estado do Ambiente 2007*, versão preliminar, Agência Portuguesa do Ambiente, Outubro, 432 pp.

AML (2003), *Atlas da Área Metropolitana de Lisboa*, Direcção e Coordenação de José António Tenedório, Área Metropolitana de Lisboa, 321 pp. (ISBN972-98655-7-4), disponível em: <http://www.aml.pt/index.php?&iLevel1=actividades&iLevel2=smig&iLevel3=atlas&iContent=index.html>

Belgiorno, V., De Feo, G., Della Rocca, C., Napoli, R. (2003), Energy from gasification of solid wastes, *Waste management*, Vol. 23, 1-15 pp.

Campos, L., Vilar, S., Lúcio, L. (1998), *Programação em Visual Basic 6*, FCA – Editora de Informática, 464 pp. (ISBN972-722-154-8)

Costa, C., Allen, A., Brito, M., Caetano, P., Cummins, V., Donnelly, J., Koukoulas, S., O'Donnell, V., Robalo, C., Vendas, D. (2003), Modelo SIG para selecção de locais para aterros de resíduos, *Finisterra*, XXXVIII, 75, 85-99 pp.

DeAngelo, M. (2004), *Siting of waste-to-energy facilities in New York city using GIS technology*, Master Thesis, Earth Engineering Center, Columbia University, Maio, 42 pp.

DR (2002), Decreto-Lei nº 152/2002, de 23 de Maio, Diário da República I Série-A, Nº 119, 20 pp.

Dias, S., Silva, R., Barreiro, F., Costa, M. (2006), *Avaliação do Potencial de Produção e Utilização de CDR em Portugal Continental*, IST, Instituto dos Resíduos, Julho, 154 pp., disponível em: [http://dequim.ist.utl.pt/cebg/enverg/PDF/Potencial%20CDR%20v1%2006\\_06.pdf](http://dequim.ist.utl.pt/cebg/enverg/PDF/Potencial%20CDR%20v1%2006_06.pdf)

EC (2000), *A UE e a gestão de resíduos*, Comissão Europeia, Direcção-Geral do Ambiente (Eds), 18 pp (ISBN 92-828-4829-9)

EC (2006), *BREF Waste Incineration*, Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration, Agosto, 638 pp, disponível em: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/pages/FActivities.htm>

ENRRUB (2003), *Estratégia Nacional para a Redução de Resíduos Urbanos Biodegradáveis*, Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente, Apresentação, Julho

Huxhold, W. (1991), *An introduction to urban geographic information systems*, Oxford University Press (Ed.), 337 pp. (ISBN0195065352)

IA (2006), *Relatório do Estado do Ambiente 2005*, Instituto do Ambiente (Ed.), Dezembro, 106 pp. (ISBN978-972-8577-33-9)

IA (2007), *Relatório do Estado do Ambiente 2006*, Instituto do Ambiente (Ed.), Outubro, 115 pp.

INE (2006), *Anuário Estatístico da Região de Lisboa 2006*, Instituto Nacional de Estatística (Ed.), 354 pp. (ISBN978-972-673-907-4)

Karadimas, N., Kouzas, G., Anagnostopoulos, I., Loumos, V. (2006), Urban solid waste collection and routing: the ant colony strategic approach, *International Journal of Simulation*, 6, 12-13, 9 pp.

Leão, S., Bishop, I., Evans, D. (2004), Spatial-temporal model for demand and allocation of waste landfills in growing urban regions, *Computers, Environment and Urban Systems* 28, 353-385 pp.

Levy, J., Cabeças, A. (2006), *Resíduos Sólidos Urbanos, Princípios e Processos*, AEPSA – Associação das Empresas Portuguesas para o Sector do Ambiente (Ed.), 332 pp. (ISBN9899505900)

Mahini, A., Gholamalifard, M., (2006). Siting MSW landfills with a weighted linear combination (WLC) methodology in a GIS environment. *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, 3 (4),435-445 pp.

Matos, J. (2001), *Fundamentos de Informação Geográfica, 2ª Edição*, LIDEL (Ed.), Março, 326 pp. (ISBN972-757-185-9)

Memon, I. (2005), *Application of Geographic Information System in Transportation for Road Network analysis*, Master Thesis, Faculty of Civil Engineering, Universiti Teknologi Malaysia, 109 pp.

Mendes, A., Guimarães, F., Oliveira, S. (2004), *Programação de bases de dados com Visual Basic.net 2003 Curso Completo*, FCA – Editora de Informática (Ed.), 592 pp. (ISBN972-722-307-9)

Miguel, A., Pinto, C (2007), *As Políticas de Gestão de Resíduos Urbanos – Perspectivas Actuais e Futuras*, apresentação realizada no âmbito do Mestrado em Bioenergia, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

Miguel, A., Fernandes, G., Guerra, I., Portugal, J., Simões, J., Silva, T. (2007), *Dimensionamento de uma unidade de co-combustão de carvão e de um combustível derivado de resíduos*, trabalho realizado no âmbito do Mestrado em Bioenergia, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa

POTVT (2007) Proposta de Programa Operacional Temático Valorização do Território 2007-2013, Janeiro, 116 pp. disponível em:  
<http://www.povt.qren.pt/cs2.asp?idcat=1120>

PERSU II (2007), Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos, Instituto dos Resíduos, 196 pp. (ISBN978-989-8097-01-9), disponível em: [www.maotdr.gov.pt/Admin/Files/Documents/PERSU.pdf](http://www.maotdr.gov.pt/Admin/Files/Documents/PERSU.pdf)

Roviriego, L. (2005), Proposta de uma metodologia para a avaliação de sistemas de coleta seletiva de resíduos sólidos domiciliários, Dissertação para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil com ênfase em Transportes, Escola de Engenharia de São Paulo, São Paulo, 192 pp.

Sadek, S., El-Fadel, M., Freiha, F. (2002), *A Multi-criterion, modular and flexible decision aid tool for landfill siting using GIS*, Faculty of Engineering and Architecture, American University of Beirut (Eds.), 11 pp.

Shmelev, S., Powell, J. (2005), Ecological-economic modelling for strategic regional waste management systems, *Ecological Economics*, 59, 115-130 pp.

Silva, D. (2006), *Sistemas de Informação Geográfica para Transportes*, dissertação para a obtenção do grau de Mestre em Sistemas de Informação Geográfica, ISEG, Universidade Nova de Lisboa, 184 pp.

SPV (2007), *Especificações Técnicas para resíduos de embalagens*, 46 pp. (enviado por email a 19 de Março de 2008)

Tchobanoglous, G., Keith, F. (2002), *Handbook of solid waste management*, 2<sup>nd</sup> Edition, McGraw-Hill (Ed.), 950 pp. (ISBN978-0071356237)

Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S. (1993), *Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues*, McGraw Hill International Editions (Ed.), 992 pp. (ISBN978-0070632370)

Tochetto, A., Simonetto, E. (2004), SIRSWeb – Sistema de Informação sobre Resíduos Sólidos via web, XXIV Encontro Nacional de Eng. de Produção, Florianópolis, Brasil, 3 a 5 de Novembro

Voet, D., Voet, J., Pratt, C. (1999), *Fundamentals of Biochemistry*, Wiley (Ed.), Agosto, 1018 pp (ISBN978-0471586500)

Na internet:

AMARSUL - Valorização e Tratamento de Resíduos Sólidos S.A., <http://www.AMARSUL.pt>

APA, Agência Portuguesa do Ambiente, <http://www.apambiente.pt>, consulta em Março de 2008

APA (2008), Atlas do Ambiente, <http://www.iambiente.pt/atlas/est/index.jsp>, consulta em Agosto de 2008

CAD to GIS (2005), a step-by-step guide to converting .dwg CAD files to GIS shapefiles, using AutoCAD 2002 and ArcGIS 8.3, NPS Spatial Data Specifications, Setembro, disponível em [http://science.nature.nps.gov/nrgis/standards/docs/GISSpecs31105\\_final.pdf](http://science.nature.nps.gov/nrgis/standards/docs/GISSpecs31105_final.pdf)

Conversations with myself, <http://conversationswithmyself.com/241>  
(Georreferenciando imagens com o Google Earth), consulta em Agosto de 2008

DEP Solid waste facilities datalayer description (base de dados de instalações de resíduos sólidos), Estado do Massachusetts, EUA  
<http://www.mass.gov/mgis/sw.htm>

EPA, Agência de Protecção Ambiental dos Estados Unidos, <http://www.epa.gov>, última consulta em Outubro de 2008

ESRI (2008), Finding the closest facility, consultado em Setembro de 2008  
[http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Finding\\_the\\_closest\\_facility](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Finding_the_closest_facility)

ESRI (2008), Finding a service area, consultado em Janeiro de 2009  
[http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Finding\\_a\\_service\\_area](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Finding_a_service_area)

ESRI (2008), Make closest facility layer, consultado em Janeiro de 2009  
[http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Make\\_Closest\\_Facility\\_Layer\\_\(Network\\_Analyst\)](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Make_Closest_Facility_Layer_(Network_Analyst))

ESRI (2008), Make service area layer, consultado em Janeiro de 2009  
[http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Make\\_Service\\_Area\\_Layer\\_\(Network\\_Analyst\)](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=Make_Service_Area_Layer_(Network_Analyst))

ESRI (2008), Network analysis, consultado em Setembro de 2008  
<http://www.esri.com/software/arcgis/extensions/networkanalyst/index.html>

ESRI (2006), ArcGIS Network Analyst Tutorial, disponível em  
<http://proteus.brown.edu/EarthlabGIS/admin/download.html?attachid=5802507>, 33 pp

ESRI Developer Network, <http://edn.esri.com>, consultado em Setembro de 2008

ESRI Discussion Forum Threads,  
<http://forums.esri.com/Thread.asp?c=93&f=982&t=187436>,  
consultado em Setembro de 2008

Instituto Geográfico do Exército  
<http://www.igeoe.pt/utilitarios/coordenadas/trans.aspx>, consulta em Agosto de 2008

Instituto Geográfico do Exército, CAOP, Carta Administrativa Oficial de Portugal  
<http://www.igeo.pt/produtos/cadastr/cao/inicial.htm>

Lipor, <http://www.lipor.pt>, consulta em Março de 2008

Portal do Ambiente,  
<http://www.portaldeambiente.com/gen.pl?p=stories&op=view&fokey=pa.stories/3744>, consulta em Março de 2008

PSP incineration (incineração), <http://www.pspincineration.co.uk/>, consulta em Outubro de 2008

SWIS, Solid Waste Information System (sistema de informação de resíduos sólidos) , Estado da Califórnia, EUA, <http://ciwmb.ca.gov/SWIS>

SPV, Sociedade Ponto Verde, <http://www.pontoverde.pt>, consulta em Março de 2008

Tratolixo, <http://www.tratolixo.pt>, consulta em Março de 2008

Valorsul, <http://www.valorsul.pt>, consulta em Março de 2008

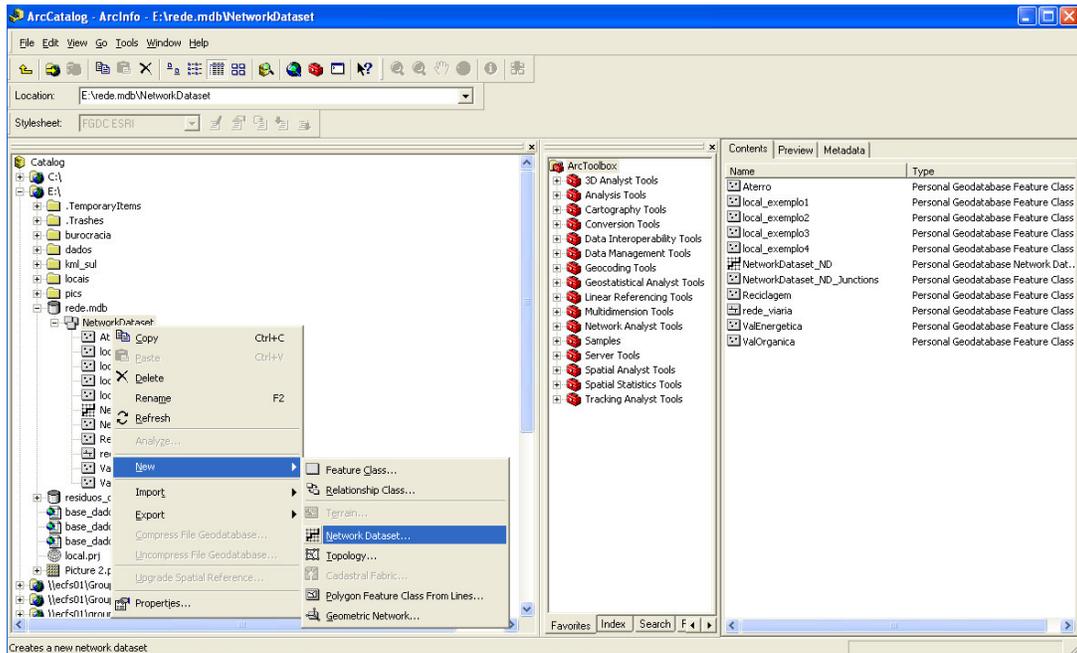
**ANEXOS**



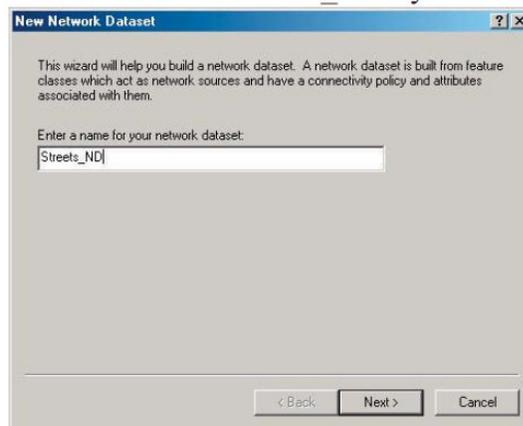
## Anexo I – Criação de *Network Dataset*

No *ArcCatalog* activar a Extensão *Network Analyst* (*Tools* -> *Extensions*).

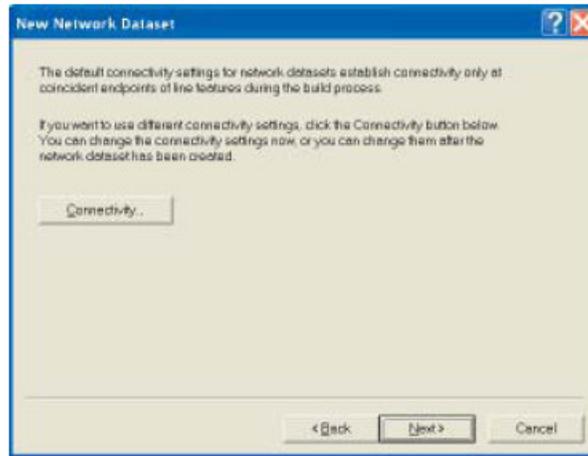
Na *Geodatabase*, carregar com o botão direito do rato em cima da *Feature Class*. Escolher *New* -> *Network Dataset* (como ilustra a Figura abaixo) e seguir as instruções de criação.



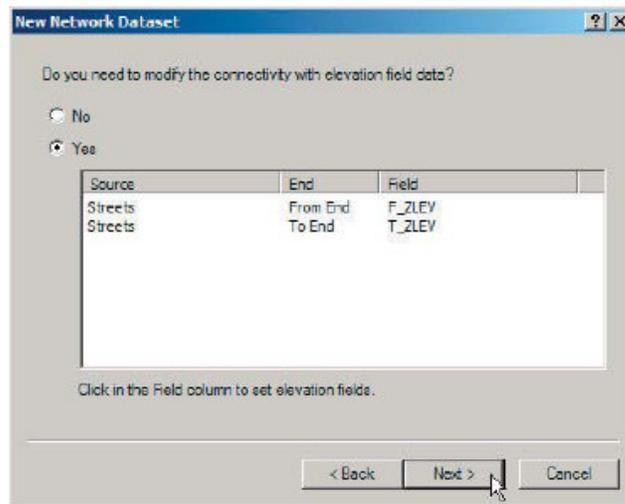
Primeiro, é necessário dar um nome à rede, que, por defeito, é igual ao nome da *Feature Class*, seguido de *\_ND*.



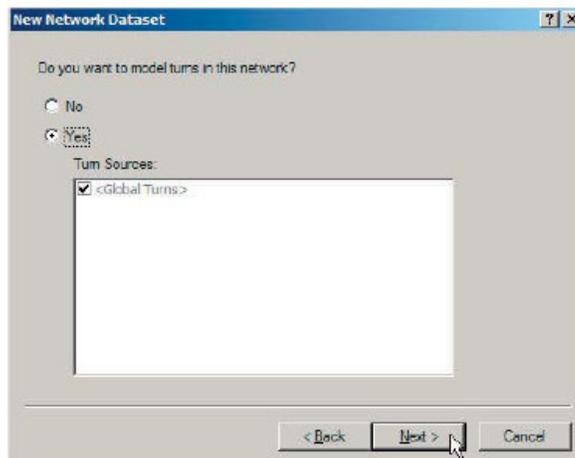
Seguidamente é definida a conectividade, ou seja, a forma como os dados estão ligados na rede. A conectividade atribuída por defeito coloca todas as fontes num único grupo e atribui a todos os nós de origem conectividade de ponto final (*endpoint*), o que é adequado para a rede viária.



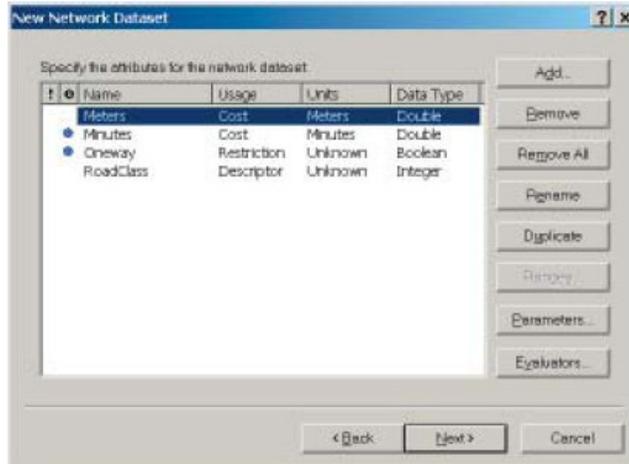
É possível alterar a conectividade com dados de elevação do terreno, o que permite modelar pontes ou túneis.



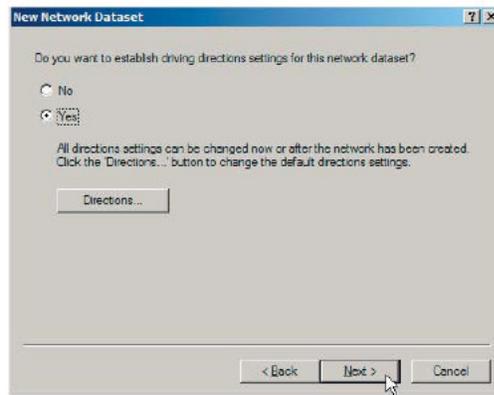
É também possível modelar mudanças de direcção (*turns*). Quando se escolhe *Global Turns*, todas as mudanças de direcção à esquerda têm um atrado de 15 segundos, dando-se preferência a mudanças de direcção à direita.



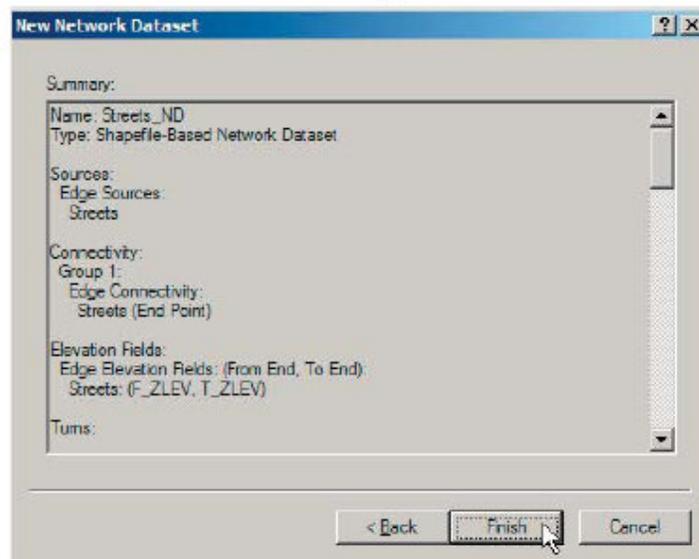
De seguida, é definido o atributo de custo. Por defeito, quando a informação geográfica não dispõe de dados para definição de um atributo de custo, este fica definido como o comprimento.



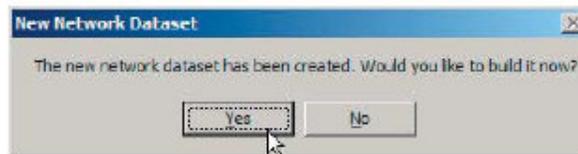
Podem ainda definir-se direcções de condução.



Antes de construir o *Network Dataset*, o *ArcCatalog* mostra um sumário da informação para o utilizador confirma se se encontra tudo bem definido.



Finalmente, o utilizador tem de construir o *Network Dataset*.



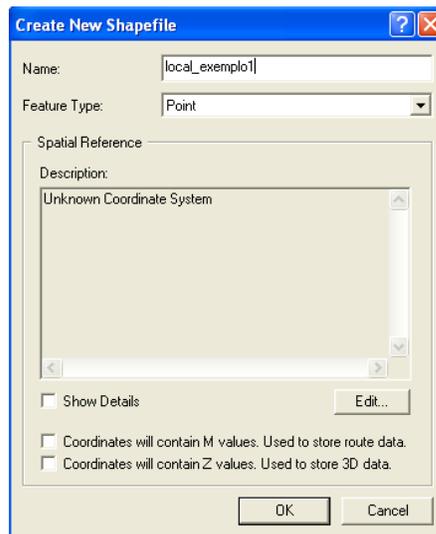
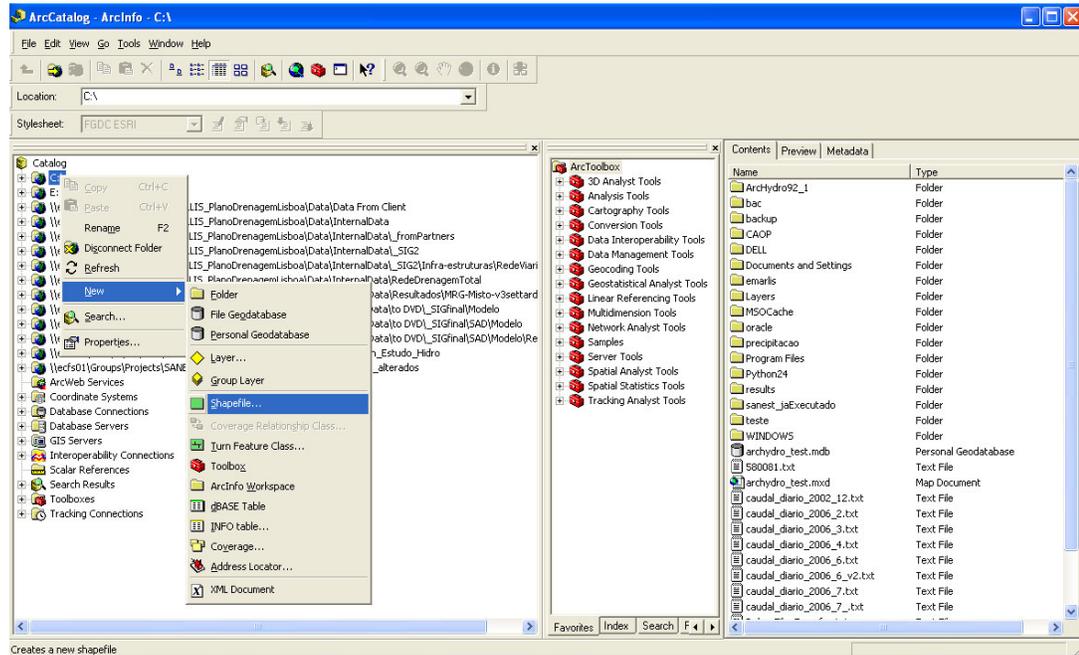
Dado que a informação geográfica do presente trabalho era simplificada, optou-se por construir uma rede também simplificada, sem informações de elevação do terreno, sem informação de mudanças de direcção e sem restrições. O atributo de custo utilizado foi o comprimento.

## Anexo II – Criação de *shapefiles*

A criação de uma *shapefile* de pontos com os incidentes e as localizações é feita no *ArcCatalog* e posteriormente estes ficheiros são importados para a *Geodatabase* que guarda a rede de dados (*Network Dataset*).

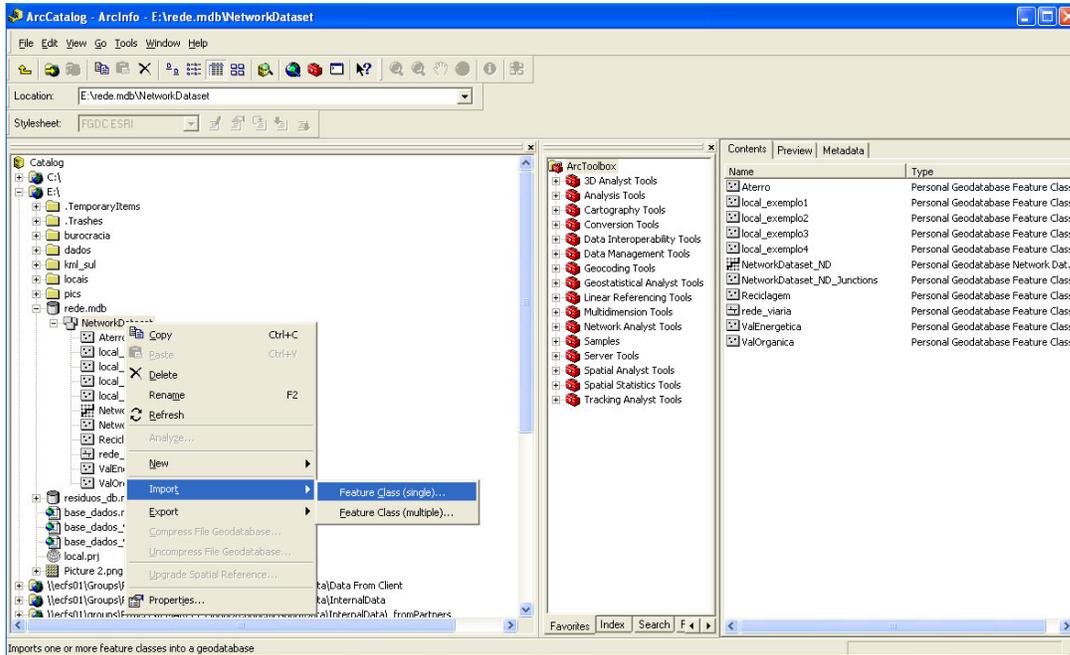
Para isso, basta no *ArcCatalog* criar uma nova *shapefile* de pontos. O sistema de coordenadas desta *shapefile* deve ser o da rede de dados.

As Figuras seguintes ilustram a criação da *shapefile* no *ArcCatalog*.



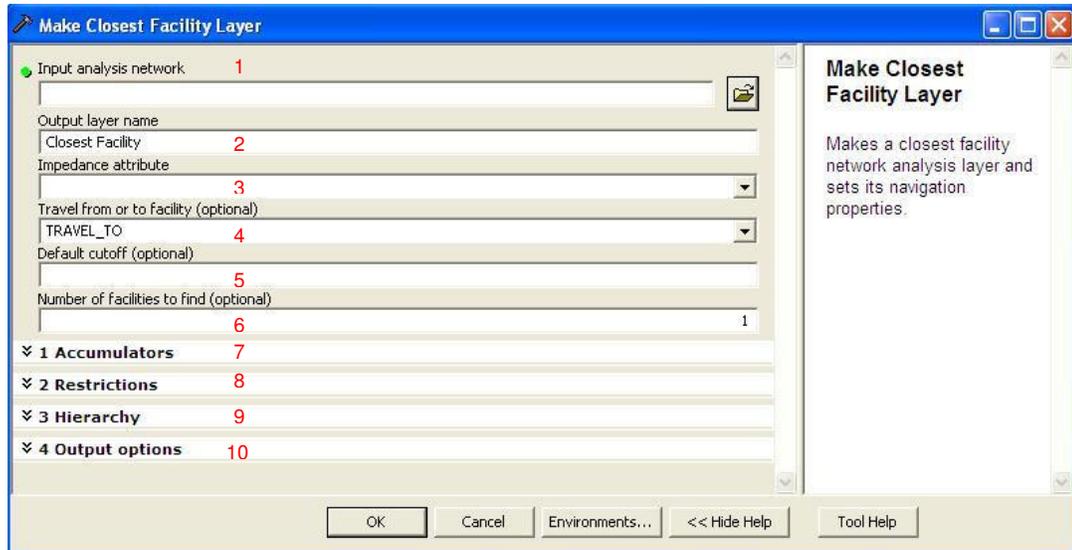
De seguida, é necessário popular a *shapefile* com os pontos, o que é feito no *ArcGIS*, a partir da *Toolbar Editor* (*Start Editing – Create New Feature – Stop Editing*).

Voltando ao *ArcCatalog*, carregando por cima da *Geodatabase* que guarda os dados para a análise de redes, escolher *Import* e escolher a *shapefile* a importar, como ilustra a Figura.



## Anexo III – Criação de uma *layer Closest Facility*

A *layer Closest Facility* pode ser criada manualmente no *ArcToolBox* -> *Network Analyst*, conforme a Figura abaixo. Neste caso, não é necessário correr a opção *Escolhe Tratamento*, bastando após a criação adicionar os incidentes e as instalações e carregar no *Solve* do *Network Analyst*.

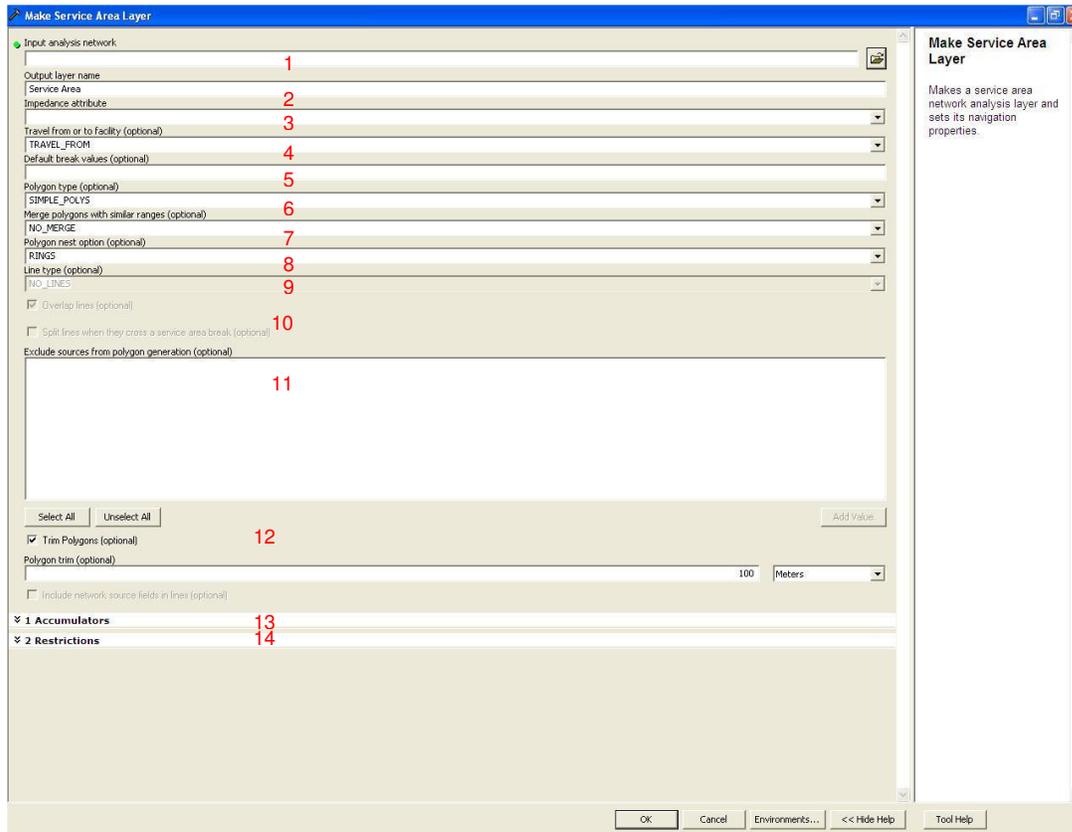


Onde,

1. Conjunto de dados geográfico (*network dataset*) que vai ser utilizado para a análise;
2. Nome da camada (*layer*) que vai ser criada na análise da instalação mais próxima;
3. Atributo de custo a utilizar na análise (para redes simplificadas é o comprimento);
4. Especifica a direcção entre instalações e incidentes (*travel to* – a análise faz-se do incidente para a instalação; *travel from* – a análise faz-se da instalação para o incidente);
5. Valor máximo de impedância a partir do qual as instalações não são consideradas;
6. Número de instalações a procurar por incidente;
7. Lista de atributos de custo a acumular durante a análise;
8. Especifica as restrições de inversão de sentido (*allow u-turns* – inversões de sentido possíveis em qualquer lugar; *no u-turns* – não é possível fazer inversão do sentido; *allow dead ends only* – a inversão de sentido só é possível em vias sem saída);
9. Especifica a hierarquia a utilizar na análise (*use hierarchy* – utiliza a hierarquia definida no *network dataset*; *no hierarchy* – não tem em conta a hierarquia);
10. Permite seleccionar o formato do resultado (*true lines with measures* – cada vértice tem informação do custo cumulativo para o atingir; *straight lines* – linhas rectas de uma paragem a outra; *no lines* – não são geradas linhas nos resultados).

## Anexo IV – Criação de uma *layer Service Area*

A *layer Service Area* pode ser criada manualmente no *ArcToolBox* -> *Network Analyst*, conforme a Figura abaixo. Neste caso, não é necessário correr a opção Área Influência, bastando após a criação adicionar as instalações e carregar no *Solve* do *Network Analyst*.



Onde,

1. Conjunto de dados geográfico (*network dataset*) que vai ser utilizado para a análise;
2. Nome da camada (*layer*) que vai ser criada na análise da instalação mais próxima;
3. Atributo de custo a utilizar na análise (para redes simplificadas é o comprimento);
4. Especifica a direcção entre instalações e incidentes (*travel to* – a análise faz-se do incidente para a instalação; *travel from* – a análise faz-se da instalação para o incidente);
5. Valor por defeito de impedância para o qual há interrupção de polígonos;
6. Especifica o tipo de polígonos a ser gerados (*simple polygons* – polígonos simplificados de geração rápida, opção por defeito; *detailed polygons* – polígonos mais detalhados; *no polygons* – não gera polígonos);
7. Especifica se os polígonos devem ser unidos (*no merge* – polígonos individuais; *no overlap* – cria polígonos que não se sobrepõem para múltiplas instalações; *merge* – une polígonos de múltiplas instalações com o mesmo intervalo);
8. Especifica se o resultado deve ser na forma de anel (não inclui a área com intervalos mais pequenos) ou de discos (gera os polígonos da instalação para o intervalo);
9. Especifica o tipo de linhas a gerar (*no lines* – não gera linhas, opção por defeito; *lines* – são geradas linhas, mas sem dados de comprimento; *lines measured* – linhas geradas com o comprimento);
10. Especifica a sobreposição das linhas (*overlap* – linhas podem sobrepôr-se quando há mais do que uma instalação; *no overlap* – não há sobreposição entre linhas. O ponto de intersecção é a uma distância intermédia baseada na impedância) e a sua divisão quando encontram uma

- área de serviço (*splits* – divide as linhas nos intervalos e atribuiu valores cumulativos; *no split* – não há divisão de linhas entre intervalos, opção por defeito);
11. Possibilidade de excluir elementos que não entram na análise;
  12. Especifica se pode haver corte (*trim*) de polígonos;
  13. Lista de atributos de custo a acumular durante a análise;
  14. Especifica as restrições de inversão de sentido (*allow u-turns* – inversões de sentido possíveis em qualquer lugar; *no u-turns* – não é possível fazer inversão do sentido; *allow dead ends only* – a inversão de sentido só é possível em vias sem saída) e outras restrições.