



UNIVERSIDADE DE COIMBRA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

TRATAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

MÁRIO AUGUSTO TAVARES RUSSO

2003

ÍNDICE GERAL

1. INTRODUÇÃO	7
1.1 EVOLUÇÃO DA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	7
1.2 GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS	9
1.2.1 <i>Adopção de sistemas integrados</i>	10
1.2.2 <i>Redução e reutilização de resíduos</i>	10
1.2.3 <i>Redução na fonte</i>	10
1.2.4 <i>Reciclagem</i>	11
1.2.5 <i>Modernas tendências de gestão dos resíduos</i>	12
1.2.6 <i>Gestão dos resíduos industriais</i>	13
1.2.6.1 Bolsa de Resíduos	13
1.2.6.2 Incentivos oficiais ao estabelecimento das parcerias	14
1.2.7 <i>Outras formas de tratamento dos resíduos</i>	14
1.2.7.1 Compostagem	14
1.2.7.2 Incineração	14
1.2.7.3 Aterros sanitários energéticos e de rejeitos	15
1.2.8 <i>Programas de participação comunitária</i>	16
1.2.9 <i>Programas de Educação Ambiental</i>	17
2. LEGISLAÇÃO	19
2.1 RESÍDUOS GERAL	19
2.1.1 <i>Nacional</i>	19
2.1.2 <i>Comunitária</i>	20
. RESOLUÇÃO 90/C 122/02, DO CONSELHO, DE 07 DE MAIO.	20
. DIRECTIVA 91/156/CEE, DO CONSELHO, DE 18 DE MARÇO.	20
. DIRECTIVA 91/689/CEE, DO CONSELHO, DE 12 DE DEZEMBRO.	20
. DIRECTIVA 94/31/CEE, DO CONSELHO, DE 27 DE JUNHO.	20
. DECISÃO 96/350/CE, DA COMISSÃO, DE 24 DE MAIO.	20
. RESOLUÇÃO 97/C 76/01, DO CONSELHO, DE 24 DE FEVEREIRO.	21
. DECISÃO 2000/532/CE, DA COMISSÃO, DE 3 DE MAIO.	21
. DECISÃO 2001/118/CE, DA COMISSÃO, DE 16 DE JANEIRO.	21
. DECISÃO 2001/119/CE, DA COMISSÃO, DE 22 DE JANEIRO.	21
. DECISÃO 2001/573/CE, DO CONSELHO, DE 23 DE JULHO.	21
2.2 RESÍDUOS URBANOS	21
2.2.1 <i>Nacional</i>	21
2.3 RESÍDUOS INDUSTRIAIS	24
2.3.1 <i>Nacional</i>	24
2.4 RESÍDUOS HOSPITALARES	25
2.4.1 <i>Nacional</i>	25
2.5 INCINERAÇÃO / CO-INCINERAÇÃO	25
2.5.1 <i>Nacional</i>	25
2.5.2 <i>Comunitária</i>	26
2.6 ATERROS	27
2.6.1 <i>Nacional</i>	27
2.6.2 <i>Comunitária</i>	28
2.7 TRANSPORTE DE RESÍDUOS EM TERRITÓRIO NACIONAL	28
2.7.1 <i>Nacional</i>	28

2.8	MOVIMENTO TRANSFRONTEIRIÇO DE RESÍDUOS	28
2.8.1	<i>Nacional</i>	28
2.8.2	<i>Comunitária</i>	29
2.9	LAMAS / VALORIZAÇÃO AGRÍCOLA	29
2.9.1	<i>Nacional</i>	29
2.9.2	<i>Comunitária</i>	30
2.10	ÓLEOS USADOS	30
2.10.1	<i>Nacional</i>	30
2.10.2	<i>Comunitária</i>	30
2.11	PCB	31
2.11.1	<i>Nacional</i>	31
2.11.2	<i>Comunitária</i>	31
2.12	SUCATAS	31
2.12.1	<i>Nacional</i>	31
2.13	VEÍCULOS EM FIM DE VIDA	32
2.13.1	<i>Nacional</i>	32
2.13.2	<i>Comunitária</i>	32
2.14	PNEUS USADOS	32
2.14.1	<i>Nacional</i>	32
2.15	PILHAS E ACUMULADORES	32
2.15.1	<i>Nacional</i>	32
2.15.2	<i>Comunitária</i>	33
2.16	MERCÚRIO	33
2.16.1	<i>Nacional</i>	33
2.16.2	<i>Comunitária</i>	34
2.17	EMBALAGENS E RESÍDUOS DE EMBALAGENS	34
2.17.1	<i>Nacional</i>	34
2.17.2	<i>Comunitária</i>	35
2.18	RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELÉCTRICOS E ELECTRÓNICOS	35
2.18.1	<i>Nacional</i>	35
2.19	LEGISLAÇÃO COMPLEMENTAR	36
2.19.1	<i>IMPACTE AMBIENTAL</i>	36
2.19.2	<i>LICENÇA AMBIENTAL</i>	36
2.19.3	<i>LICENCIAMENTO INDUSTRIAL</i>	36
2.19.4	<i>LEGISLAÇÃO QUALIDADE DO AR</i>	37
2.19.5	<i>AMLIANTO</i>	39
2.19.6	<i>SEVESO II</i>	40
2.19.7	<i>TRANSPORTE</i>	40
2.19.8	<i>PAPEL</i>	41
3.	FONTES, COMPOSIÇÃO E PROPRIEDADES DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	42
3.1	CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	42
3.1.1	<i>Classificação segundo a origem</i>	43
3.1.1.1	Resíduos Sólidos Urbanos	43
3.1.1.2	Resíduos Sólidos Industriais	44
3.1.1.3	Resíduos Sólidos Hospitalares	44
3.1.2	<i>Classificação segundo as características</i>	44
3.1.2.1	Resíduos Sólidos Perigosos	44
3.1.2.2	Resíduos Sólidos Inertes	44
3.1.2.3	Resíduos Sólidos não Perigosos	45
3.2	PROPRIEDADES FÍSICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS (RS)	45
3.3	PROPRIEDADES QUÍMICAS	47
3.4	PRODUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	47
3.4.1	<i>Situação em Portugal</i>	48
3.4.2	<i>Composição qualitativa dos resíduos sólidos</i>	49
4.	COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS	52
4.1	CONCEITOS EM COMPOSTAGEM	52
4.2	MECANISMOS DA DECOMPOSIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA	53
4.2.1	<i>Introdução</i>	53

4.2.2	<i>Decomposição da Celulose, Hemicelulose, Lenhina e Proteínas</i>	54
4.3	FACTORES QUE AFECTAM O PROCESSO DA COMPOSTAGEM	55
4.3.1	<i>Arejamento da Massa em Compostagem</i>	55
4.3.2	<i>Temperatura</i>	55
4.3.3	<i>Teor de Humidade</i>	57
4.3.4	<i>Relação C/N</i>	57
4.3.5	<i>Granulometria do Material</i>	58
4.3.6	<i>pH</i>	58
4.4	VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA COMPOSTAGEM	60
4.5	METAIS PESADOS	62
4.5.1	<i>Metais Pesados no Solo</i>	62
4.5.2	<i>Efeitos dos Metais Pesados nas Plantas</i>	62
4.5.3	<i>Limites de Metais Pesados em Compostos Orgânicos</i>	63
4.6	CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS DE COMPOSTAGEM	64
4.6.1	<i>Sistemas não-Reactor</i>	65
4.6.2	<i>Sistemas Reactor</i>	68
4.6.3	<i>Sistemas de Compostagem Quanto à Temperatura</i>	71
4.7	PRÉ-TRATAMENTO	72
4.7.1	<i>Separação manual</i>	72
4.7.2	<i>Separação por crivagem</i>	73
4.7.3	<i>Separação magnética</i>	73
4.7.4	<i>Separação pela Corrente de Eddy</i>	73
4.7.5	<i>Separação por corrente de ar</i>	73
4.7.6	<i>Separação Balística</i>	74
4.8	CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO COMPOSTO ORGÂNICO	75
4.8.1	<i>Aspectos Epidemiológicos da Compostagem</i>	75
4.8.1.1	<i>Introdução</i>	75
4.8.1.2	<i>Microrganismos Patogénicos Associados à Compostagem</i>	77
4.9	MÉTODOS ANALÍTICOS EM COMPOSTAGEM	78
5.	SELECÇÃO DE LOCAIS PARA SISTEMAS DE TRATAMENTO DE RSU	81
5.1	INTRODUÇÃO	81
5.1.1	<i>Centro de Gravidade da área de pesquisa</i>	81
5.2	CRITÉRIOS E RECOMENDAÇÕES PARA LOCALIZAÇÃO	83
5.2.1	<i>Metodologias de seleção</i>	83
5.2.2	<i>Níveis de controlo</i>	85
5.2.3	<i>Recomendações da Direcção Geral da Qualidade do Ambiente</i>	86
5.2.4	<i>Recomendações utilizadas nos Estados Unidos e da USEPA</i>	87
5.2.5	<i>Organização Mundial da Saúde</i>	87
5.2.6	<i>Outras recomendações</i>	88
5.3	MATRIZ DE DECISÃO PARA ANÁLISE DE LOCAIS	88
5.3.1	<i>Área disponível e vida útil do aterro</i>	89
5.3.2	<i>Topografia e litologia</i>	89
5.3.3	<i>Águas superficiais e subterrâneas</i>	90
5.3.4	<i>Cobertura vegetal</i>	90
5.3.5	<i>Acesso ao local</i>	90
5.3.6	<i>Ordenamento</i>	90
5.3.7	<i>Património histórico e arqueológico</i>	91
5.3.8	<i>Valor ecológico</i>	91
5.3.9	<i>Custos globais de localização</i>	91
5.3.10	<i>Distâncias mínimas de protecção</i>	92
5.4	PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS	92
5.5	MINIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DE TRANSPORTE	96
6.	RECOLHA DE RSU E LIMPEZA URBANA	98
6.1	INTRODUÇÃO	98
6.2	RECOLHA SELECTIVA DE RSU	98
6.2.1	<i>Ecocentros ou postos de entrega voluntária</i>	98
6.2.2	<i>Ecopontos</i>	99

6.2.3	<i>Campanhas de sensibilização e informação</i>	100
6.2.4	<i>Contentorização</i>	100
7.	PROJECTO DO ATERRO SANITÁRIO	103
7.1	BASES DE DIMENSIONAMENTO	103
7.2	PROJECTO DE UM ATERRO SANITÁRIO	109
7.2.1	<i>Edifício de exploração</i>	110
7.2.2	<i>Pavilhão oficial</i>	110
7.2.3	<i>Pátio para sucatas</i>	110
7.2.4	<i>Lava-rodas</i>	110
7.2.5	<i>Balança</i>	112
7.2.6	<i>Infraestruturas de serviços e de apoio</i>	112
7.2.7	<i>Infraestruturas de protecção ambiental</i>	113
7.2.8	<i>Equipamento de operação</i>	117
8.	METABOLISMOS EM ATERROS SANITÁRIOS	120
8.1	MECANISMOS DE PRODUÇÃO DO BIOGÁS	120
8.2	VOLUME DE BIOGÁS PRODUZIDO NOS ATERROS SANITÁRIOS.	123
8.3	PRODUÇÃO DE BIOGÁS AO LONGO DO TEMPO	124
8.4	LIXIVIADOS	127
8.5	BALANÇO HÍDRICO NO ATERRO SANITÁRIO	128
9.	GEOSINTÉTICOS EM OBRAS DE AMBIENTE	132
9.1	INTRODUÇÃO	132
9.2	GENERALIDADES	133
9.2.1	<i>Constituição e processos de fabrico</i>	133
9.2.2	<i>Funções e Propriedades</i>	133
9.3	GEOSINTÉTICOS EM ATERROS SANITÁRIOS	136
9.3.1	<i>Introdução</i>	136
9.3.2	<i>Elementos Estruturais</i>	137
9.3.3	<i>Funções Desempenhadas pelos Geossintéticos nos Aterros Sanitários</i>	142
9.3.4	<i>Impactos Ambientais Decorrentes da Utilização de Geossintéticos em Aterros Sanitários</i>	143
9.3.5	<i>Considerações Finais</i>	153
10.	ENCERRAMENTO E RECUPERAÇÃO DE ATERROS	154
10.1	RECUPERAÇÃO DE LIXEIRAS	154
10.2	ENCERRAMENTO DO ATERRO SANITÁRIO APÓS A EXPLORAÇÃO	155
10.2.1	<i>Coberto vegetal</i>	155
10.2.2	<i>A forma do aterro</i>	155
10.2.3	<i>Características do solo de suporte</i>	156
10.2.4	<i>Espessura do material de cobertura</i>	156
10.2.5	<i>Drenagem</i>	157
10.2.6	<i>Irrigação</i>	157
10.2.7	<i>Cuidados com a colocação do solo de suporte vegetal</i>	157
10.3	ESPÉCIES A ESCOLHER	157
10.3.1	<i>Espécies florestais</i>	158
10.3.2	<i>Espécies herbáceas</i>	158
10.4	ASSENTAMENTOS NOS ATERROS	159
11.	METODOLOGIA DE OPERAÇÃO DO ATERRO	160
11.1	INTRODUÇÃO	160
11.2	PLANO DE OPERAÇÕES DIÁRIAS	160
11.2.1	<i>Horário de operação</i>	161
11.2.2	<i>Medições, descargas e pagamentos</i>	161
11.2.3	<i>Cargas avulsas</i>	161
11.2.4	<i>Lavagem dos rodados</i>	161
11.2.5	<i>Admissibilidade</i>	162
11.2.6	<i>Sinalização</i>	162
11.2.7	<i>Manuseamento e compactação dos resíduos</i>	162

11.2.8	<i>Medidas de emergência</i>	164
11.3	EQUIPAMENTO	164
11.4	PESSOAL	167
11.5	MANUTENÇÃO DA ETRSU	168
11.6	TÉCNICAS DE DEPOSIÇÃO	170
12.	ADMISSÃO DE RESÍDUOS A ATERRO E MONITORIZAÇÃO	175
12.1	INTRODUÇÃO	175
12.2	PRINCÍPIO GERAL	175
12.3	AMOSTRAGEM	175
12.3.1	<i>Resíduos Urbanos</i>	176
12.3.2	<i>Características do eluato.</i>	176
12.3.3	<i>Valores atribuídos</i>	177
12.4	MÉTODOS ANALÍTICOS	178
12.5	PROCESSOS DE CONTROLO: CRITÉRIOS DE COMPATIBILIDADE	178
12.5.1	<i>Controlo dos lixiviados - Condições pré-nias</i>	178
12.5.2	<i>Resíduos admissíveis e não admissíveis</i>	179
12.5.2.1	Não devem ser depositados conjuntamente os seguintes resíduos:	179
12.5.2.2	Os resíduos a seguir designados podem ser depositados conjuntamente,	180
12.6	PROCESSOS DE CONTROLO NAS FASES DE EXPLORAÇÃO E DE MANUTENÇÃO APÓS ENCERRAMENTO	181
12.6.1	<i>Programa de medições</i>	181
12.6.1.1	Dados meteorológicos	181
12.6.1.2	Dados sobre emissões: controlo das águas. Lixiviados e gases.	182
12.6.1.3	Protecção das águas subterrâneas	182
12.6.2	<i>Balanço hídrico</i>	183
12.6.3	<i>Topografia da instalação: dados sobre o aterro</i>	184
13.	METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS	185
13.1	INTRODUÇÃO	185
13.2	METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS	185
13.2.1	<i>Recursos necessários</i>	186
13.2.2	<i>Preparação da campanha</i>	187
13.3	PROCEDIMENTOS	188
13.3.1	<i>Obtenção das amostras</i>	189
13.3.2	<i>Análise das amostras de resíduos</i>	189
13.3.3	<i>Resultados da análise</i>	191
13.3.3.1	Peso específico	191
13.3.3.2	Análise quantitativa física	192
13.4	RESULTADOS DA CAMPANHA	193

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho constitui um texto de apoio aos alunos da disciplina de Tratamento de Resíduo Sólidos. Trata-se, ainda, de um “rascunho” que se pretende melhorar e complementar para cobrir integralmente o programa da disciplina. Entretanto, todas as contribuições serão bem-vindas.

Resíduos sólidos são todos os materiais que não fazendo falta ao seu detentor, este se queira desfazer. Compreende resíduos resultantes da actividade humana e animal, normalmente sólidos, sem utilização ou indesejáveis pelo seu detentor, no entanto com capacidades de valorização.

No âmbito dos resíduos sólidos gerados pela sociedade nos nossos dias, cabe aos resíduos sólidos urbanos a maior e mais volumosa fatia desses desperdícios, motivo porque tem vindo a constituir um factor de crescente preocupação. Tem-se assistido a uma verdadeira explosão na produção de resíduos derivada do aumento do consumo público e, ao mesmo ritmo, um decréscimo do peso específico dos resíduos. Não muito distante, o peso específico dos resíduos sólidos domésticos era de 300 a 400 Kg/ m³, enquanto hoje ronda os 250 Kg/m³.

Portugal encetou uma revolução no domínio dos RSU com a implementação de 30 sistemas de resíduos sólidos (16 municipais e 14 multimunicipais – EGF) e encerrando as 341 lixeiras inventariadas, cobrindo integralmente o país com adequado tratamento dos resíduos produzidos. Cumpriu-se assim, embora com um pequeno atraso o estipulado no Plano Estratégico dos RSU (PERSU), em boa hora elaborado sob a coordenação do Prof. Lobato de Faria para o Ministério do Ambiente. Os sistemas de tratamento de RSU, municipais e multimunicipais, assentam em modernas estruturas de recepção, enfiamento e compactação de resíduos para posterior deposição em alvéolos do respectivo aterros sanitário, drenando e tratando-se os lixiviados produzidos.

Depois desta fase importante do plano estar concluída deve seguir-se a avaliação das soluções, pois há que responder a perguntas do tipo: o enfiamento é vantajoso? Os tratamentos de lixiviados preconizados são adequados? A drenagem de biogás é eficiente? Entre outras.

De qualquer maneira, há a registar a franca melhoria de todo o panorama do sector, que há meia dúzia de anos era terceiro-mundista. Com as duas novas unidades de incineração com aproveitamento energético, em Lisboa (Valorsul) e Porto (Lipor II), que são responsáveis pelo tratamento de 22 % dos RSU nacionais. A compostagem é realizada em 5 unidades, tratando cerca de 19%, dados de 2001, os aterros sanitários com 56% e cerca de 2.5% de reciclagem de materiais.

1.1 EVOLUÇÃO DA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Os problemas causados pelos resíduos sólidos são tão velhos quanto a humanidade, apesar de nos primórdios não haver grandes problemas a resolver porque o homem era nómada, havia muito espaço e o número escasso. Entretanto começaram a sedentarizar-se, formando as tribos, vilas e cidades e é precisamente esta característica já milenar gregária do homem, que traz consigo problemas de ordem ambiental, pois não havendo conhecimentos e, por conseguinte, hábitos de higiene, os rios e lagos são poluídos com esgotos e resíduos.

No século XIV metade da população da Europa foi dizimada pela peste bubónica ou peste Negra, causada pela pulga dos ratos que proliferavam nos aglomerados populacionais, devido ao hábito

dos habitantes deitarem o lixo para as ruas e ruelas, terrenos vagos, etc., sem se preocuparem com esse facto. Nestas condições de abundância de comida, os ratos constituíram-se num vector contaminante de populações inteiras.

A relação directa entre saúde pública e o impróprio manejo de resíduos é evidente e só no fim do século XIX se inicia uma identificação e sistematização da gestão dos resíduos sólidos em Inglaterra devido às más condições de salubridade que se viviam, com a aplicação de uma lei em 1888 que proibia deitar-se lixo em rios, diques e águas. Em 1906 B. Parsons afirmava, no livro *The Disposal of Municipal Refuse* - talvez o primeiro livro cujo conteúdo versava apenas as questões dos resíduos sólidos - “...descrever as características das diferentes classes de resíduos e prestar atenção ao facto de que se um método uniforme de nomenclatura e registo das quantidades de resíduos manejadas poderá ser mantido pelas várias cidades, então os dados obtidos e a informação assim conseguida, poderá constituir um avanço na deposição sanitária dos lixos. Tal uniformidade não poderá constituir uma fonte de despesas nas cidades, porém comparações directas e conclusões correctas poderão ser extraídas para benefícios de outras”.

A geração de resíduos começa com a mineração, para se obter a matéria prima bruta, e em todos os passos da transformação desta matéria prima até ser transformada em bens de consumo, continuam a ser produzidos resíduos. Aparentemente poderia ser simples o equacionamento dos resíduos sólidos, com a diminuição da utilização desta matéria prima, por um lado, e por outro, o aumento da taxa de recuperação/reciclagem de produtos dos resíduos (Figura 1). No entanto, tais medidas seria dificilmente aplicadas na nossa sociedade. Deste modo a moderna sociedade tem que procurar novas formas de gerir os resíduos que procura, bem como terá que procurar por locais para os depositar. Ao contrário dos líquidos e dos gases, que se diluem no meio receptor, os sólidos permanecerão no local onde forem depositados, mesmo que venham a sofrer transformações físicas e bioquímicas, como veremos mais tarde.

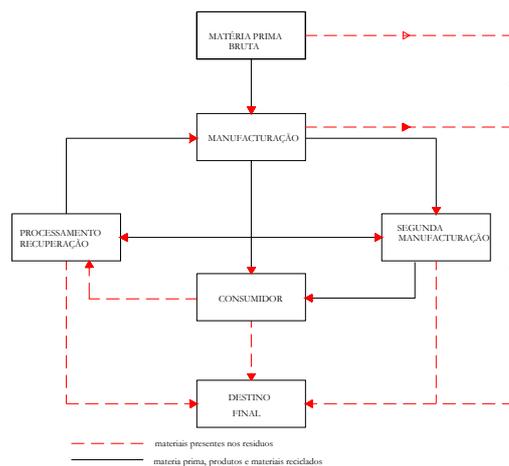


Figura 1 - Diagrama do fluxo de geração dos resíduos sólidos

A Gestão de resíduos sólidos pode ser definida como um disciplina associada ao controlo, produção, armazenamento, recolha, transferência e transporte, processamento, tratamento e destino final dos resíduos sólidos, de acordo com os melhores princípios de preservação da saúde pública, economia, engenharia, conservação dos recursos, estética e outros princípios ambientais. Deste modo, a gestão de resíduos envolve uma inter-relação entre aspectos administrativos, financeiros, legais, de planeamento e de engenharia, cujas soluções são interdisciplinares, envolvendo ciências e tecnologias provenientes da

engenharia, economia, sociologia, geografia, planeamento regional, saúde pública, demografia, comunicações e conservação.

Modernamente entende-se que a gestão dos resíduos sólidos passa por diversos pilares estruturantes que constituem uma política integrada, de que se destacam: adopção de sistemas integrados, baseada na redução na fonte, na reutilização de resíduos, na reciclagem, na transformação dos resíduos (que inclui a incineração energética e a compostagem) e a deposição em aterros (energéticos e de rejeitos).

1.2 GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS

A crescente urbanização e industrialização das sociedades modernas tem originado uma produção exponencial de resíduos sólidos, problema que urge encarar com frontalidade no sentido de se encontrarem as melhores soluções técnicas para o minimizar.

No passado, o problema dos resíduos era uma questão de menor importância, não só pela pequena produção basicamente orgânica, cujos desperdícios eram reciclados localmente, ao nível doméstico.

A situação actual é caracterizada pela crescente produção de resíduos sólidos, salientando-se a grande diminuição do seu peso específico originando um evidente aumento do volume a tratar. Na última década houve uma duplicação da produção de resíduos por habitante, em termos de peso, e quase o quádruplo em termos de volume.

A gestão dos resíduos sólidos em Portugal, tem vindo a ser encarada progressivamente como um factor de preservação ambiental que deve centrar as preocupações políticas dos responsáveis. É caso para dizer que, finalmente os resíduos sólidos passaram a merecer a atenção merecida, deixando de ser o parente pobre do saneamento básico.

O resultado desta situação reflecte-se, já, nas estruturas em construção e em projecto. As condições institucionais e os fundos comunitários permitem que todos os municípios possam resolver esta problemática.

Atendendo ao preceituado no capítulo 21 da Agenda 21, aprovado na sessão plenária de 14 de Junho de 1992 da Conferência das Nações Unidas sobre o Ambiente e o Desenvolvimento, tanto os países mais industrializados como os países em vias de desenvolvimento devem conferir maior prioridade à investigação e desenvolvimento, transferência tecnológica, educação do público e investimento dos sectores público e privado numa adequada gestão dos problemas causados pelos resíduos.

É precisamente no âmbito desta abordagem que os modernos conceitos de gestão de resíduos sólidos, em muitos países, incluindo Portugal, deverão seguir uma estratégia cujos princípios são os da adopção de sistemas integrados:

- Redução e Reutilização de resíduos;
- Reciclagem;
- Compostagem;
- Incineração energética;
- Aterro energético;

- Aterro de rejeitos.
- Programas de Educação Ambiental
- Programas de Participação Comunitária.

1.2.1 Adopção de sistemas integrados

Considerando a heterogeneidade dos resíduos sólidos, a adopção de sistemas integrados não é mais do que prescreverem-se soluções diferenciadas para os resíduos de acordo com as suas características. Assim, podem conviver num programa ou plano de gestão de resíduos, soluções de reciclagem, compostagem, incineração, autoclavagem, tratamento físico-químico, aterros sanitários e de rejeitos.

De facto, não podemos impor soluções únicas para resíduos tão diversos. A dimensão do sistema também pode levar a uma integração de municipalidades em sistemas com o objectivo do equacionamento dos seus resíduos, de forma a ter escala de exploração económica.

1.2.2 Redução e reutilização de resíduos

A minimização da produção de resíduos é uma tarefa gigantesca que pressupõe a consciencialização dos agentes políticos e económicos e das populações em geral para que todos se sintam responsáveis pela implementação de medidas tendentes à redução dos resíduos. Ao nível da Administração Central é indispensável que se tomem as medidas legislativas necessárias a este objectivo, complementadas com incentivos fiscais para que as empresas se sintam encorajadas a mudar de atitude face a este problema.

Na indústria, onde se gera uma produção de resíduos equiparáveis a urbanos que desaguar, quase sempre, nos sistemas municipais, a minimização pode ser conseguida através de alterações tecnológicas e de formação do pessoal da produção e da manutenção, redução que poderá ser conseguida com um programa de minimização da produção de resíduos sólidos, baseados em dois aspectos estratégicos: redução na fonte e separação na fonte e reciclagem.

1.2.3 Redução na fonte

A redução de resíduos na fonte pressupõe a diminuição ou a eliminação da produção de resíduos nas fábricas, através de alterações do processo industrial, que podem ser do seguinte tipo:

- Alterações das matérias primas utilizadas;
- Melhoramentos tecnológicos;
- Alterações de procedimentos e práticas operacionais;
- Redução das embalagens.

As alterações das matérias primas utilizadas nos processos de fabrico são devidas a substituições ou purificações das matérias primas, quase sempre fruto de investigação com o objectivo de rentabilização ou devido a medidas legislativas.

As alterações tecnológicas devem levar ao melhoramento das *performances* da indústria. Há, muitas vezes, maneiras diferentes de se produzir o mesmo produto com geração de diferentes resíduos e com periculosidade (ou perigosidade) diferentes. Este tipo de estratégia é das mais importantes em programas de minimização de resíduos, e exige investimentos em investigação e em equipamentos.

A redução das embalagens é outra das soluções de minimização da produção de resíduos que deve ser posta em prática, com a responsabilização dos seus produtores em dar uma solução adequada às mesmas.

1.2.4 Reciclagem

Deve ser fomentada e incentivada ao mais alto nível, pois muitos dos produtos residuais da actividade de certas indústrias, estabelecimentos comerciais e das residências, podem ser reutilizadas, recuperados ou usados como matéria prima para outras indústrias.

Pode listar-se uma série de vantagens decorrentes da reciclagem:

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

- O melhoramento do mercado da reciclagem ou o seu aparecimento como forma económica auto sustentada depende também de medidas governamentais, especialmente na fase de arranque, de que se salientam:
 - incentivos fiscais às indústrias que utilizam material reciclado numa percentagem mínima a fixar para cada indústria;
 - incentivos para a recolha selectiva;
 - Incentivos para a criação de *bolsas* de resíduos;
 - incentivos a parcerias (indústria/ comércio/consumidores);
 - taxação de produtos de baixa vida útil;
 - taxação extra na deposição de recicláveis em aterros sanitários, onerando os seus detentores (privados ou públicos).

Ao nível legislativo foi aprovada a Directiva Aterros 1999/31/CE de 26 de Abril, já convertida para a ordem jurídica interna através do Decreto-Lei n.º 152/2002 de 23 de Maio relativa à deposição de RSU em aterros que define metas temporais de admissão de resíduos biodegradáveis em aterros sanitários, que implicam na redução da deposição destes resíduos e na conseqüente valorização da fracção não admitida, nomeadamente através da compostagem e ou digestão anaeróbia ou outra forma de valorização:

- Até ao ano 2006 uma redução de 25% da fracção orgânica;
- Até ao ano 2009 uma redução de 50%;
- Até ao ano 2016 uma redução de 65%.

1.2.5 Modernas tendências de gestão dos resíduos

A transposição da directiva comunitária 94/62/CE, sobre embalagens e resíduos de embalagens, para o direito português, através do Dec.-Lei 322/95 de 28 de Novembro e da Portaria 313/96 de 29 Julho, é um passo importante no sentido da sensibilização dos agentes produtores no seu equacionamento e, ao mesmo tempo, uma forma de incentivar o mercado auto sustentável da reciclagem.

De facto, a valorização dos resíduos assume uma importância estruturante na política definida pela União Europeia (UE) para a gestão dos resíduos, em que a Proposta de Resolução do Conselho (COM(96) 399 final, de 30/07/96) é exemplo, e a referida Directiva (94/62/CE) o resultado, com vista a sua materialização, ao estabelecer para as embalagens e resíduos de embalagens metas temporais a serem atingidas nos Estados Membros, como segue:

- Até ao dia 31 de Dezembro do ano 2001 deverão ser valorizados pelo menos 25 % em peso do total de resíduos de embalagens presentes nos RSU;
- Até ao dia 31 de Dezembro do ano de 2005 deverão ser atingidos pelo menos 50% em peso, do total de resíduos, sendo 25% por processos de reciclagem e obrigação de reciclagem de 15% de cada tipo de material.

A nível nacional, o PERSU aponta para uma valorização das embalagens e resíduos de embalagens, de 58.5% até ao ano 2000 e 77% até ao ano 2005.

Apesar disso, algumas questões devem ser ponderadas e avaliadas num quadro em que a implementação desta política não pode por em causa a qualidade e a conservação dos produtos embalados e as condições sanitárias, seja qual for a alteração que se possa fazer nas embalagens, designadamente o desenho/projecto inovador ou a espessuras dos materiais das embalagens.

Com efeito, na redução da quantidade de resíduos de embalagens, as indústrias centram a sua actuação na redução das espessuras e no melhor aproveitamento do material das embalagens

Quadro 1.1), melhoria dos processos de produção de embalagens, diminuição de material sobranante nos cortes, através de melhores processos produtivos, designadamente programas de optimização e utilização de equipamentos de comando numérico para o corte do material de embalagens.

Quadro 1.1 - Reduções obtidas nas embalagens ao longo do tempo

Embalagem	Redução	Parâmetro de redução	tempo (últimos anos)
Garrafas de plástico de bebidas	40%	massa das garrafas	12
Garrafas de vidro	50%	massa das garrafas	30
Latas metálicas p/ alimentos	70%	massa das latas	25
Potes de plástico dos iogurtes	50 %	massa dos potes	15
sacos de plástico	50%	espessura dos sacos	20

No entanto, não se pode pensar que não hajam limitações às reduções descritas. Com efeito, há limites de ordem técnica e até legal. No primeiro caso podem citar-se: a funcionalidade e adequabilidade às necessidades do consumidor; a necessidade de preservação do produto; limitações técnicas das linhas de enchimento do produto e viabilidade económica. No segundo caso teremos as normas e regulamentos higio-sanitários dos materiais utilizados em embalagens para alimentos; normas de segurança de transporte e armazenamento de mercadorias.

Porém, é importante que a investigação esteja de mãos dadas com as políticas de redução das embalagens e a sua reciclagem, através de inovações do design e dos materiais e suas espessuras.

1.2.6 Gestão dos resíduos industriais

A participação das indústrias nas políticas de resíduos é já uma realidade em alguns países, quer por consciencialização dos empresários, quer por força da pressão da opinião pública cada vez mais atenta a estas questões do ambiente, quer por imperativos legais. A utilização de estratégias de preservação ambiental tem mesmo sido utilizada como rótulo de marketing de determinadas empresas para ganharem fatias de mercado nos países cuja legislação ambiental é muito apertada e exigente.

A reutilização de produtos descartados pela sociedade joga um papel importante na política de resíduos da União Europeia. Aqui as indústrias tem uma palavra a dizer quanto à adequação para a separação dos resíduos produzidos para que seja mais simples e fácil o reaproveitamento como matéria prima secundária para outras indústrias.

Abrirei um parêntesis para contar um pequeno caso em que o administrador de um aterro sanitário defrontavam-se com o problema da deposição de enormes volumes das sobras de material sintético de solas de sapatos de uma conhecida marca de ténis. Resolveu inquirir os industriais a recepcionarem e aproveitar o material, porém sem êxito. Por acreditar que havia potencialidades para a sua utilização, começou a produzir, em escala piloto industrial, sofás e outros objectos de enchimento, mostrando-os depois aos industriais da região. Estes acreditaram finalmente nas potencialidades do negócio e assim se deu o encaminhamento daqueles resíduos para indústrias de enchimentos e estofamentos.

1.2.6.1 Bolsa de Resíduos

É precisamente nas potencialidades que representam os resíduos de certas indústrias para outras, que se perspectiva a criação de bolsas de resíduos. Os resíduos de uns podem ser matéria prima para outros, ou descobrir-se novas oportunidades de negócio. A primeira providência é saber-se quem produz o quê, que quantidades e com que características. Estes dados devidamente sistematizados numa base de dados que alimenta um Sistema de Informação Geográfica (SIG) permite um conjunto de operações sobre a base cartográfica.

Este sistema permitirá identificar e estabelecer parcerias entre industriais, bem como estudar prováveis potencialidades de produção de novos bens com resíduos ou valorizá-los. Por um lado o produtor teria menor custo no desembaraçamento adequado dos seus resíduos e por outro lado, o receptor teria matéria prima mais barata.

Este sistema pode estar disponível em rede (internet, por exemplo) e em suporte informático (CD) para os interessados, com capacidade de actualização.

Os dados podem ser obtidos por inquérito através de "mailing" aos industriais, precedido de informação detalhada dos objectivos da "bolsa de resíduos". Esta iniciativa deve ser patrocinada por associações de industriais, os mais interessados nesta solução. O formato do inquérito pode ser diverso, mas no mínimo deve conter além dos campos: nome da empresa, localização, contactos, produtos e bens produzidos, resíduos, quantidades, forma de deposição, transportador, deve fazer-se a georeferenciação.

1.2.6.2 Incentivos oficiais ao estabelecimento das parcerias

O estabelecimento de parcerias não é uma tarefa fácil, pois exige uma mudança de atitude das indústrias, nem sempre simples de vido aos custos internos que terão de ser suportados com alterações de cariz industrial. É desejável um incentivo à constituição das parcerias, que poderá ser uma iniciativa do governo ou a constatação dos benefícios que os produtores e os receptores dos resíduos terão com a adesão, se a fiscalização do cumprimento da lei for efectiva, penalizando os produtores de resíduos que não tenham um sistema de desembaraçamento dos resíduos adequado.

1.2.7 Outras formas de tratamento dos resíduos

1.2.7.1 Compostagem

A compostagem é um processo de reciclagem da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos urbanos em quantidades maioritárias em relação aos restantes componentes (cerca de 50%). Trata-se de um processo aeróbio controlado, em que diversos microrganismos são responsáveis, numa primeira fase, por transformações bioquímicas na massa de resíduos e humificação, numa segunda fase. As reacções bioquímicas de degradação da matéria orgânica processam-se em ambiente predominantemente termofílico, também chamada de fase de maturação, que dura cerca de 25 a 30 dias. A fase de humificação em leiras de compostagem, processa-se entre 30 e 60 dias, dependendo da temperatura, humidade, composição da matéria orgânica (concentração de nutrientes) e condições de arejamento.

É um processo eficaz de reciclagem da fracção putrescível dos resíduos sólidos urbanos, com vantagens económicas, pela produção do composto, aplicável na agricultura (não está sujeito a lixiviação, ao contrário dos adubos químicos), óptimo para a contenção de encostas e para o combate da erosão, etc. Quando incluído numa solução integrada tem a vantagem de reduzir ou mesmo eliminar a produção de lixiviados e de biogás nos aterros sanitários, o que torna a exploração mais económica.

1.2.7.2 Incineração

É outra das tecnologias utilizadas para tratamento dos resíduos sólidos, tanto urbanos como industriais, utilizada em especial nos países nórdicos, devido à necessidade de diversificação das fontes energéticas para aquecimento, à densidade populacional elevada e devido à falta de terrenos apropriados para outras soluções (caso da Holanda em que mais de 45% do solo foi conquistado ao mar).

Para o tratamento dos resíduos hospitalares perigosos para a saúde e certos resíduos industriais perigosos é, porventura um dos métodos mais seguros (registam-se experiências com autoclavagem e

micro-ondas muito interessantes que poderão vir a alterar o panorama dos tratamentos deste tipo de resíduos hospitalares). A incineração tem vantagens na redução dos volumes a depositar em aterros, que pode chegar a 90 %, na eliminação de resíduos patogénicos e tóxicos e na produção de energia sob a forma de electricidade ou de vapor de água.

As incineradoras como meio de tratamento de toda a massa de resíduos sólidos produzidos, têm vindo a ser objecto de reavaliação em alguns destes países e mesmo algumas unidades têm vindo a ser encerradas devido aos seus elevados custos financeiros e ambientais. Este tipo de tratamento tem sido limitado ao estritamente necessário, devido aos seus múltiplos inconvenientes, de que se destacam: os elevados custos de investimento e de manutenção e a emissão de substâncias perigosas como dioxinas, furanos, gases de mercúrio e ácidos, bem como elevado teor em metais pesados nas cinzas produzidas pela combustão do processo. Os efeitos perniciosos para o ambiente e para as pessoas em particular, ao longo do tempo, não são ainda bem conhecidos.



Figura 2 - Vista de uma moderna incineradora de resíduos sólidos com aproveitamento energético

1.2.7.3 Aterros sanitários energéticos e de rejeitos

Os processos ou métodos de tratamento anteriormente descritos não são concorrentes com o aterro sanitário, mas complementares a este. Efectivamente, o aterro sanitário é um órgão imprescindível porque é comum em toda a estrutura de equacionamento dos resíduos sólidos. A incógnita é a quantidade de resíduos a serem ali depositados para tratamento e destino final. Quanto maior for a taxa de valorização conseguidas nas fases anteriores, menores serão as quantidades a aterrar, prolongando-se a vida útil do AS e diminuindo-se o custo de exploração. Se a escala do aterro for adequada, deposição de uma quantidade mínima de cerca de 200 toneladas por dia, pode haver o aproveitamento do biogás produzido no aterro, designando-se então de aterro energético. Sem esta deposição mínima não é rentável o aproveitamento energético, e o biogás terá que ser queimado em tocha com tempo de residência mínima de 0.3 segundos na câmara de combustão, a uma temperatura de pelo menos 850 °C, para destruir e minimizar o efeito dos gases nocivos.

Quando o AS recebe os restos das outras formas de valorização de resíduos é um aterro de rejeitos, sem produção de biogás e sem emissão de lixiviados poluentes.

Entre outras, as principais vantagens dos aterros sanitários são as seguintes:

- Grande flexibilidade para receber uma gama muito grande de resíduos;
- Fácil operacionalidade;
- Relativo baixo custo, comparativamente a outras soluções;
- Disponibilidade de conhecimento;
- Não conflitante com formas avançadas de valorização dos resíduos;
- Devolução a utilização do espaço imobilizado durante a fase de exploração;
- Potencia a recuperação de áreas degradadas;
- Através de processos de bioremediação é possível a reutilização do espaço do aterro várias vezes, com a produção de composto orgânico resultante da matéria orgânica degradada no “bioreactor” anaeróbio, após eventual complemento de tratamento aeróbio, em compostagem com vista à higienização.



Figura 3 - Vista de um alvéolo de deposição de resíduos de um aterro sanitário

1.2.8 Programas de participação comunitária

A participação comunitária é imprescindível para que haja sucesso nos programas de separação na fonte e reciclagem. Deverá ser criada animação nos bairros e freguesias, interessando todas as pessoas a aderir, mostrando os benefícios económicos e ambientais deste comportamento. O produto da venda dos materiais triados pela comunidade, devem ser aplicados nessa mesma comunidade. Os custos de

recolha, sempre mais caros que a recolha indiferenciada, devem ser assumidos, na fase de arranque, pelas Câmaras Municipais, para que haja incentivo a continuar o trabalho comunitário. A aplicação dos fundos conseguidos deverá ser em obras sociais, escolas, associações de moradores, associações de utentes de hospitais, casas do povo, etc. e devidamente publicitadas de maneira que as pessoas saibam que a sua contribuição gerou benefícios directos para a própria comunidade.

1.2.9 Programas de Educação Ambiental

A educação ambiental é indispensável para se conseguir alcançar resultados positivos nesta área. A tarefa é gigantesca e só com a participação de todos será possível mudar “mentalidades” arreigadas a décadas de costas voltadas para o ambiente e uma cultura conservadora, pelo menos neste domínio. A separação de resíduos na origem, diferenciados de acordo com as características é um factor determinante em qualquer política de reciclagem. As acções devem ser abrangentes e persistentes, envolvendo vários agentes, com destaque para a juventude, através das escolas de todos os níveis. As Câmaras Municipais devem institucionalizar uma semana lectiva dedicada ao ambiente, com diversas acções de animação. Disponibilizar contentores para recolhas selectivas junto a Escolas e grandes áreas de comércio. Fazer circular informação junto das instituições para a separação na origem, como por exemplo em Instituições do ensino Superior, escolas Secundárias e Primárias, Serviços Municipais e Municipalizados e grandes empresas, etc..

Ou seja, deve chamar-se a colaborar em campanhas ambientais na área da reciclagem dos resíduos, não só as populações através das escolas, centros cívicos, associações de bairro, mas também as empresas e organismos estatais ou locais, com ênfase na separação dos materiais como por exemplo:

- papel, papelão, plásticos, vidro, metais e óleos usados;

Uma atenção especial para as pilhas: recolha selectiva e inertização com argamassa de cimento e areia até à implementação de novas tecnologias em Portugal.

Exemplo de solução "integrada":

Dada a variedade constitutiva dos resíduos sólidos produzidos pela actividade humana, como vimos, deve o seu equacionamento ser amplo e distinto. Para os resíduos industriais perigosos, ou seja, não equiparáveis a urbanos, as soluções de gestão são específicas, que não cabe aqui referir. Para os resíduos sólidos urbanos, preconiza-se um sistema integrado cuja base é a ETRSU¹.

Na Figura 1.3 apresenta-se um balanço de massas realizado com dados de uma campanha de caracterização de RSU do município de Matosinhos, para uma quantidade de 100 toneladas de resíduos a serem tratados por uma gestão integrada, onde pode verificar-se que diariamente em vez do AS receber as 100 toneladas, receberia 28,1 toneladas, com custos inferiores, pois a matéria a depositar não está sujeita a fermentações, nem à lixiviação, dispensando os correspondentes tratamentos. Se pensarmos que o referido AS recebe mais de 200 toneladas por dia, pode estimar-se que mais de 38 000 toneladas de matéria prima secundária são perdidas por ano.

¹Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos

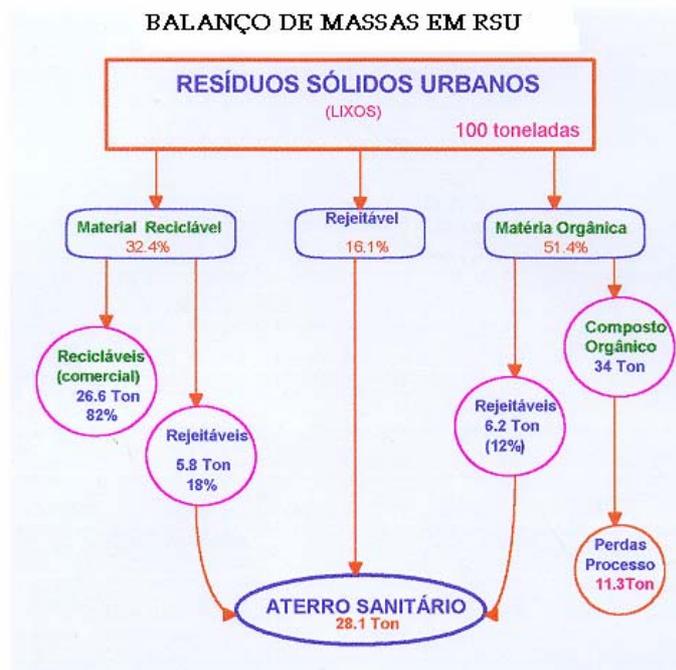


Figura 1.3 - Exemplo de aplicação da gestão integrada dos RSU

2. LEGISLAÇÃO

A legislação portuguesa no domínio dos resíduos sólidos tem sido alterada diversas vezes nos últimos anos como reflexo da sua desactualização face às exigências da União Europeia. De facto, os países mais desenvolvidos, normalmente mais sensibilizados para estas questões, construíram um edifício legislativo completo e enquadrador desta problemática, tal a importância que dedicam ao tema. Portugal tem neste momento a sua legislação actualizada, destacando-se o decreto lei 152/2002 que transpõe para o ordenamento jurídico português a tão aguardada Directiva Aterros (1999/31/CE).

Legislação Europeia (UE)

No âmbito das suas competências, a UE emana regulamentos, directivas, decisões, recomendações e pareceres.

Os Regulamentos comunitários são instrumentos de carácter geral e aplicáveis directa e obrigatoriamente em todos os estados membros. Não carecem de transposição para o direito nacional como lei e são imperativos quanto aos fins e no que respeita aos meios a atingir.

As Directivas requerem uma transposição para o direito nacional de cada país membro, deixando em aberto a escolha das formas e dos meios para a sua concretização, dispondo de um prazo para as por em prática. A maioria dos diplomas comunitários no domínio dos resíduos sólidos são apresentados sob a forma de directivas. As contravenções são submetidas ao Tribunal de Justiça da UE.

As decisões são actos individuais emanados da UE, não normativos, que vinculam apenas os destinatários, um estado membro ou uma empresa de um estado membro. Podem condenar ao pagamento de multas, por exemplo.

Os pareceres e recomendações não têm alcance obrigatório, tratando-se apenas de opiniões técnicas ou jurídicas fundadas mas não vinculativas.

2.1 RESÍDUOS GERAL

2.1.1 Nacional

1 . PORTARIA N° 15/96, de 23 de Janeiro

- Aprova os tipos de operações de eliminação e de valorização de resíduos - alterada pela Decisão 96/350/CE de 24 de Maio

2 . PORTARIA N° 818/97, de 5 de Setembro

- Aprova a lista harmonizada, que abrange todos os resíduos, designada por Catálogo Europeu de Resíduos (CER), a lista de resíduos perigosos e as características que

conferem perigosidade aos resíduos - alterada pela Decisão 2000/532/CE, da Comissão, de 22 de Janeiro.

3 . DECRETO-LEI N° 239/97, de 9 de Setembro

- Estabelece as regras a que fica sujeita a gestão de resíduos. Revoga o DL 310/95 de 20 de Novembro.

4 . PORTARIA N° 961/98, de 10 de Novembro

- Regulamenta os processos de autorização das operações de gestão de resíduos industriais, resíduos sólidos urbanos e outros tipos de resíduos.

2.1.2 Comunitária

DIRECTIVA 75/442/CEE, DO CONSELHO, de 15 de Julho.

- Relativa aos resíduos.

. RESOLUÇÃO 90/C 122/02, DO CONSELHO, de 07 de Maio.

- sobre a política de resíduos.

. DIRECTIVA 91/156/CEE, DO CONSELHO, de 18 de Março.

- Altera a Directiva 75/442/CEE, relativa aos resíduos.

. DIRECTIVA 91/689/CEE, DO CONSELHO, de 12 de Dezembro.

- Relativa aos resíduos perigosos.

. DIRECTIVA 94/31/CEE, DO CONSELHO, de 27 de Junho.

- Altera a Directiva 91/689/CEE, relativa aos resíduos perigosos.

. DECISÃO 96/350/CE, DA COMISSÃO, de 24 de Maio.

- Adapta os anexos IIA e IIB da Directiva 75/442/CEE do Conselho relativa aos resíduos.

. RESOLUÇÃO 97/C 76/01, DO CONSELHO, de 24 de Fevereiro.

- Relativa à estratégia comunitária de gestão de resíduos.

. DECISÃO 2000/532/CE, DA COMISSÃO, de 3 de Maio.

- Substitui a Decisão 94/3/CE que estabelece uma lista de resíduos em conformidade com a alínea a) do artigo 1º da Directiva 75/442/CEE do Conselho, relativa aos resíduos, e a Decisão 94/904/CE do Conselho, que estabelece uma lista de resíduos perigosos em conformidade com o n.º 4 do artigo 1º da Directiva 91/689/CEE do Conselho, relativa aos resíduos perigosos.

. DECISÃO 2001/118/CE, DA COMISSÃO, de 16 de Janeiro.

- Altera a Decisão 2000/532/CE, no que respeita à lista de resíduos.

. DECISÃO 2001/119/CE, DA COMISSÃO, de 22 de Janeiro.

- Altera a Decisão 2000/532/CE que substitui a Decisão 94/3/CE, que estabelece uma lista de resíduos em conformidade com a alínea a) do artigo 1º da Directiva 75/442/CEE do Conselho, relativa aos resíduos, e a Decisão 94/904/CE do Conselho, que estabelece uma lista de resíduos perigosos em aplicação do n.º 4 do artigo 1º da Directiva 91/689/CEE do Conselho, relativa aos resíduos perigosos.

. DECISÃO 2001/573/CE, DO CONSELHO, de 23 de Julho.

- Altera a Decisão 2000/532/CE, no que respeita à lista de resíduos.

2.2 RESÍDUOS URBANOS

2.2.1 Nacional

1 . PORTARIA N° 768/88, de 30 de Novembro

- Concede à DGQA a competência de fiscalização, referida no Decreto-Lei n° 488/85

sobre Resíduos Sólidos Urbanos - Mapa de Resíduos Urbanos

2 . DECRETO-LEI N° 372/93, de 29 de Outubro

- Altera a Lei n° 46/77 de 8 de Julho.- Lei de delimitação de sectores.

3 . DECRETO-LEI N° 379/93, de 5 de Novembro

- Permite o acesso de capitais privados às actividades económicas de captação, tratamento e rejeição de efluentes e recolha e tratamento de resíduos sólidos.

4 . DECRETO-LEI N° 294/94, de 16 de Novembro

- Estabelece o regime jurídico da concessão de exploração e gestão dos sistemas multimunicipais de tratamento de resíduos sólidos urbanos.

5 . DECRETO-LEI N° 297/94, de 21 de Novembro

- Cria o sistema multimunicipal de valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos de Lisboa Norte e prevê a sua concessão.

6 . DECRETO-LEI N° 109/95, de 20 de Maio

- Cria o sistema multimunicipal de valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos do Algarve.

7 . DECRETO-LEI N° 89/96, de 3 de Julho

- Cria o sistema multimunicipal de valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos de Vila Nova de Gaia e Santa Maria da Feira e aprova os estatutos da sociedade a quem será atribuída a respectiva concessão.

8 . DECRETO-LEI N° 111/96, de 2 de Agosto

- Cria o sistema multimunicipal de valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos do Cávado-Homem e aprova os estatutos da sociedade a quem será atribuída a respectiva concessão.

9 . DECRETO-LEI N° 113/96, de 5 de Agosto

- Cria o sistema multimunicipal de valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos do Vale do Minho e aprova os estatutos da sociedade a quem será atribuída a respectiva concessão.

10 . DECRETO-LEI N° 114/96, de 5 de Agosto

- Cria o sistema multimunicipal de valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos do Vale do Lima e Baixo Cávado e aprova os estatutos da sociedade a quem será atribuída a respectiva concessão.

11 . DECRETO-LEI Nº 116/96, de 6 de Agosto

- Cria o sistema multimunicipal de valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos da Alta Estremadura e aprova os estatutos da sociedade a quem será atribuída a respectiva concessão.

12 . DECRETO-LEI Nº 117/96, de 6 de Agosto

- Cria o sistema multimunicipal de valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos do Baixo Cávado e aprova os estatutos da sociedade a quem será atribuída a respectiva concessão.

13 . DECRETO-LEI Nº 166/96, de 5 de Setembro

- Cria o sistema multimunicipal de valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos do Litoral Centro e aprova os estatutos da sociedade a quem será atribuída a respectiva concessão.

14 . DECRETO-LEI Nº 53/97, de 4 de Março

- Cria o sistema multimunicipal de valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos da margem sul do Tejo e aprova os estatutos da sociedade a quem será atribuída a respectiva concessão.

15. DECRETO-LEI Nº 366/97, de 20 de Dezembro

- Cria o sistema multimunicipal de valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos do Oeste e aprova os estatutos da sociedade a quem será atribuída a respectiva concessão.

16. DECRETO-LEI Nº 226/00, de 9 de Setembro

Cria o sistema multimunicipal de triagem, recolha selectiva, valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos do Alto Tâmega, integrando como utilizadores originários de municípios de Boticas, Chaves, Montalegre, Ribeira de Pena, Valpaços e Vila Pouca

17. DECRETO-LEI N° 323-A/00, de 20 de Dezembro

Cria o sistema multimunicipal de triagem, recolha, valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos do Baixo Tâmega, integrando como utilizadores originários os municípios de Amarante, Baião, Cabeceiras de Basto, Celorico de Basto, Marco de Canaveses.

18. DECRETO-LEI N° 93/01, de 23 de Março

Cria o sistema multimunicipal de triagem, recolha, valorização e tratamento de resíduos urbanos do Norte Alentejano, integrando como utilizadores originários, os municípios de Alter do Chão, Arronches, Avis, Campo Maior, Castelo de Vide, Crato, Elvas, Fronteira, Marvão, Monforte, Nisa, Ponte de Sor, Portalegre e Sousel.

19. DECRETO-LEI N° 93/01, de 23 de Março

Cria o sistema multimunicipal de triagem, recolha selectiva, valorização e tratamento de resíduos sólidos urbanos do vale do Douro Sul, integrando como utilizadores originários os municípios de Armamar, Cinfães, Lamego, Moimenta da Beira, Penedono, Resende.

2.3 RESÍDUOS INDUSTRIAIS

2.3.1 Nacional

1 . DESPACHO CONJUNTO SEARN/SEIE/SETC, de 2 de Maio de 1987

- Relativo a destino final e correcta utilização das cinzas das Centrais Térmicas

2 . RESOLUÇÃO DO CONSELHO DE MINISTROS N° 98/97, de 25 de Junho

- Define a estratégia de gestão dos resíduos industriais.

3 . DECRETO-LEI N° 516/99, de 2 de Dezembro

- Aprova o Plano Estratégico de Gestão dos Resíduos Industriais (PESGRI 99)

4 . PORTARIA N° 792/98, de 22 de Setembro

- Aprova o Mapa de Registo de Resíduos Industriais - revoga a Portaria n° 189/95 de 20

de Julho.

2.4 RESÍDUOS HOSPITALARES

2.4.1 Nacional

1 . DESPACHO N° 242/96 DO MINISTÉRIO DA SAÚDE, de 15 de Julho

- Estabelece normas de gestão e classificação dos resíduos hospitalares

2 . PORTARIA N° 174/97, de 10 de Março

- Estabelece as regras de instalação e funcionamento de unidades ou equipamentos de valorização ou eliminação de resíduos perigosos hospitalares, bem como o regime de autorização da realização de operações de gestão de resíduos hospitalares por entidades responsáveis pela exploração das referidas unidades ou equipamentos.

3 . PORTARIA N° 178/97, de 11 de Março

- Aprova o modelo de Mapa de Registo de Resíduos Hospitalares

4 . DESPACHO CONJUNTO N° 761/99, de 31 de Agosto

- Aprova o Plano Estratégico de Gestão dos Resíduos Hospitalares (PERH 99)

2.5 INCINERAÇÃO / CO-INCINERAÇÃO

2.5.1 Nacional

1 . DECRETO-LEI N° 273/98, de 2 de Setembro

- Transpõe para o direito interno as disposições constantes da Directiva n.º 94/67/CE, do Conselho, de 16 de Dezembro, relativa à incineração de resíduos perigosos

2 . LEI N° 20/99, de 15 de Abril

- Tratamento de resíduos industriais.

3 . DECRETO-LEI N° 120/99, de 16 de Abril

- Cria um sistema especial de controlo e fiscalização ambiental da co-incineração.

4 . DECRETO-LEI N° 121/99, de 16 de Abril

• Atribui a competência prevista no artigo 4º da Lei nº 20/99 à Comissão Científica Independente criada pelo Decreto-Lei nº 120/99, e faz cessar a suspensão da vigência das normas sobre fiscalização e sancionamento das operações de co-incineração constantes no Decreto-Lei nº 273/98, de 2 de Setembro.

5 . RESOLUÇÃO DO CONSELHO DE MINISTROS N.º 91/2000 de 20-07-2000

Acolhe a preferência manifestada pela Comissão Científica Independente pela localização do projecto de co-incineração nas unidades cimenteiras de Souselas (Coimbra) e Outão (Setúbal).

6 . LEI Nº 22/00, de 18 de Agosto

Primeira alteração à Lei nº 20/99, de 15 de Abril (tratamento de resíduos industriais).

7 . DESIGNAÇÃO: DECRETO-LEI N.º 154-A/2001 de 08-05-2001

Cessa a suspensão da vigências das normas do Decreto-Lei nº 273/98, de 2 de Setembro, no que respeita às operações de co-incineração de resíduos industriais perigosos, incluindo a avaliação e selecção de locais para queima e tratamento desses resíduos.

8 . DESPACHO N.º 10 128/2001 de 15-05-2001

Co-incineração.

9 . DECRETO-LEI N.º 154-A/2001 de 08-05-2001

Cessa a suspensão da vigências das normas do Decreto-Lei nº 273/98, de 2 de Setembro, no que respeita às operações de co-incineração de resíduos industriais perigosos, incluindo a avaliação e selecção de locais para queima e tratamento desses resíduos.

10 . DESPACHO N.º 538/2001 de 12-01-2001

Relatório Comissão Científica Independente.

2.5.2 Comunitária

1 . DIRECTIVA 88/609/CEE, DO CONSELHO, de 24 de Novembro

- Relativa à limitação das emissões para a atmosfera de certos poluentes de grandes instalações de combustão

2 . DIRECTIVA 89/369/CEE, DO CONSELHO, de 8 de Junho

- Relativa à prevenção da poluição atmosférica proveniente de novas instalações de incineração de resíduos urbanos.

3 . DIRECTIVA 89/429/CEE, DO CONSELHO, de 21 de Junho

- Relativa à redução da poluição atmosférica proveniente de instalações existentes de incineração de resíduos urbanos.

4 . DIRECTIVA 94/67/CE, DO CONSELHO, de 31 de Dezembro

- Relativa à incineração de resíduos perigosos.

5 . DECISÃO 97/283/CE, DA COMISSÃO, de 21 de Abril

- Relativa aos métodos harmonizados de medição, aplicáveis à concentração mássica de dioxinas e furanos nas emissões para a atmosfera, em conformidade com o n.º 2 do artigo 7º da Directiva 94/67/CE, relativa à incineração de resíduos perigosos.

6 . DECISÃO 2000/345/CE, DA COMISSÃO, de 22 de Maio de 2000

Estabelece a data em que pode começar a expedição de Portugal para a

Alemanha de certos materiais destinados a ser incinerados, ao abrigo do n.o 6 do

artigo 3.o da Decisão 98/653/CE

7 . DIRECTIVA 2000/76/CE, DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, de 4 de Dezembro

- Relativa à incineração de resíduos.

2.6 ATERROS

2.6.1 Nacional

1 . DECRETO-LEI N° 321/99, de 11 de Agosto

- Regula a instalação e funcionamento de aterros para resíduos industriais banais (RIB).

2.6.2 Comunitária

1 . DIRECTIVA 1999/31/CE, DO CONSELHO, de 26 de Abril

- Relativa à deposição de resíduos em aterros.

2.7 TRANSPORTE DE RESÍDUOS EM TERRITÓRIO NACIONAL

2.7.1 Nacional

1 . PORTARIA N° 335/97, de 16 de Maio

- Fixa as regras a que fica sujeito o transporte de resíduos dentro do território nacional

2 . DESPACHO N.º 8943/97, DO INSTITUTO DOS RESÍDUOS, de 9 de Outubro (II Série).

- Identifica as guias a utilizar para o transporte de resíduos, em conformidade com o artigo 7º da Portaria n.º 335/97.

2.8 MOVIMENTO TRANSFRONTEIRIÇO DE RESÍDUOS

2.8.1 Nacional

1 . DECRETO N° 37/93, de 20 de Outubro

- Aprova para ratificação, a Convenção de Basileia sobre controlo do movimento transfronteiriço de resíduos perigosos e a sua eliminação.

2 . DECRETO-LEI N° 296/95, de 17 de Novembro

- Relativo à fiscalização e controlo das transferências de resíduos à entrada, no interior e à saída da Comunidade.

3 . DECLARAÇÃO DE RECTIFICAÇÃO N.º 157/95, de 30 de Outubro.

- Rectifica o Decreto-Lei n° 296/95

4 . AVISO N.º 229/99, de 7 de Dezembro.

- Torna público terem sido aprovadas para ratificação as Decisões III/1 e IV/9, que alteram a Convenção de Basileia.

2.8.2 Comunitária

1 . REGULAMENTO (CEE) N° 259/93, DO CONSELHO, de 1 de Fevereiro

- Relativo à fiscalização e ao controlo das transferências de resíduos no interior, à entrada e à saída da Comunidade.

2 . REGULAMENTO (CE) 120/97, de 20 de Janeiro

- Altera o Regulamento (CEE) n.º259/93

3 . REGULAMENTO (CE) 1420/99, de 29 de Abril

- Estabelece regras e procedimentos comuns aplicáveis às transferências de determinados resíduos para certos países não membros da OCDE

4 . REGULAMENTO (CE) 1547/99, de 12 de Junho

- Determina em conformidade com o Regulamento (CEE) n.º259/93 do Conselho, os processos de controlo a aplicar às transferências de certos tipos de resíduos para certos países onde não é aplicável a Decisão C92(39) Final da OCDE

5 . DECISÃO 94/575/CE, DA COMISSÃO, 24 de Novembro

Determina o processo de controlo previsto no Reg. 259/93 no que diz respeito a certas transferências de resíduos para países não membros da OCDE

6 . DECISÃO 99/816/CE, DA COMISSÃO, 24 de Novembro

- Adapta, em conformidade com o n°1 do seu artigo 16° e o n°3 do seu artigo 42°, os anexos II, III, IV, V do Regulamento (CEE) n° 259/93 do Conselho relativo à fiscalização e ao controlo das transferências de resíduos no interior, à entrada e à saída da Comunidade

2.9 LAMAS / VALORIZAÇÃO AGRÍCOLA

2.9.1 Nacional

1 . DECRETO-LEI N° 446/91, de 22 de Novembro.

- Estabelece o regime de utilização na agricultura de certas lamas provenientes de estações de tratamento de águas residuais.

2 . PORTARIA 176/96, de 3 de Outubro (II Série).

- Fixa os valores permitidos para a concentração de metais pesados nas lamas utilizadas na agricultura.

3 . PORTARIA 177/96, de 3 de Outubro (II Série).

- Fixa as regras sobre análise das lamas e dos solos.

2.9.2 Comunitária

1 . DIRECTIVA 86/278/CEE, DO CONSELHO, de 12 de Junho

- Relativa à protecção do ambiente, e em especial dos solos, na utilização agrícola de lamas de depuração.

2.10 ÓLEOS USADOS

2.10.1 Nacional

1 . DECRETO-LEI N° 88/91, de 23 de Fevereiro

- Regula a actividade de armazenagem, recolha e queima de óleos usados

2 . PORTARIA N° 240/92, de 25 de Março

- Aprova o Regulamento de Licenciamento das Actividades de Recolha, Armazenagem, Tratamento Prévio, Regeneração, Recuperação e Combustão e Incineração dos Óleos Usados.

3 . PORTARIA N° 1028/92, de 5 de Novembro

- Estabelece normas de segurança e identificação para o transporte de óleos usados.

4 . DESPACHO CONJUNTO DGE/DGQA, de 18 Maio de 1993

- Define óleos usados e as especificações a que devem obedecer os óleos usados a utilizar como combustível.

2.10.2 Comunitária

1 . DIRECTIVA 75/439/CEE, DO CONSELHO, de 16 de Junho

- Relativa à eliminação de óleos usados.

2. DIRECTIVA 87/101/CEE, DO CONSELHO, de 22 de Dezembro

- Altera a Directiva 75/439/CEE.

2.11 PCB

2.11.1 Nacional

1. DECRETO-LEI N° 277/99, de 23 de Julho

- Transpõe para o direito interno as disposições constantes da Directiva 96/59/CE, do Conselho, de 16 de Setembro e estabelece as regras a que ficam sujeitas a eliminação dos PCB usados, tendo em vista a sua total destruição.

2.11.2 Comunitária

1. DIRECTIVA 96/59/CE, DO CONSELHO, de 16 de Setembro

- Relativa à eliminação dos policlorobifenilos e dos policlorotrifenilos (PCB/PCT).

2. DECISÃO 2001/68/CE, DA COMISSÃO, de 16 de Janeiro

- Estabelece dois métodos de referência para a medição de PCB nos termos da alínea a) do artigo 10° da Directiva 96/59/CE.

2.12 SUCATAS

2.12.1 Nacional

1. DECRETO -LEI N° 268/98, de 28 de Agosto

- Disciplina a localização e o licenciamento da instalação e ampliação dos depósitos de ferro-velho e de veículos em fim de vida - revoga o Decreto-Lei n° 117/94, de 3 de Maio.

2.13 VEÍCULOS EM FIM DE VIDA

2.13.1 Nacional

1 . DECRETO -LEI N° 292-B/2000, de 15 de Novembro

- Estabelece as regras e o procedimento a seguir na emissão de certificados de destruição qualificada de veículos em fim de vida

2.13.2 Comunitária

1 . DIRECTIVA 2000/53/CE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, de 18 de

Setembro

- Relativa aos veículos em fim de vida

2.14 PNEUS USADOS

2.14.1 Nacional

1 . DECRETO -LEI N° 111/2001, de 6 de Abril

- Estabelece o regime jurídico a que fica sujeita a gestão de pneus usados.

2.15 PILHAS E ACUMULADORES

2.15.1 Nacional

1. DECRETO-LEI N° 62/2001, de 19 de Fevereiro

- Estabelece o regime jurídico que fica sujeita a gestão de pilhas e acumuladores bem como a gestão de pilhas e acumuladores usados, e transpõe para a ordem jurídica interna as Directivas n.os 91/157/CEE, do Conselho, de 18 de Março, 93/86/CE, da Comissão, de 4 de Outubro, e 98/101/CE, da Comissão, de 22 de Dezembro, relativas às pilhas e acumuladores contendo determinadas matérias perigosas. Revoga o Decreto-Lei n.º 219/94, de 20 de Agosto

2 . PORTARIA N° 571/2001, de 6 de Junho

- Define as regras a que fica sujeito o licenciamento da entidade gestora do sistema integrado de pilhas e outros acumuladores

3 . PORTARIA N° 572/2001, de 6 de Junho

- Aprova os programas de acção relativos a acumuladores de veículos, industriais e similares, e a pilhas e a outros acumuladores.

4 . DECLARAÇÃO DE RECTIFICAÇÃO N.º 13-B/2001, de 19 de Junho

- Rectifica a Portaria n.º 572/2001.

5 . DESPACHO N° 6493/2002 (2ª Série), de 26 de Março

- Aprova os modelos relativos a acumuladores de veículos; industriais e similares e a pilhas e outros acumuladores,

2.15.2 Comunitária

1 . DIRECTIVA 91/157/CEE, DO CONSELHO, de 18 de Março.

- Relativa às pilhas e acumuladores contendo determinadas matérias perigosas.

2 . DIRECTIVA 93/86/CEE, DA COMISSÃO, de 4 de Outubro.

- Adapta ao progresso técnico a Directiva 91/157/CEE

3 . DIRECTIVA 98/101/CE, DA COMISSÃO, de 22 de Dezembro.

- Adapta ao progresso técnico a Directiva 91/157/CEE

2.16 MERCÚRIO

2.16.1 Nacional

1 . DECRETO-LEI N° 52/99, de 20 de Fevereiro

- Transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva 84/156/CEE.

2 . PORTARIA N° 744-A/99, de 25 de Agosto

- Aprova os programas de acção específicos para evitar ou eliminar a poluição proveniente de fontes múltiplas de mercúrio

2.16.2 Comunitária

1 . DIRECTIVA 84/156/CEE, DO CONSELHO, de 8 de Março.

- Relativa aos valores limite e aos objectivos de qualidade para a descarga de mercúrio de sectores que não o da electrólise de cloretos alcalinos.

2.17 EMBALAGENS E RESÍDUOS DE EMBALAGENS

2.17.1 Nacional

1 . DECRETO-LEI N° 366-A/97, de 20 de Dezembro

- Estabelece os princípios e as normas aplicáveis ao sistema de gestão de embalagens e resíduos de embalagens - revoga o DL n° 322/95, de 28 de Novembro.

2 . PORTARIA N° 29-B/98, de 15 de Janeiro

- Estabelece as regras de funcionamento dos sistemas de consignação aplicáveis às embalagens reutilizáveis e às embalagens não reutilizáveis, bem como as do sistema integrado aplicável apenas às embalagens não reutilizáveis - revoga a Portaria n° 313/96 de 29 de Julho.

3 . DECRETO-LEI N° 407/98, de 21 de Dezembro

- Estabelece as regras respeitantes aos requisitos essenciais da composição das embalagens.

4 . DESPACHO CONJUNTO ME + MA N° 289/99, de 6 Abril (II Série)

- Cria o Grupo de trabalho sobre reutilização previsto no n°4 do n°5° da Portaria n° 29-B/98 de 15 de Janeiro.

5 . DESPACHO MA N° 7415/99, de 14 de Abril (II Série)

- Aprova os modelos para fornecimento de dados estatísticos de acordo com o n°4° da Portaria n° 29-B/98 de 15 de Janeiro.

6 . DESPACHO CONJUNTO ME + MA N° 316/99, de 15 de Abril (II Série)

- Determina o modelo de relatório anual de actividade da entidade gestora do sistema integrado.

7 . DECRETO-LEI N° 162/2000, de 27 de Julho

- Altera os Artigos 4° e 6° do Decreto-lei n.º366-A/97, de 20 de Dezembro.

2.17.2 Comunitária

1 . DIRECTIVA 94/62/CE, DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO, de 20 de

Dezembro.

- Relativa a embalagens e resíduos de embalagens.

2 . DECISÃO 97/129/CE, DA COMISSÃO, de 28 de Janeiro

- Cria o sistema de identificação dos materiais de embalagem, nos termos da Directiva 94/62/CE.

3 . DECISÃO 97/138/CE, DA COMISSÃO, de 3 de Fevereiro

- Estabelece os formulários relativos à base de dados nos termos da Directiva 94/62/CE.

4 . DECISÃO 99/177/CE, DA COMISSÃO, de 8 de Fevereiro

- Estabelece as condições de derrogação para grades de plástico e paletes de plástico no que diz respeito às concentrações de metais pesados estabelecidos na Directiva 94/62/CE.

5 . DECISÃO 2001/171/CE, DA COMISSÃO, de 19 de Fevereiro

- Estabelece as condições de derrogação para embalagens de vidro no que diz respeito às concentrações de metais pesados estabelecidos na Directiva 94/62/CE.

2.18 RESÍDUOS DE EQUIPAMENTOS ELÉCTRICOS E ELECTRÓNICOS

2.18.1 Nacional

1 . DECRETO-LEI N° 20/02, de 30 de Janeiro.

- Estabelece o regime jurídico a que fica sujeita a gestão de resíduos de equipamentos eléctricos e electrónicos (REEE), assumindo como objectivos prioritários a prevenção desses resíduos, seguida da reutilização, da reciclagem e de outras formas de valorização, por forma a reduzir a quantidade e a nocividade

de resíduos a eliminar. S - RESÍDUOS DA ACTIVIDADE EXTRACTIVA

S.I - Nacional

1. DECRETO-LEI N° 544/99, de 13 de Dezembro.

- Estabelece as regras relativas à construção, exploração e encerramento de aterros de resíduos resultantes da actividade extractiva.

2.19 LEGISLAÇÃO COMPLEMENTAR

2.19.1 IMPACTE AMBIENTAL

1. DECRETO-LEI N° 69/2000, de 3 de Maio.

- Aprova o regime jurídico da avaliação de impacte ambiental, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 85/337/CEE, com as alterações introduzidas pela Directiva n.º 97/11/CE, do Conselho, de 3 de Março de 1997

2. PORTARIA N° 330/2001, de 2 de Abril.

- Fixa as normas técnicas para a estrutura da proposta de definição de âmbito do EIA (PDA) e normas técnicas para a estrutura de estudo do impacte ambiental (EIA)

2.19.2 LICENÇA AMBIENTAL

1. DECRETO-LEI N° 194/2000, de 21 de Agosto.

- Transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 96/61/CE, do Conselho, de 24 de Setembro, relativa à prevenção e controlo integrados da poluição.

2. PORTARIA N° 1047/2001, de 1 de Setembro.

- Aprova o modelo de pedido de licenciamento de actividades económicas abrangidas pelo Decreto-Lei n.º 194/2000, de 21 de Agosto, que aprovou o regime jurídico da prevenção e controlo integrados da poluição (PCIP)

2.19.3 LICENCIAMENTO INDUSTRIAL

1. DECRETO-LEI N° 109/91, de 15 de Março.

- Estabelece normas disciplinadoras do exercício da actividade industrial.
2. DECRETO-LEI N° 282/93, de 17 de Agosto.
 - Altera o Decreto-Lei n° 109/91, de 15 de Março (estabelece as normas disciplinadoras do exercício da actividade industrial).
 3. DECRETO REGULAMENTAR N° 25/93, de 17 de Agosto.
 - Aprova o novo Regulamento do Exercício da Actividade Industrial (REAI).
 4. PORTARIA N° 744-B/93, de 18 de Agosto.
 - Aprova a tabela de classificação das actividades industriais para efeito de licenciamento industrial.
 5. PORTARIA N° 314/94, de 24 de Maio.
 - Aprova os modelos de impressos para os pedidos de autorização para instalação ou alteração de estabelecimentos industriais das classes A, B e C e define os termos em que deve ser apresentado o projecto de instalação desses estabelecimentos.
 6. LEI N° 159/99, de 14 de Setembro.
 - Estabelece o quadro de transferência de atribuições e competências para as autarquias locais.
 7. DECRETO-LEI N° 182/93, de 14 de Maio.
 - Revê a Classificação Portuguesa de Actividades Económicas (CAE)
 8. DECRETO-LEI N° 61/91, de 27 de Novembro.
 - Aprova o Regulamento do Exercício de Actividade da Industria Transformadora de Pesca, em terra (RAIP)

2.19.4 LEGISLAÇÃO QUALIDADE DO AR

1. DECRETO-LEI N° 276/99, de 23 de Julho
 - Define as linhas de orientação da política de gestão da qualidade do ar e transpõe a Directiva 96/62/CE do Conselho de 27 de Setembro, relativa à avaliação e gestão da qualidade do ambiente.
2. DECRETO-LEI N° 432/99, de 25 de Outubro

- Fixa os padrões de emissão e o processo homologação a instalar em máquinas móveis não rodoviárias.

3. PORTARIA N.º 399/97, de 18 de Junho

- Altera a Portaria n.º 286/93, de 12 de Março (fixa os valores limite e os valores guia no ambiente para o dióxido de enxofre, partículas em suspensão, dióxido de azoto e monóxido de carbono o valor limite para o chumbo e os valores guia para o ozono)

4. PORTARIA N.º 125/97, de 21 de Fevereiro

- Altera a Portaria n.º 286/93, de 12 de Março (fixa os valores limites e os valores guias no ambiente para o dióxido de enxofre, partículas em dispersão, dióxido de azoto e monóxido de carbono, o valor limite para o chumbo e os valores guias para o ozono)

5. DECRETO-LEI N.º 352/90, de 9 de Novembro

- Estabelece o regime de protecção e controlo da qualidade do ar. Revoga o Decreto-Lei n.º 255/80, de 30 de Julho e a Portaria n.º 508/81, de 25 de Julho.

6. PORTARIA N.º 1058/94, de 2 de Dezembro

- Altera a Portaria n.º 286/93, de 12 de Março (fixa os valores limites e os valores gerais no ambiente para o dióxido de enxofre, partículas em suspensão, dióxido de azoto e monóxido de carbono, o valor limite para o chumbo e os valores guias para o ozono).

7. PORTARIA N.º 286/93, de 12 de Março

- Fixa os valores limites e os valores gerais no ambiente para o dióxido de enxofre, partículas em suspensão, dióxido de azoto e monóxido de carbono, o valor limite para o chumbo e os valores guias para o ozono

T5 – LEGISLAÇÃO QUALIDADE DA ÁGUA

1. DECRETO-LEI N.º 236/98, de 1 de Agosto

- Estabelece as normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos.

Revoga o Decreto-Lei N.º 74/90, de 7 de Março

2. DECRETO -LEI N.º 172/2001, de 6 de Maio • Altera parcialmente o Anexo II do Decreto-Lei n.º152/97, de 19 de Junho (transpõe

para o direito interno a Directiva n.º 91/271/CEE, do Conselho, de 21 de Maio, relativamente ao tratamento de águas residuais urbanas)

T6 – LEGISLAÇÃO DO RUÍDO

1. DECRETO-LEI N.º 292/2000, de 14 de Novembro.

- Aprova o regime legal sobre a poluição sonora, designado também “Regulamento Geral do Ruído”

2.19.5 AMIANTO

1. DECRETO-LEI N.º 284/89, de 24 de Agosto

- Aprova o regime de protecção da saúde dos trabalhadores contra riscos de exposição ao amianto nos locais de trabalho. Transpõe a Directiva 83/477/CEE de 19 de Setembro.

2. PORTARIA N.º 1057/89, de 7 de Dezembro.

- Regulamenta o Decreto-Lei n.º 284/89 de 24 de Agosto.

3. DECRETO-LEI N.º 389/93, de 20 de Novembro

- Aprova o regime de protecção da saúde dos trabalhadores contra riscos de exposição ao amianto nos locais de trabalho, altera o Decreto-Lei n.º 284/89. Transpõe a Directiva 91/382/CEE de 24 de Agosto.

T8 – SUBSTÂNCIAS E PREPARAÇÕES PERIGOSAS

1. DECRETO-LEI N.º 232/94, de 14 de Setembro.

- Transpõe para a ordem jurídica interna as Directivas n.º 91/173/CEE do Conselho de 21 de Março e 91/173/CEE do Conselho de 18 de Junho, q/ estabelecem limitações à comercialização e utilização de substâncias e preparações perigosas.

2. DECRETO-LEI N.º 82/95, de 22 de Abril.

- Transpõe para a ordem jurídica interna várias directivas que alteram a Directiva n.º 67/548/CEE, do Conselho, de 27 de Julho, relativa à aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas respeitantes à classificação, embalagem e rotulagem de substâncias perigosas.

3. Portaria N.º 732-A/96, de 11 de Dezembro.

- Aprova o Regulamento para a Notificação de Substâncias Químicas e para a classificação, embalagem e rotulagem de substâncias perigosas.

4. DECRETO-LEI N° 330-A/98, de 2 de Novembro.

- Transpõe para a ordem jurídica interna a Directiva n° 94/69/CE, da Comissão, de 19 de Dezembro, a Directiva n° 96/54/CE, da Comissão, de 30 de Julho, e a Directiva n° 96/56/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 3 de Setembro, que alteraram e adaptaram ao progresso técnico a Directiva n° 67/548/CEE, do Conselho, de 27 de Julho, relativa à aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas respeitantes à classificação, embalagens e rotulagem das substâncias perigosas.

2.19.6 SEVESO II

1. DECRETO-LEI N° 164/2001, de 23 de Maio

- Aprova o regime jurídico da prevenção e controlo dos perigos associados a acidentes graves que envolvem substâncias perigosas, transpondo para a ordem jurídica interna a Directiva n.º 96/82/CE, do Conselho, de 9 de Dezembro

2.19.7 TRANSPORTE

1. Portaria n° 1196-C/97, de 24 de Novembro.

- Aprova o Regulamento Nacional do Transporte de Mercadorias Perigosas por Estrada (RPE)

2. DECRETO-LEI N° 38/99, de 6 de Fevereiro

- Instituiu um novo regime jurídico aplicável aos transportes rodoviários de mercadorias, por conta de outrem e por conta própria, nacionais e internacionais

3. DECRETO-LEI N° 76/2000, de 9 de Maio

- Introduz modificações no Decreto-Lei n.º 77/97, de 5 de Maio, actual lei quadro do transporte rodoviário de mercadorias perigosas, e no Regulamento Nacional do Transporte de Mercadorias Perigosas por Estrada (RPE), aprovado pela Portaria n.º

1196-C/97, de 24 de Novembro, e, simultaneamente, transpõe as directivas n.ºs 99/47/CE de 21 de Maio, e 96/35/CE, de 3 de Junho

2.19.8 PAPEL

1 . RESOLUÇÃO DO CONSELHO DE MINISTROS Nº 2/93, de 7 de Janeiro.

- Utilização de Papel Reciclado e recolha selectiva de papel velho nos serviços da Administração.

3. FONTES, COMPOSIÇÃO E PROPRIEDADES DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

3.1 CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

A classificação dos resíduos não é feita de igual forma em todos os países, o que dificulta a realização de correlações entre diversos e diferentes universos.

No sentido de tentar uma uniformização de critérios, a UE publicou recentemente (07.01.94) o Catálogo Europeu de Resíduos², lista não exaustiva passível de revisão periódica. Este catálogo resulta de um dispositivo constante da directiva 75/442/CEE, ou seja, só após 20 anos de publicação da directiva, é que surge a primeira sistematização de classificação dos resíduos para a Comunidade.

Este instrumento de ordenamento agrupa os resíduos em 20 categorias principais e cada uma delas é subdividida em várias subcategorias.

Por outro lado, a directiva, 91/689/CEE classifica os resíduos de acordo com a sua *origem* (doméstico, público, comercial, industrial, hospitalar, etc) e as suas *características* (perigosos, inertes e não perigosos), conforme segue (Figura 3.1). As características de perigosidade são reconhecidas pelos efeitos sobre o ambiente, pessoas e animais, designadamente, o poder de *explosão; combustibilidade; inflamabilidade; nocividade* para a saúde por inalação ingestão ou penetração cutânea; *irritabilidade; toxicidade; características carcinogénias e/ou infecciosas; corrosividade; teratogenicidade* (produção de monstrosidades em seres vivos) e *mutagenicidade*; entre outros.

Entende-se por resíduo, de acordo com a definição comunitária, *quaisquer substâncias ou objectos abrangidos pelas categorias fixadas no anexo I de que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou a obrigação de se desfazer.*

Tal como preceitua o Dec.-Lei 239/97 a eliminação dos resíduos sólidos industriais é da responsabilidade dos seus produtores. Em termos de recolha estes resíduos devem ser separados dos domésticos, quer pela sua constituição, quer pelo volume. Com efeito, indústrias que produzam grandes quantidades de resíduos ou cujo manuseamento ofereça riscos sanitários ou de segurança, não devem esperar que os municípios efectuem a sua colecta, salvo sob contrato especial. Exceptuam-se, obviamente, as indústrias cuja produção de resíduos sólidos não é significativa, além destes apresentarem uma constituição semelhante à do lixo doméstico. Neste caso poderão ser incluídos sem maiores inconvenientes, nos circuitos de recolha, tratamento e destino final em Aterro Sanitário.

Os parâmetros que mais directamente intervêm no equacionamento e resolução de qualquer problema de resíduos sólidos são, fundamentalmente, as quantidades produzidas, a densidade, a composição qualitativa e os coeficientes de variação da produção (efeito dos picos de produção).

²EWC na abreviatura inglesa



Figura 3.1 - Esquema com a classificação dos resíduos sólidos

3.1.1 Classificação segundo a origem

3.1.1.1 Resíduos Sólidos Urbanos

São os resíduos sólidos domésticos, públicos, comerciais, nomeadamente os resíduos provenientes de estabelecimentos comerciais e do sector de serviços, e outros resíduos que, pela sua natureza ou composição, sejam semelhantes aos resíduos domésticos. Podem ser classificados nas seguintes sub-categorias:

- **Resíduos Sólidos Domésticos** - são os resíduos provenientes de unidades e conjuntos habitacionais.
- **Resíduos Sólidos Públicos** - são os resíduos resultantes da limpeza das vias públicas, jardins e outros espaços públicos, em geral, incluindo os resíduos contidos em papeléiras e outros recipientes com idêntica finalidade.
- **Resíduos Sólidos Comerciais** - são os resíduos resultantes da actividade de estabelecimentos comerciais, do sector de serviços, da hotelaria ou de estabelecimentos similares de hotelaria, e de estabelecimentos de utilização colectiva que, pela sua natureza ou composição, se possam considerar semelhantes aos resíduos domésticos.
- **Resíduos Sólidos Industriais Equiparáveis a Domésticos** - são os resíduos sólidos resultantes da actividade industrial que, pela sua natureza ou composição, se possam considerar

semelhantes aos resíduos domésticos, conforme constante do artº 7º da Portaria 374/87, de 4 de Maio.

- **Resíduos Sólidos Hospitalares Equiparáveis a Domésticos** - são os resíduos sólidos resultantes da actividade de hospitais, centros de saúde, clínicas veterinárias, laboratórios de análise clínicas e outros estabelecimentos similares que, pela sua natureza ou composição, se encontrem abrangidos pelos resíduos do grupo B, conforme constante do nº 4 do Despacho 16/90 do Ministro da Saúde, e se possam considerar semelhantes aos resíduos domésticos.

- **Resíduos Sólidos Especiais** - são os resíduos sólidos domésticos, comerciais, industriais equiparáveis a urbanos e hospitalares equiparáveis a urbanos que, pelo seu volume, forma, dimensões, outras características físicas, ou outros motivos julgados pertinentes, necessitem de ser objecto de remoção especial.

- **Entulhos de Obras** - são os escombros, terras, restos de demolições e de quaisquer materiais de construção resultantes de obras públicas ou particulares.

3.1.1.2 Resíduos Sólidos Industriais

São os resíduos sólidos produzidos em actividades ou processos industriais, conforme constante do artº 2º da Portaria 374/87, de 4 de Maio.

3.1.1.3 Resíduos Sólidos Hospitalares

São os resíduos sólidos resultantes da actividade de hospitais, centros de saúde, clínicas veterinárias, laboratórios de análise clínicas e outros estabelecimentos similares, não equiparáveis a resíduos sólidos urbanos.

3.1.2 Classificação segundo as características

3.1.2.1 Resíduos Sólidos Perigosos

São os resíduos que pelas suas características são perigosos para as pessoas, abrangidos pela Directiva Comunitária 91/689/CEE, relativos aos resíduos tóxicos e perigosos.

As principais características que conferem periculosidade a um resíduo são: Explosão; combustibilidade; inflamabilidade; nocividade para a saúde por inalação ingestão ou penetração cutânea; irritabilidade; toxicidade; cancerígenos; infecciosos; corrosivos; teratogénicos e mutagénicos; entre outros.

3.1.2.2 Resíduos Sólidos Inertes

São os resíduos que, quando depositados em aterro, não sofrem transformações físicas, químicas ou biológicas importantes, e que satisfazem as características do eluato definidas nos "Critérios e processos de admissão dos resíduos".

São *inertes* os resíduos que submetidos a um teste de solubilização não tenham nenhum dos seus constituintes solubilizados, em concentrações superiores aos padrões. Como exemplos podemos citar: rochas, tijolos, vidros, plásticos (alguns tipos) e borrachas.

3.1.2.3 Resíduos Sólidos não Perigosos

São os resíduos em que a concentração de eluato³ se situa numa gama entre o valor estipulado para os resíduos inertes e o valor mínimo fixado para os resíduos perigosos nos "Critérios e processos de admissão dos resíduos" e não abrangidos no nº1.

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são classificados neste grupo de resíduos.

A classificação dos resíduos é feita com base nas propriedades físicas, químicas, biológicas ou infecto-contagiosas presentes na sua massa. Não é fácil essa identificação, sendo muitas vezes bastante complexa a identificação de certos produtos.

3.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS (RS)

As mais importantes propriedades físicas dos RS que faremos referência, são a massa específica, o teor de humidade, a capacidade de retenção de água (field capacity), o tamanho e distribuição das partículas constituintes e a permeabilidade dos resíduos compactados.

- **Massa específica**

Definido como a massa do material por unidade de volume, normalmente em kg/m³. Na Quadro 3.1 apresenta-se valores do peso específico e teor de humidade de diversos constituintes dos resíduos sólidos domésticos, urbanos, da indústria, do comércio e da agricultura.

- **Teor de humidade**

O teor de humidade é obtido através da diferença de pesagem da amostra do resíduo intacto e da mesma amostra desidratada numa mufla a 105°C, cuja fórmula é a seguinte:

$$H = \left(\frac{W-d}{W}\right)100$$

em que:

H = teor de humidade em %

W = peso da amostra intacta, g

d = peso da amostra após desidratação a 105°C, g

- **Tamanho e distribuição das partículas**

O tamanho das partículas e a distribuição dos tamanhos de partículas dos componentes dos resíduos é importante do ponto de vista da recuperação de materiais. Especialmente para a separação mecânica as dimensões e a distribuição dos componentes dos resíduos assume papel importante no dimensionamento das peneiras (tamanho e tipo). Os RSU em média apresentam dimensões que variam

³ eluato - definição: solução obtida no ensaio de lixiviação em laboratório.

entre 15 e 25 cm, podendo no entanto também apresentar materiais classificados como monstros, cujas dimensões não permitem a recolha convencional. Para cada caso deverá ser feita uma medição dos componentes.

- **Capacidade de campo (field capacity)**

É a capacidade da massa de resíduos reter água absorvida, sem deixar que a mesma seja descarregada por gravidade para o solo. Excedendo esta capacidade a água que percolar os resíduos constituirá lixiviado. Uma capacidade de retenção de 30% em volume é referida na literatura como normal, porém, depende da característica dos resíduos.

Quadro 3.1 - Massa específica típica e teor de humidade de resíduos sólidos.

Tipo de Resíduo	Peso específico (kg/m ³)		Conteúdo em humidade (% do peso)	
	Intervalo	valor típico	Intervalo	valor típico
Residencial (s/compactação)				
Restos de comida	130 - 480	290	50 - 80	70
Papel	42 - 130	89	4 - 10	6
Cartão	42 - 80	50	4 - 8	5
Plásticos	42 - 130	65	1 - 4	2
Têxteis	42 - 100	65	6 - 15	10
Borracha	100 - 200	130	1 - 4	2
Couro	100 - 261	160	8 - 12	10
Resíduos de jardins	59 - 225	100	30 - 80	60
Madeira	130 - 285	237	15 - 40	20
Vidro	159 - 480	146	1 - 4	2
Latas	50 - 159	89	2 - 4	3
Alumínio	65 - 240	160	2-4	2
Outros metais	130 - 751	320	2-4	3
Lixos, cinzas, etc.	320 - 1000	480	6-12	8
Cinzas	650 - 831	744	6-12	6
R S U:				
No camião compactado	178 - 451	297	15-40	20
Em Aterro Sanitário:				
Compactação normal	362 - 498	451	15-40	25
Bem compactada	590 - 742	599	15-40	25
Comerciais				
Restos de comida (húmidos)	475 - 949	540	50-80	70
Aparelhos / monstros	148 - 202	181	0-2	1

* Cartão parcialmente comprimido manualmente antes de colocado no contentor

Fonte: adaptado de G. Tchobanglous, et al, (1993)

- **Permeabilidade dos resíduos compactados**

A condutividade hidráulica dos resíduos compactados é um parâmetro físico importante, pois é a lei que governa o movimento de fluidos no aterro (permeabilidade dos líquidos e gases na massa de resíduos no aterro). Matematicamente o coeficiente de permeabilidade é expresso pela seguinte equação:

$$K = Cd^2 \frac{\gamma}{\mu} = k \frac{\gamma}{\mu}$$

onde: K = coeficiente de permeabilidade

C = factor de forma, adimensional

d = dimensão média dos poros

γ = massa específica da água

μ = viscosidade dinâmica da água

k = permeabilidade intrínseca ou específica

Valores de $Cd^2 = k$ em aterros sanitários: direcção vertical - 10^{-11} a 10^{-12} m^2 e 10^{-10} m^2 na direcção horizontal.

3.3 PROPRIEDADES QUÍMICAS

Para a determinação das opções de tratamento para os RSU, é importante conhecerem-se as suas propriedades químicas, pois delas depende a sua capacidade de queima e conteúdo energético, imprescindíveis para uma hipótese de incineração com recuperação energética. Os resíduos são basicamente uma combinação de materiais combustíveis e não combustíveis. As principais análises químicas são:

- teor de humidade, realizada a $105 \text{ }^\circ\text{C}$ por 1 ou 2 horas, dependendo do método;
- matéria volátil, realizada a $550 \text{ }^\circ\text{C}$;
- matéria combustível volátil, (perda adicional de peso realizada a 950°C em cadinho coberto);
- Carbono fixo;
- teor de cinzas (peso do resíduo após combustão em cadinho aberto).

O **ponto de fusão das cinzas** é definido como a temperatura na qual as cinzas resultantes da queima dos resíduos forma um clinker (sólido) por fusão e aglomeração das partículas, normalmente a temperaturas entre 1100 e $1200 \text{ }^\circ\text{C}$.

Outras propriedades químicas dos resíduos sólidos mais comuns e com importância na solução do tratamento são as determinações dos conteúdos em C, O, H, N e S, caracterizando assim a composição química da matéria orgânica dos RSU. É usual definir-se o rácio C/N, para efeitos de tratamentos biológicos, designadamente a compostagem.

3.4 PRODUÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

Os resíduos sólidos incluem materiais sólidos ou semi-sólidos provenientes das actividades humanas e que são rejeitados pelos seus produtores.

Os principais factores que influenciam a produção de resíduos sólidos e que o determinam, são:

- nível de vida da população;
- clima e estação do ano;

- modo de vida e hábitos da população;
- novos métodos de embalagem e comercialização de produtos;
- tipo de urbanização e características económicas da região;
- eficiência do serviço de recolha.

Entre o primeiro dos factores mencionados - o nível de vida da população - e a produção de lixo "per capita", existe uma relação directa, isto é, ao aumento do nível de vida corresponde uma maior quantidade de resíduos sólidos produzidos. Nos últimos anos pode citar-se como mais notável o caso dos plásticos cuja importância no conjunto dos componentes usuais do lixo tem vindo a crescer continuamente, admitindo-se que venha a constituir 10% da totalidade dos resíduos sólidos domésticos.

O clima, que depende da situação geográfica da região, tem reflexos no tipo, na quantidade e na composição dos resíduos sólidos produzidos

O modo de vida e os hábitos da população estão ligados à produção de resíduos sólidos, considerando a influência das deslocações diárias entre a casa e o local de trabalho e as deslocações de férias, fins de semana, etc., com os consequentes períodos de ausência dos domicílios.

As actividades económicas também geram resíduos sólidos de grande importância. De facto, zonas comerciais, de escritórios, de repartições públicas, de serviços diversos, etc., produzem quantidades apreciáveis de resíduos sólidos.

3.4.1 Situação em Portugal

Só a partir do funcionamento dos sistemas de resíduos sólidos é que se pode fazer uma avaliação correcta dos quantitativos de resíduos produzidos pela população portuguesa, em cada um dos 30 sistemas. No passado a maioria das autarquias não realiza campanhas de caracterização, conforme estabelecido na legislação, desde o Dec.-Lei 310/95 até ao Dec.-Lei que lhe revogou, o n.º 237/97, dificultando assim a realização de estudos mais rigorosos.

Os dados referentes a captações e produção de resíduos sofrem flutuações que põem em causa estimativas substancialmente alteradas, como se ilustra com o seguinte exemplo:

No Livro Branco Sobre o Estado do Ambiente em Portugal (1991) publicado pelo MARN⁴, fazem-se as seguintes estimativas de produção de resíduos (Quadro 3.2).

Para o distrito do Porto, por se considerar, a par de Lisboa, como os mais fiáveis em termos de resultados por se efectuarem caracterizações sistemáticas e controle de descargas de resíduos, foi prevista uma taxa de crescimento da produção de RSU de cerca de 10% por triénio, tal como em Lisboa, no entanto, a Lipor constatou na prática, que tem sido de cerca de 10% ao ano. Com efeito, os factores que influenciam a produção de resíduos sólidos são variados e impossíveis de se quantificarem com rigor, situação que se agrava quando não existem séries históricas, como é o caso da maioria das municipalidades portuguesas.

Dos estudos da Lipor pode chamar-se a atenção para outro aspecto referente a Matosinhos e Vila do Conde: por falta de elementos das quantidades de resíduos recolhidos ao destino final, foram feitas correlações para estimar as quantidades, apresentando uma produção de 74.359 ton em 1994 para o

⁴ Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais

concelho de *Matosinhos*. Ora, na realidade deram entrada no aterro sanitário deste município 120.930 ton de materiais, sendo 93.400 ton de resíduos sólidos urbanos, resultados obtidos no aterro sanitário de Matosinhos que controla a entrada de todos os resíduos. Este aspecto é referido para ilustrar a importância do controle.

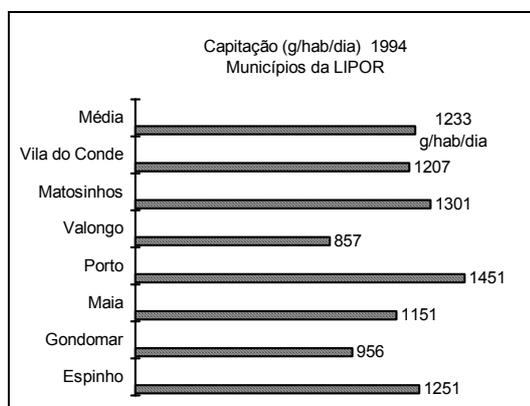
Quadro 3.2 - Estimativa da capitação de RSU em g/ hab/dia

Distritos	1987	1990	1993 ¹
Aveiro	702	750	798
Beja	548	590	632
Braga	632	680	728
Bragança	542	590	638
C. Branco	641	740	839
Coimbra	858	990	1122
Évora	565	610	655
Faro	656	710	764
Guarda	642	720	798
Leiria	672	720	768
Lisboa	789	840	891
Portalegre	555	600	645
Porto	756	810	864
Santarém	699	750	801
Setúbal	746	800	854
V. do Castelo	615	660	705
V. Real	555	600	645
Viscu	628	700	772
Média	707	766	825

1 - Estimativa

Valores relativos a 1994 provenientes da LIPOR indicavam, para os seus concelhos as seguintes capitações (Figura 3.2).

Figura 3.2 - Capitação nos municípios da Lipor



3.4.2 Composição qualitativa dos resíduos sólidos

A caracterização dos RSU não é importante apenas em termos quantitativos, também a sua composição qualitativa é decisiva para a determinação do sistema de gestão e do método de tratamento

dos mesmos, bem como para a implementação de formas avançadas de valorização dos resíduos, com ênfase para as recolhas selectivas. De facto, o conhecimento do tipo e quantidades de resíduos produzidos num concelho ou numa região, determinará a viabilidade técnico-económica de soluções e que políticas de resíduos deverão ser seguidas. Não se deve negligenciar a componente económica auto-sustentável em políticas de valorização dos resíduos, sob pena de se desestimular a capacidade empreendedora privada na indústria recicladora a jusante de todo este sistema.

Para um conhecimento rigoroso da situação seriam necessários dados históricos fiáveis e actuais respeitantes à caracterização qualitativa de resíduos municipais. Como se sabe, a quase inexistência de campanhas de caracterização, impede a realização de estudos com base em séries históricas. Para ilustrar faz-se uma abordagem com dados recentes de países estrangeiros e análise de dados portugueses disponíveis, no caso de municípios da Área Metropolitana do Porto, coligidos pela Lipor.

Tal análise, reportada a países da Europa Ocidental, poderá contribuir, numa primeira aproximação, para perspectivar a tendência de evolução da composição qualitativa dos resíduos curto/médio prazo, para além de balizar a sua actual composição.

Quadro 3.3 - Composição física dos RSU em percentagem da massa

	Ano	Matéria Orgânica e Finos	Papel e Cartão	Plásticos	Metais	Vidro	Outros ¹
Espinho	1993	56,0	19,2	10,4	2,4	4,4	7,6
Gondomar	1993	56,6	16,7	11,3	2,2	3,8	9,5
Maia	1993	57,3	17,1	11,0	2,2	3,9	8,6
Porto	1993	51,7	23,2	11,4	2,0	4,0	7,6
Valongo	1993	54,9	20,3	10,9	2,2	3,4	8,4
Matosinhos	1994	57,4-63,5	7,5-16,4	13,2-22,1	0,8-2,2	1,6-3,7	5,2-9,7
V. do Conde	1993	58,3	15,4	9,7	2,1	4,0	10,4
Lisboa	1982	57,4	18,8	7,8	1,9	3,8	10,3
Lisboa	1988	47,4	25,9	9,4	2,5	4,6	10,2
Holanda	1988	50,5	22,8	6,8	4,4	7,2	8,3
Itália - global	1988	60,4	22,3	7,2	3,0	7,1	0,0
Itália - sul (1988)	1988	67,4	18,5	6,6	2,5	5,0	0,0

1 - inclui trapos/textéis

Na análise dos dados apresentados deve-se ter em atenção alguma discrepância nos critérios de classificação dos materiais, designadamente no caso italiano em que não há os materiais classificados na coluna "outros" por estarem incluídos na matéria orgânica e finos.

A comparação dos resultados obtidos nos municípios portugueses com os provenientes quer da Holanda quer da Itália, valores que poderão expressar de algum modo a tendência de evolução a curto/médio prazo da composição física dos resíduos no nosso país, sugere de imediato um conjunto de observações:

O conjunto de finos e matéria orgânica apresenta menores valores nos países em questão (ter em conta o comentário já feito a propósito dos valores italianos). Lisboa segue a tendência dos países mais desenvolvidos.

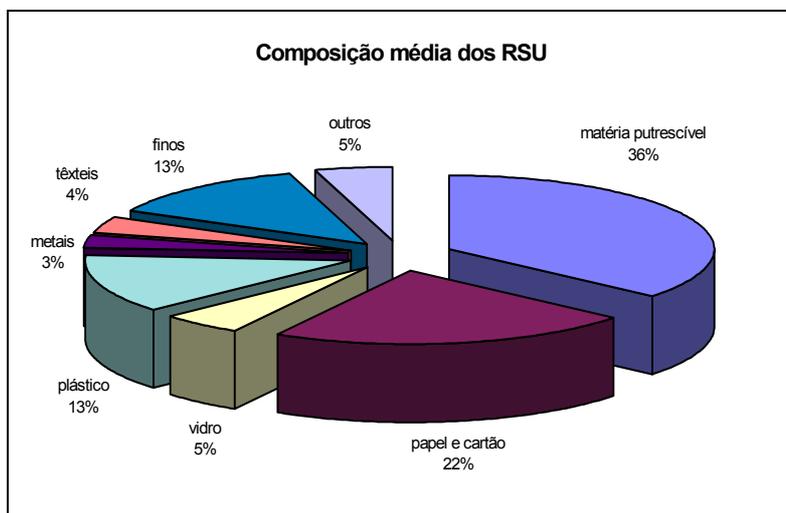
O peso relativo do papel e do cartão é substancialmente maior nos países estrangeiros. Lisboa também segue uma tendência industrializada.

O peso relativo do vidro é igualmente consideravelmente superior quer na Holanda, quer em Itália.

Ao invés dos anteriores, os plásticos aparecem com maior expressão nos municípios do Grande Porto, o que sugere a implementação, naqueles países, de políticas de reciclagem. Lisboa apresenta uma evolução no consumo de plástico, tal como nos restantes municípios portugueses.

Note-se, por fim, que os valores relativos ao sul de Itália, região menos desenvolvida que o norte daquele país, se aproximam significativamente dos valores portugueses.

No gráfico da Figura 3.3 apresenta-se a composição média dos resíduos sólidos produzidos pelos portugueses, com base em levantamentos estatísticos levados a efeito através das informações dadas pelos municípios que têm essa caracterização feita.



Fonte: Adaptado de Ferreira, F. C., 1993

Figura 3.3 - Composição média dos RSU em Portugal

Os últimos dados (1998) sugerem a seguinte composição de RSU em Portugal:

Componente	% RSU
Papel e cartão	26.4
Vidro	7.40
Plástico	11.05
Metais	2.75
Têxteis	2.60
Madeira em embalagens	0.50
Materiais fermentáveis	26.50
Verdes	3.15
Finos	14.25
Outros	5.35

Com base na composição dos RSU e no conhecimento da população é possível projectar-se um sistema adequado para uma determinada municipalidade ou associação de municípios e determinar-se que taxas de reintegração ambiental serão possíveis alcançar, o dimensionamento da capacidade de contentorização e dispositivos de recolha multimaterial, bem como definir os circuitos selectivos e indiferenciados.

4. COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

A fracção de resíduos orgânicos continua a ser a maior das fracções presentes nos RSU, sendo, por outro lado, produzida em outras actividades, designadamente agropecuárias, agrícolas e certas industriais. A compostagem pode transformar esses resíduos em composto orgânico, rico em húmus e de grande aplicabilidade no melhoramento do solo e das culturas (Figura 4.1).



Figura 4.1 – De resíduos sólido até à utilização como composto na agricultura

4.1 CONCEITOS EM COMPOSTAGEM

Na Portaria nº 15/96 de 23 de Janeiro, na alínea i) do nº3 define-se compostagem como um “processo de reciclagem onde há degradação biológica aeróbia ou anaeróbia de resíduos orgânicos de modo a proceder à sua estabilização, produzindo uma substância húmica, utilizável em algumas circunstâncias como condicionador do solo”. Constitui uma definição pouco seguida pela maioria dos autores e ao arripio do conceito moderno de compostagem, que é considerado um processo estritamente aeróbio. Também é uma definição redutora quanto à aplicação do composto produzido.

Obviamente que não há ainda uma universalização do conceito de compostagem, apesar de modernamente ser considerado um processo aeróbio que se desenvolve obedecendo a determinados parâmetros de controlo. De facto, ainda há alguns autores que consideram a compostagem um processo que pode ser aeróbio e anaeróbio. Algumas vezes só a temperatura é referida, como um processo auto-suficiente no arranque e aquecimento e, em certas circunstâncias, auto limitante (Finstein *et al.*, 1982).

Outra definição de compostagem é dada por Haug, em 1980 que a considera um processo aeróbio de decomposição que produz calor que é conservado na massa de acordo com factores físicos tais como: capacidade calorífica, radiação e convecção. O mesmo autor dá uma definição mais lata, treze anos depois (Haug, R. T., 1993) considerando a compostagem um processo biológico de decomposição e estabilização de substratos orgânicos, sob condições que permitam o desenvolvimento de temperaturas termófilas, resultando na produção de calor por via biológica, para produzir um

produto final estável, livre de microrganismos patogénicos e de sementes de ervas daninhas, que pode ser aplicado no beneficiamento de solos.

No entanto, abre caminho para considerar a compostagem aeróbia e a compostagem anaeróbia, apesar de ser pouco provável atingir-se temperaturas termófilas ($> 45^{\circ}\text{C}$) nos processos anaeróbios de compostagem. Em experiências realizadas com material para compostagem, submetidos a anaerobiose, não se conseguiu passar da faixa de temperaturas mesófilas ($<35^{\circ}\text{C}$).

Entretanto, uma definição completa e actualizada considera a compostagem como um processo aeróbio controlado, desenvolvido por uma população de microrganismos, que se realiza em duas fases distintas: na primeira ocorrem reacções bioquímicas de degradação, predominantemente termófilas, e na segunda fase, ou de maturação, ocorre a humificação (Pereira Neto, 1987). Esta definição distingue o processo de compostagem do processo de decomposição ordinária que ocorre na natureza (Golueke, 1977). Com efeito, a compostagem é um processo de tratamento de resíduos sólidos orgânicos com grande flexibilidade operacional, combinando-se baixo custo e alta eficiência num só sistema.

Nyns, E. J. em 1986, segundo (Russo, M. A. T. 1998) propõe uma nova forma de compostagem da qual resulta biogás e composto orgânico em duas fases. Segundo ele, a primeira fase, de biometanização, ocorre sob condições anaeróbias de fermentação e produz o biogás; a segunda fase trata o remanescente, cerca de 60%, aerobiamente por compostagem para a produção de fertilizante orgânico estabilizado, controlando a relação C/N em níveis elevados, pela adição de resíduos ricos em azoto, como estrumes, para mobilização do azoto inorgânico (NH_4^+ e NH_3) em azoto orgânico.

Também Verdonck et al (1985) afirmam que a fracção orgânica dos RSU pode ser tratada e estabilizada por um novo processo denominado Dranco, com recuperação de energia sob a forma de biogás por fermentação termófila anaeróbia, e o remanescente tratado por compostagem para a produção de material orgânico humificado. Neste processo, estudado em escala piloto, os autores afirmam ser possível a produção de 180 m^3 de biogás por tonelada de resíduos orgânicos processados em 3 meses. De realçar que as reacções anaeróbias são caracterizadas por serem criófilas e os processos de compostagem serem considerados aeróbios controlados.

Outras experiências mostram a viabilidade do tratamento de lamas de ETAR e outros resíduos agrícolas e industriais por compostagem e co-compostagem, com resultados positivos.

4.2 MECANISMOS DA DECOMPOSIÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA

4.2.1 Introdução

Uma das funções dos microrganismos presentes na natureza é a degradação da matéria orgânica presente em meios hídricos e em resíduos sólidos. Assim, o conhecimento da composição microbiana e do seu metabolismo são factores-chave para se conhecer os mecanismos de decomposição da matéria orgânica.

Numerosos testes em diferentes bactérias indicam que, em média, são constituídas por 90% de água e 20 % de matéria sólida. Desta, cerca de 90% é orgânica e 10% inorgânica (Russo, M.A.T, 1998). Em termos de composição elementar muitas células microbianas contêm cerca de 45 a 55% de carbono, 16 a 22% de oxigénio, 12 a 16 % de azoto, 7 a 10% de H, 2 a 5 % de fósforo e percentagens abaixo de 0.5% de micronutrientes como o sódio, cálcio, magnésio, cloro e ferro, além de elementos vestigiais de molibdénio, cobalto, manganês e zinco (Figura 4.2).

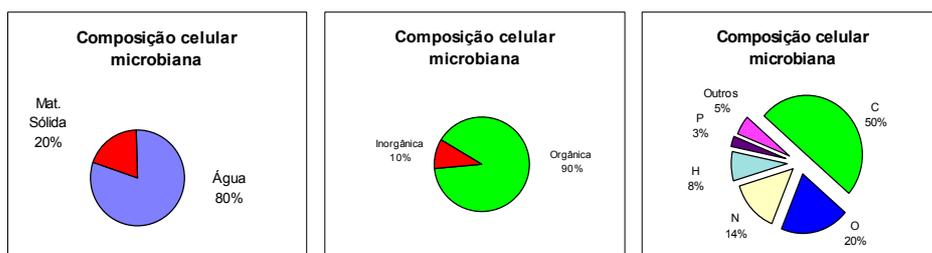


Figura 4.2 - Composição celular microbiana global, em matéria sólida e matéria orgânica

4.2.2 Decomposição da Celulose, Hemicelulose, Lenhina e Proteínas

A maior parte dos compostos cuja origem são plantas, podem ser considerados lenhinoceulósicos. Colectivamente os componentes celulósicos são referidos como holocelulose e consistem de celulose e hemicelulose (Lynch, 1985). A celulose é um hidrato de carbono constituído por glucose e a hemicelulose um polímero heterogéneo de hexoses e pentoses, muito abundante em resíduos sólidos urbanos e lamas de esgotos. Por seu lado, a lenhina é um polímero baseado em três ácidos fenólicos.

Os menores constituintes de certas lenhinoceuloses (madeiras, palha de arroz e de trigo, bambu, bagaço de cana, etc.) são proteínas, pectinas, lípidos e minerais (com base no peso), enquanto que os maiores constituintes são a celulose, com 30 a 44%, a hemicelulose com 18 a 39% e a lenhina com 12 a 28%. As fibras do algodão contêm de 80-95 % de celulose e de 5 a 20% de hemicelulose (Lynch, 1985).

Os principais factores que afectam o metabolismo de decomposição da celulose são: a disponibilidade de azoto, o arejamento, a temperatura, a humidade, o pH, a presença de outros hidratos de carbono e a presença de lenhina (Cowling, *et al*, 1976; Pereira Neto, 1987), sugerindo que a aplicação de azoto inorgânico em materiais celulósicos em compostagem (de elevado C/N) acelera a sua decomposição.

A decomposição deste tipo de material é realizada pela acção de microrganismos criófilos/mesófilos e termófilos, nas faixas de temperatura que vão dos 20 a 28 °C (bactérias da decomposição da celulose) a faixas termófilas de 45 a 55 °C (fungos) e 50 a 55 °C (actinomicetos), assumindo-se as bactérias aeróbias, os fungos e os actinomicetos como os organismos decompositores mais eficientes.

Assim, teores de humidade acima de 70%, ao criarem condições de anaerobiose, reduzem a decomposição destes materiais, por si só já de difícil decomposição (Lossin, 1971; Finstein, *et al*, 1982). Daqui se pode retirar que a humidade óptima está no intervalo de 40 a 60%.

Quadro 4.1 - Efeitos do composto nas propriedades físico-químicas do solo

Propriedade do solo	taxa de aplicação (ton/acre)	alterações
Matéria Orgânica	18 - 146	6 - 163% aumento
Capacidade de retenção de água	7 - 16	5 - 43% aumento a 0 - 1 atm de pressão
Densidade	20 - 146	4 - 71% diminui
PH	20 - 146	0.8 - 1.4% aumento
CTC	57 - 228	31 - 94% aumento
Macronutrientes	20 - 146	2 - 136 aumento
Micronutrientes	18 - 446	0 - 500% aumento

4.3 FACTORES QUE AFECTAM O PROCESSO DA COMPOSTAGEM

O processo da compostagem é um processo onde microrganismos diversificados são responsáveis pela degradação da matéria orgânica. Assim sendo, os factores que afectam o processo são os que determinam a existência duma população diversificada de microrganismos necessários para completar a degradação, como sejam: o oxigénio para suprir a demanda biológica, a temperatura que afecta a velocidade das reacções bioquímicas, e a água (expressa em termos de humidade), sem a qual não se processam as actividades metabólicas.

Além destes factores ambientais, também é preciso nutrientes balanceados, expressos pela relação C/N, em quantidade adequadas para que os microrganismos possam exercer a sua actividade. Outro factor que afecta o processo é de ordem operacional, o tamanho das partículas, ou seja, a granulometria que influencia o arejamento e a estabilidade geométrica das pilhas ou leiras.

Pereira Neto, *et al.*, (1986); Diaz, *et al.*, (1993) reconhecem que o arejamento, a temperatura, o teor de humidade, a concentração de nutrientes e a granulometria do material são os principais factores que afectam a compostagem.

4.3.1 Arejamento da Massa em Compostagem

O ar contido nos interstícios da massa de material em compostagem é importante para o metabolismo e tipo de microrganismos envolvidos no processo. O dióxido de carbono aumenta gradualmente enquanto o oxigénio vai diminuindo. Em média a constituição de CO₂ + O₂ nos interstícios é de cerca de 20%; a concentração em oxigénio é de 15 a 20% e a do CO₂ é de 0.5 a 5% (MacGregor, S.T. *et al.*, 1981). Quando o oxigénio cai abaixo deste nível os microrganismos aeróbios começam a rarear e aparecem os anaeróbios, processando-se, como consequência desta nova colonização, a respiração anaeróbia e a fermentação, que não caracterizam a compostagem.

O arejamento da massa em compostagem deve ser constante para que não se alterem as actividades metabólicas dos microrganismos e o processo de degradação da matéria orgânica seja mais rápido por via da oxidação de moléculas orgânicas presentes na massa. O arejamento é o factor mais importante para o controlo de diversos parâmetros da compostagem, dadas as funções de: suprimento de oxigénio para os microrganismos, por forma a que este nunca seja inferior ao mínimo exigido aerobiamente; factor de controlo da temperatura, evitando o excesso de temperatura e de humidade no processo de compostagem; e remoção de odores (Epstein *et al.*, 1976; Pereira Neto, 1986).

Níveis inadequados de oxigenação podem levar ao crescimento de microrganismos anaeróbios, causando assim emanação de gases de cheiro desagradável. Ao contrário, uma oxigenação adequada minimiza este inconveniente. Deve realçar-se que num sistema de compostagem é muito difícil eliminar completamente cheiros desagradáveis, mesmo com uma boa operação do sistema. Com efeito, a heterogeneidade dos materiais que aparecem na corrente dos resíduos potenciam o aparecimento de bolsões anaeróbios nas leiras em compostagem, potenciando o aparecimento de gases como a amónia. Deste modo, não dispensam um sistema de prevenção de odores, como filtros biológicos.

4.3.2 Temperatura

Altas temperaturas têm sido consideradas necessárias para uma boa compostagem. No entanto, há limites a controlar, porque temperatura excessiva (80°C) por longos períodos é prejudicial

ao processo devido à inibição do crescimento e mesmo à morte de microrganismos não termo tolerantes, reduzindo deste modo a taxa de decomposição.

Epstein *et al.*, (1986); Pereira Neto (1986); Diaz, *et al.*, (1993) confirmam que a temperatura revela mais sobre o processo de compostagem, que qualquer outro simples parâmetro.

Com efeito, a temperatura influencia a velocidade de degradação da matéria orgânica através da actividade microbiana até certo valor, a partir do qual é prejudicial porque os elimina. O excesso de temperatura também pode inibir a acção de enzimas, retardando a actividade dos microrganismos e, conseqüentemente o processo de compostagem.

A temperatura tem um efeito sobre a taxa de consumo de oxigénio pelos microrganismos, tendo sido constatado que o valor óptimo ronda os 50 a 55°C (Finstein, 1982). Outros estudos realizados sugerem valores entre 45 e 70°C como óptimos, por Waskman, (1939); Mckinley *et al.*, (1985). Não há consenso e provavelmente não poderá haver uma uniformização de um valor óptimo de temperatura devido aos restantes factores que influenciam igualmente a degradação.

A manutenção de temperaturas termófilas na fase de degradação activa, acelera a decomposição da matéria orgânica, promove a eliminação de microrganismos patogénicos e elimina ovos de helmintos, ovos de insectos e sementes de ervas daninhas (Pereira Neto, 1987).

Numa leira ou pilha em compostagem, as temperaturas desenvolvem-se do interior para o exterior de forma decrescente, quando aeróbias, com um perfil típico, como o representado na Figura 4.3.

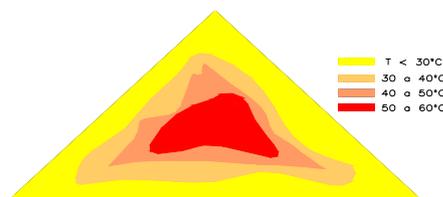


Figura 4.3 - Perfil típico de temperatura numa pilha aeróbica

Richard, T. L. (1992) afirma que o intervalo de temperaturas entre 45 e 59 °C é o que mais favorece a decomposição da matéria orgânica.

Muitos estudos continuam a ser feitos de modo a estabelecer a temperatura óptima para a compostagem e a sua relação com os microrganismos envolvidos na degradação da matéria orgânica (Clark *et al.*, 1983; Nakasaki *et al.* 1985 a; 1985 b; 1988). Assim, bactérias termofílicas e actinomicetos termofílicos aparecem na massa em compostagem com temperaturas na faixa dos 70°C. Entretanto, Crook *et al.*, (1988) verificaram que na compostagem de resíduos orgânicos de origem doméstica, a 55 °C, ao fim de 1 mês, os fungos duplicam 400 vezes e as bactérias termofílicas duplicam 4700 vezes. Já Millner *et al.*, (1977); Jappinen *et al.*, (1987); Olenchock *et al.*, (1991), investigando a compostagem de cavacos de madeira misturados com lamas de ETAR, encontraram um apreciável número de fungos, com *Aspergillus fumigatus* como espécie dominante.

4.3.3 Teor de Humidade

A humidade é um dos factores cujo controlo é da máxima importância nos processos de compostagem. Teoricamente deveria ser de 100%, para fornecimento de água necessária aos microrganismos para a degradação da matéria orgânica, porém, factores operacionais limitam este teor em torno de 45 a 60 % (Golueke, 1977; Cardenas, 1979). Pereira Neto (1986) chegou a importantes conclusões sobre o teor de humidade nos processos de compostagem. Assim, no início do processo 60% é um valor aconselhável; teor de humidade inferior a 30% inibe a actividade microbiana; durante o processo não deverá cair abaixo de 40%, para não se tornar limitante do processo.

4.3.4 Relação C/N

Decorre da própria definição de compostagem, como processo biológico, que os elementos C e N são fundamentais, pois constituem elementos presentes nas células microbianas presentes no processo, em que C representa em média 50% e N de 2 a 8%. A relação C/N depende do microrganismo e do meio de crescimento, onde $\frac{2}{3}$ do carbono se perde como CO_2 e $\frac{1}{3}$ se combina com o azoto nas reacções celulares.

O carbono tem 3 funções fisiológicas principais: a) é constituinte do material celular; b) funciona como electrão dador em metabolismos energéticos (respiração de substratos orgânicos e fermentação); c) funciona como electrão receptor em reacções metabólicas de energia (fermentação, redução do CO_2 em CH_4).

Por seu lado, o azoto: a) é constituinte de proteínas, ácido nucleico, co-enzimas e aminoácidos; b) funciona como electrão dador em reacções metabólicas de energia de certas bactérias; c) na forma de nitrato e de nitrito actua como electrão receptor em reacções metabólicas de energia da bactéria da desnitrificação sob condições anaeróbias.

Basicamente a relação C/N é utilizada como bom indicador da estabilidade biológica do composto (Morel, *et al.*, 1985), definindo a qualidade do produto resultante da compostagem de resíduos urbanos.

Este parâmetro não dispensa uma interpretação com base nas características iniciais do produto, constituindo melhor avaliação a análise dos valores C/N inicial e final (Morel, *et al.*, 1985; Pereira Neto, 1987).

Deste modo, a relação C/N tem sido objecto de pesquisa por parte de muitos autores, que propuseram relações óptimas para a compostagem (Quadro 4.2).

Alguns autores apresentam um intervalo de variação que reflectirá melhor os mecanismos metabólicos envolvidos. Com efeito, a disponibilidade de C é a maior fonte de energia para os microrganismos, porém a sua eficiência não é 100% e a demanda de C é maior que a do N. Apesar da grande diferença de demandas, a carência de N é limitante no processo, por ser essencial para o crescimento e reprodução celular.

Quando parte do carbono disponível é de difícil ataque, como a lenhina, celulose e hemicelulose, será aconselhável uma relação C/N maior, pois o C biodisponível é inferior ao C total. Quando há um decréscimo da C/N inicial de 35 a 40/1 para uma relação final de 18 a 20/1, traduz-se normalmente por um avanço no grau de maturação. Por outro lado, se o material a compostar for rico em azoto, ou seja, com baixa C/N (10/1 ou inferior), com o avanço da degradação a relação tende a aumentar devido à perda do azoto (Zucconi, *et al.*, 1987).

Apesar dos valores sugeridos pelos pesquisadores para a óptima relação C/N para a compostagem, constata-se que não poderá ser um “*ratio*” absoluto, mas que varia com as características do material a compostar.

Quadro 4.2 - Relações de C/N ótimas para a compostagem

Relação C/N	Autor	Ano
30-35/1	Gotaas, H.B.	1959
30/1	Haug, R. T.	1980
< 20/1	Cardenas <i>et al</i>	1980
20-30/1	Golueke, C. G.	1981
5 e 20/1	Chanyasak, <i>et al.</i>	1981
25/1	Bertoldi <i>et al</i>	1983
30-40/1	Pereira Neto, J. T.	1989
25/1 a 40/1	Richard, T. L..	1992

Em certas circunstâncias a razão C/N pode ser elevada, especialmente se o material a ser compostado for muito rico em C, caso de resíduos de parques de madeiras, em que o carbono não está facilmente disponível para os microrganismos. Nestes casos o valor de C/N elevado não corresponde ao C/N biodisponível, este na realidade mais baixo. Pode elevar-se o ataque dos microrganismos às celuloses e lenhinas triturando o material e misturando-o com material proveniente de instalações pecuárias, ricos em azoto.

A adição de um composto de elevada C/N ao solo, conduz à competição pelo azoto disponível, entre microrganismos e plantas, enquanto que uma relação baixa pode favorecer o desenvolvimento das plantas.

4.3.5 Granulometria do Material

O tamanho das partículas tem importância na oxigenação da massa em compostagem. Sendo demasiado finas, < 2 mm, o arejamento é mais difícil, enquanto que acima de 16 mm facilita o arejamento natural, sem revolvimentos constantes. Por outro lado, quanto menor forem as partículas, maior será a área de ataque pelos microrganismos (Gotaas, 1956; Bertoldi *et al.*, 1983). Deste modo, deve procurar-se um compromisso entre necessidades de arejamento e área exposta a ataque por microrganismos (Diaz *et al.*, 1982).

Para compostagem de resíduos orgânicos de origem urbana, Pereira Neto (1989) recomenda uma granulometria de 20 até 50 mm, por facilitar a oxigenação ao formar uma massa porosa por onde passa o ar rico em oxigénio.

Deste modo, a granulometria influi em diversos parâmetros da compostagem (Kiehl, 1993), designadamente a oxigenação, a humidade e a temperatura.

4.3.6 pH

Matéria orgânica com pH variando de 3 a 11 pode ser compostada, apesar de valores próximos da neutralidade (5.5 a 8) serem considerados os melhores porque é nesta faixa que os microrganismos melhor se adaptam. As bactérias preferem ambientes neutros, enquanto os fungos desenvolvem-se melhor em ambientes completamente ácidos. Em termos práticos, o pH de uma pilha ou leira não pode ser alterado por factores externos operacionais, pelo menos com facilidade. Geralmente inicia-se o processo de compostagem com o pH a cair para valores baixos, próprios da

acção das bactérias formadoras de ácidos na decomposição de material carbonáceo complexo em ácidos orgânicos complexos.

Quando o pH no início da compostagem é elevado, associado a altas temperaturas, causa a perda de azoto por volatilização da amónia (De Bertoldi, M., et Zucconi, F., 1980). Vários autores consideram um dos factores que afectam a compostagem, constituindo o seu controlo durante o processo de difícil concretização. No entanto, Pereira Neto (1987, 1992) constatou nos seus trabalhos que o pH é auto regulado no processo de compostagem, não merecendo, por isso, uma preocupação especial em controlá-lo durante o processo de compostagem.

4.4 VANTAGENS E LIMITAÇÕES DA COMPOSTAGEM

A compostagem pode constituir um processo de tratamento dos resíduos sólidos integrado num sistema de reciclagem de materiais ou como único sistema de tratamento da fracção orgânica dos resíduos.

Entre as principais vantagens dos sistemas de compostagem podemos citar:

- rápida decomposição microbiana e oxidação da matéria orgânica tornando-a estável com mínima produção de odores;
- higienização do material devido às reacções exotérmicas de decomposição;
- a maior parte dos sistemas usam pouca quantidade de energia externa para funcionar, comparando com outros sistemas de tratamento (Pereira Neto, 1987);
- produção de fertilizantes naturais não contaminantes das águas subterrâneas ou superficiais, como acontece com os fertilizantes minerais (químicos, que lixiviam);
- grande flexibilidade em escala de operação (Epstein *et al.*, 1982);
- tratamento menos caro que os outros tipos de tratamento, quando se entra em consideração com os ganhos ambientais resultantes.

Diversos trabalhos demonstram que a compostagem é o único processo que proporciona boa destruição dos microrganismos patogénicos e estabilização da matéria orgânica (Carrington, 1978; Pereira Neto, 1987).

Haug, R. T. (1993) afirma que a compostagem tem imensas vantagens no tratamento de resíduos sólidos. Converte matéria orgânica putrescível em formas refractárias (estáveis), destrói microrganismos patogénicos e promove a desidratação de substâncias altamente húmidas como as lamas de estações de tratamento de águas residuais. A redução da humidade tem vantagens visuais de atractividade do produto para utilização e contribui para a significativa diminuição dos custos de transporte. Todas estas vantagens são obtidas com o mínimo custo de energia externa, dado que a maior parte da energia utilizada é oriunda do próprio processo metabólico.

Vogtmann, *et al.*, (1983), com o objectivo de determinar a degradabilidade de agro-químicos utilizados na agricultura e horticultura, designadamente herbicidas, insecticidas, fungicidas e reguladores de crescimento, presentes em resíduos de origem agrícola e hortícola, realizaram experiências em compostagem, montando pilhas de materiais orgânicos misturando estrume, palha, turfa e agentes agro-químicos, nomeadamente 2 herbicidas (bromofenoxin, 2, 4D) 4 insecticidas (lindane, diazinon, matasystox e parathion) 2 fungicidas (benomyl e propineb) e 2 reguladores de crescimento, um para plantas (CCC) e outro para animais (tylosin).

A compostagem destes materiais decorreu durante 56 e 75 dias, tendo chegado à conclusão que o insecticida matasystox e o regulador tylosin eram totalmente degradados. Os restantes apresentaram 80% de degradação, com excepção do regulador CCC que se degradou 18%.

Estas experiências confirmam que a temperatura e o metabolismo do processo de compostagem foram os responsáveis por esta degradação, assumindo uma importante vantagem ambiental, uma vez que muitos destes agro-químicos são depositados no ambiente através das

actividades agrícolas, podendo ser assimiladas por plantas de crescimento rápido, utilizadas na alimentação humana (muitas delas ingeridas cruas), colocando em risco a saúde pública.

Todas estas vantagens são possíveis quando os processos escolhidos forem os adequados, em tecnologia, projecto e operação. Em caso contrário temos exemplos de vantagens parciais, pelo mau produto resultante e por determinar más relações com a vizinhança das instalações de compostagem devido à emissão de odores, quase sempre ligados às disfunções destas estruturas por um ou vários dos aspectos referidos.

Como limitações ou desvantagens são citadas a necessidade de maior área de terreno disponível que outros processos de tratamento e maior utilização de mão de obra (em certas circunstâncias poderá não ser uma desvantagem, mas exactamente o contrário, por absorver mão-de-obra, quase sempre não especializada).

4.5 METAIS PESADOS

Consideram-se metais pesados os elementos cujas densidades sejam iguais ou superiores a 5.0 g/cm³, compreendendo cerca de 40, onde se incluem elementos como o Pb, Hg, Zn, Cu, Ni, Cd, Cr, Ag, Mg e Fe. No domínio da engenharia sanitária nem todos os metais pesados são críticos, antes, restringindo-se a um número pequeno os que maiores preocupações trazem, sendo os elementos de maior importância, por ocorrerem com frequência em concentrações tóxicas nos resíduos, o chumbo, o zinco, o cobre, o níquel e o cádmio (Coker, E.G. and Matthews, P.J.1983).

4.5.1 Metais Pesados no Solo

Em concentrações vestigiais, muitos destes elementos, tais como, boro, zinco, cobre e níquel, são essenciais para o crescimento das plantas. No entanto, em altas concentrações são inibidores do seu crescimento. Outros elementos, tais como o arsénio, cádmio, chumbo e o mercúrio, são especialmente perigosos para microrganismos do solo, para animais e para o homem através da cadeia alimentar.

O impacto dos metais pesados no crescimento de plantas criadas em solo enriquecido com composto orgânico não depende apenas da concentração destes elementos metálicos (Woodbury, P. B., 1992), mas também das propriedades do solo, tais como o seu pH, o conteúdo em matéria orgânica e capacidade de troca catiónica. Diferentes tipos de plantas reagem muito diferentemente aos metais que possam estar presentes.

Bauduin, *et al.*, (1985) avaliando a concentração de metais pesados no solo após adição de composto com determinadas concentrações destes elementos, constatou que aquela concentração depende da quantidade aplicada no solo e da concentração do metal no composto. Para uma aplicação de composto produzido pela empresa Idelux à taxa de 25 ton/ha os resultados revelaram que as concentrações no solo respeitam os valores recomendados pela UE (Quadro 4.3).

Quadro 4.3 - Concentrações no composto Idelux e no solo (adap. Bauduin, 1985)

Elemento	Composto Idelux (ppm mat seca)	Concentração no solo após aplicação de taxa de 25t/ha (Kg/ha)	Valor recomendado (Kg/ha/ano - UE)
Pb	216	5.1	10
Cd	3.3	0.03	0.10
Cu	548	6.9	10
Ni	48	0.7	2
Zn	1 308	23.1	25
Cr	109	0.9	10

4.5.2 Efeitos dos Metais Pesados nas Plantas

Qualquer elemento, essencial ou útil às plantas, poderá tornar-se tóxico quando fornecido em concentrações excessivas (Malavolta, 1980). Por outro lado, esses mesmos elementos potencialmente tóxicos para as plantas, em condições adequadas de baixas concentrações passam a elementos favoráveis ou estimulantes para as plantas.

O cádmio é adicionado ao solo em pequenas proporções como impurezas dos adubos fosfatados e através das indústrias de zinco. Outras fontes são os óleos lubrificantes e pneus. Nas

lamas de esgotos não tratadas encontram-se concentrações de metais pesados superiores às que são acrescentadas ao solo por vias de adubação. Teores normais em plantas cifram-se entre 0.1 e 1 ppm.

O chumbo é um dos maiores poluentes do meio ambiente, aparecendo nos solos agrícolas em concentrações que variam de 2 a 200 ppm, sobretudo nas camadas mais superficiais. Na planta a acumulação dá-se nas raízes, caules e folhas onde pode ser trocado por electrólitos (Malavolta, 1980).

O crómio tem o poder de estimulante para o milho em concentrações baixas (inferiores a 0.5 ppm) porém altamente tóxico se em concentrações 10 vezes superiores. Apesar da toxicidade do crómio, este metal não está biodisponível, devido à sua fixação pela argila e pela matéria orgânica ou por estarem presentes nos compostos insolúveis de óxidos combinados de Fe e Al (Hewit, 1974). Por outro lado, a capacidade de absorção e transporte de Cr pelas plantas é muito baixa.

O níquel também aparece em baixas concentrações no solo, com menos de 100 ppm. Os sintomas da toxicidade do Ni é semelhante ao da carência de Fe, sugerindo o deslocamento deste por aquele.

O alumínio é abundante na litosfera e responsável pela acidez do solo (Malavolta, 1976). Aparece abundantemente na fracção argilosa do solo. Entretanto, nas plantas, o alumínio tem efeitos tóxicos, contribuindo para a redução da absorção do fósforo. A sua neutralização é conseguida com a adição de cal ao solo.

Com um objectivo de avaliar a transferência dos metais pesados do solo para as plantas, Genevini, *et al.*, (1985), realizaram experiências de crescimento de plantas em vasos cujo substrato era constituído por solo enriquecido com composto contendo concentrações de metais pesados previamente determinados. As conclusões revelaram que as transferências eram insignificantes, sugerindo não haver relação entre os metais pesados no composto e nas plantas.

Por outro lado, nos vasos de referência, que continham areia e metais pesados, em concentrações iguais às adicionadas ao composto, houve transferência de metais pesados para as plantas, sugerindo que a matéria orgânica humificada tem capacidade de mobilização dos metais pesados, constituindo uma vantagem adicional na utilização deste produto no crescimento de vegetais.

4.5.3 Limites de Metais Pesados em Compostos Orgânicos

A maior parte dos países da União Europeia (UE) aprovou normas sobre as especificações que o composto orgânico deve obedecer, para que seja aplicada com fins agrícolas, com especial relevo para os teores de metais pesados (Quadro 4.5). Neste Quadro é patente a diferença entre as várias normas, sendo visível que nos países do norte da Europa (Alemanha, Áustria, Holanda e Bélgica) os limites são mais restritivos que nos países do sul.

Para evitar acentuadas diferenças, considerado também o factor de concorrência entre os Estados Membros, foi constituída uma Comissão Técnica (CT 223) denominada Correctivos Agrícolas e Suportes de Cultura, no âmbito das competências do Comité Europeu de Normalização da UE, com o objectivo de produzir um documento legal normativo sobre estes produtos, onde se inclui o composto orgânico dos RSU. Porém ainda não foram registados quaisquer resultados dos trabalhos desta Comissão.

Na tentativa de desbloquear este impasse, um grupo de peritos enviou à DGXII da UE uma proposta sobre a especificação do composto orgânico para fins agrícolas, designada por proposta de Zucconi & Bertoldi, 1986, igualmente sem consequências.

No Quadro 4.4 estão reproduzidos os valores propostos por Zucconi & Bertoldi (1991), para os teores máximos de metais pesados no composto orgânico.

Quadro 4.4 - Proposta de limites máximos para metais pesados em composto a aplicar em solos agrícolas (Zucconi & Bertoldi)

Metal pesado	Valores máximos em composto (mg/Kg peso seco)		Cargas máximas anuais a aplicar nos solos (Kg/ha)	
	Recomendado	Obrigatório	Recomendado	Obrigatório
Zn	1000	1500	25.0	30.0
Pb	750	1000	10.0	15.0
Cu	300	500	10.0	12.0
Cr	150	200	10.0	-
Ni	50	100	2.0	3.0
As	-	-	0.35	-
Hg	5	5	0.40	-
Cd	5	5	0.10	0.15

A quantificação do teor de metais pesados nos compostos orgânicos não está regulamentada em Portugal, cabendo ao Laboratório Químico Agrícola Rebelo da Silva (LQARS) do Instituto Nacional de Investigação Agrária (INIA), algum apoio aos utilizadores de composto. Em termos de investigação, são poucas as instituições que o fazem, nesta área, destacando-se normalmente instituições do ensino superior.

Quadro 4.5 - Teores máximos em metais pesados nos compostos orgânicos (autorizados e propostos) em vários países europeus (mg/Kg - teores totais reportados à matéria seca)

Metal Pesado	Alemanha		Áustria			Bélgica		Espanha	França AFNOR
	Blue Angel	Norma RAL	ONor m S- 2022	ONorm classe 1	S-2200 classe 2	Agricult.	Parques		
Cd	1	1.5	4	0.7	1	5	5	40	8
Cr	100	100	150	70	70	150	200	750	---
Cu	75	100	400	70	100	100	500	1750	---
Hg	1	1	4	0.7	1	5	5	25	8
Ni	50	50	100	42	60	50	100	400	200
Pb	100	150	500	70	50	600	1000	1200	800
Zn	300	400	1000	210	400	1000	1500	4000	---

4.6 CLASSIFICAÇÃO DE SISTEMAS DE COMPOSTAGEM

De Bertoldi *et al.*, (1985), acompanhados de vários outros autores, consideram a disponibilidade de oxigénio o principal factor que é influenciado pela tecnologia do processo de compostagem. Assim, classificam os sistemas de compostagem quanto ao ambiente, em sistemas abertos e sistemas fechados. Nos primeiros a compostagem é realizada ao ar livre, em pátios de maturação, em pilhas revolvidas ou pilhas estáticas arejadas (“windrow”). Nos segundos, em dispositivos especiais, designados por bioestabilizadores, digestores, torres e células de fermentação.

Outros autores preferem uma classificação segundo a temperatura e a biologia do processo (Golueke, 1977a, 1977b; Cardenas e Wang, 1980; Kiehl, 1985).

Quanto à temperatura, podem ser criofílicos ou psicofílicos, mesofílicos e termofílicos, consoante a temperatura do processo. Quanto à biologia do processo diversos autores classificam em

aeróbios, anaeróbios e mistos, dependendo do tipo de microrganismos presentes no processo operarem com oxigénio, na sua ausência ou facultativamente. No entanto, considera-se que quanto a este último aspecto, a compostagem só pode ser um processo aeróbio, controlado, como definido e entendido modernamente. Um processo anaeróbio é realizado em faixas de temperatura baixas, portanto deficientes em degradação, cujo produto não é humificado e estável.

No entanto, analisando os sistemas disponíveis verificamos que esta classificação pode conduzir a equívocos, designadamente nos sistemas de reviramento que utilizam pavilhões fechados (como a unidade da Koch, em Setúbal) e não são sistemas reactor, ou os sistemas tipo DANO, em que a maior parte do tempo o material é disposto num pátio para degradação e maturação. Só pelo facto de o equipamento ser a componente de custo mais importante se dá, igualmente, relevância ao sistema, quando efectivamente sem a fase de degradação e maturação no pátio, não poderá ser produzido composto.

Deste modo, preferimos utilizar a classificação em sistemas reactor e sistemas não-reactor (Haug, 1993):

a) Sistemas não - Reactor:

- Pilhas reviradas (“windrow”)
- Pilhas Estáticas: - sucção de ar;
 - indução de ar;
 - ventilação alternada (sucção e indução) ou híbrido;
 - indução de ar conjugada com controlo da temperatura.

b) Sistemas Reactor:

- Reactores verticais: - contínuos
 - descontínuos
- Reactores horizontais ou inclinados: - estáticos
 - rotativos

4.6.1 *Sistemas não-Reactor*

Nestes sistemas, o processo decorre em pátios abertos, quer em pilhas ou leiras reviradas, quer através de arejamento forçado em pilhas ou leiras estáticas. Normalmente o arejamento das pilhas reviradas é feito por processos mecânicos diversos que revolvem o material a compostar e formam uma nova pilha ou leira. Apenas em pequenas unidades as pilhas podem ser revolvidas por processos manuais (tal como em programas de investigação em escala piloto). O revolvimento promove a oxigenação necessária para suportar a actividade microbiana.

Nos processos estáticos o arejamento é forçado por sucção ou insuflação, quase sempre seguido de filtragem do ar que fluiu pelo material em compostagem, em filtro biológico, para evitar os maus odores.

Quanto à eficiência do arejamento, o sistema das pilhas estáticas arejadas (PEA) é superior devido ao suprimento de oxigénio de forma constante.

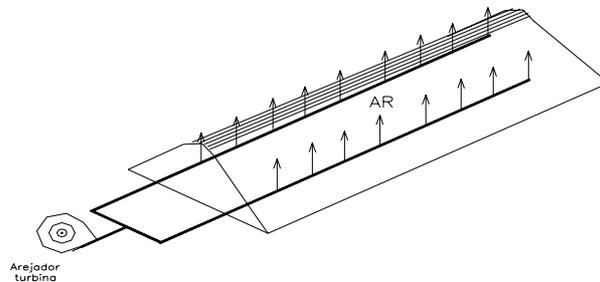


Figura 4.4 – Esquema de pilha estática arejada (modo positivo - insuflação)

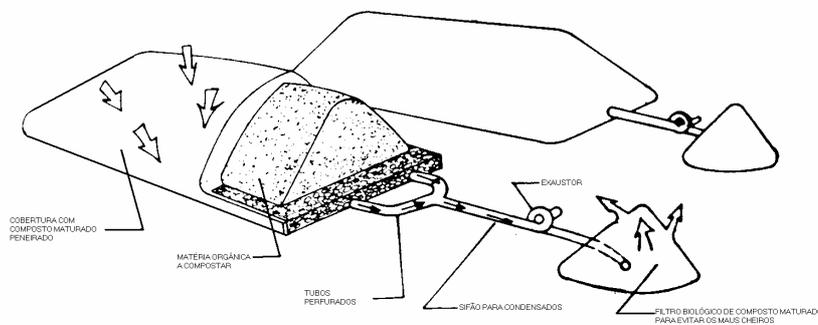


Figura 4.5 - Esquema de uma pilha estática arejada (modo negativo – sucção)

O processo das Pilhas Estáticas Arejadas (PEA) foi desenvolvido nos EUA, pelo Departamento de Agricultura, em Beltsville, razão porque também é referido em alguma literatura com o nome daquela localidade americana, em vez de PEA. Usado para a compostagem de lamas de ETAR, desidratadas, digeridas ou não, misturadas com cavacos de madeira para absorver o excesso de humidade e dotar a pilha de porosidade que favoreça o arejamento. A mistura destes materiais cifrava-se entre 1:2 e 1:3 (v/v). Em resumo pode descrever-se nos seguintes passos a formação da pilha e o arranque da mesma:

- mistura de lamas e aparas de madeira;
- fazer uma “cama” de material poroso, como palha, para cobrir a tubagem de arejamento;

- construção da leira ao longo da tubagem;
- cobertura da leira com composto maturado, para servir de filtro biológico;
- ligar o equipamento de arejamento.

Durante 21 dias o material mantinha-se em degradação activa, findos os quais era desmantelada a pilha e colocada em armazém para posterior peneiramento para separação dos cavacos de madeira do composto produzido, seguindo-se a fase de maturação.

Mais recentemente diversas pesquisas contribuíram para um melhor conhecimento deste sistema, designadamente quanto ao tipo de arejamento e o seu efeito no processo, a eficiência de inibição ou remoção de microrganismos patogénicos, a diminuição da fase de degradação activa e de maturação (Stentiford *et al.* (1983); Leton (1983); Mara, *et al* (1983); Klees (1986); Pereira Neto (1984); Pereira Neto (1987).

Sistema Kiehl

Este processo de compostagem é descrito por Kiehl, (1985) e constitui uma forma de produção de composto em quintas e fazendas, onde há abundância de restos vegetais e animais (Figura 4.6). O primeiro é rico em carbono e pobre em azoto, enquanto o segundo é o oposto, ou seja, rico em azoto e carente em carbono. Os restos animais são meios de cultura por excelência, dado entrarem em fácil decomposição logo que lhes sejam facultadas condições ambientais propícias.

São restos de vegetais: sobras das culturas de cereais, os restos de cortes e capinas, cascas de mamona, amendoins, feijão, etc., ramas de batata, folhas secas das árvores de folha caduca, e outras espécies vegetais que podem ser plantadas em áreas ociosas da propriedade agrícola, como leguminosas de fácil crescimento, cortadas após floração (para garantir semente para futura germinação).

Os meios de fermentação são materiais existentes em propriedades pecuárias e agro-pecuárias, como esterco dos estábulos e camas de animais, cuja característica é a fermentação espontânea quando amontoados e irrigados. Actuam como inoculantes ao serem misturados com os resíduos vegetais.

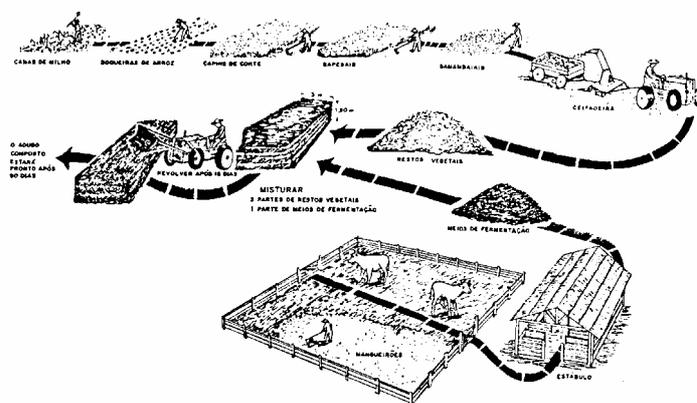


Figura 4.6 - Montagem da leira de materiais orgânicos em meios rurais (Kiehl, 1985)

A produção de composto com estes materiais inicia com a montagem de pilhas com 3 a 4 metros de largura e comprimento em função do material disponível. Dispõe-se o material por camadas sobrepostas, iniciando com restos de vegetais variados com 15 cm de altura, seguida de uma camada de meio de fermentação (esterco) com 5 cm de altura. Segue-se nova camada de restos de vegetais e assim por diante até uma altura de 1.5 a 1.8m. Na montagem destas camadas deve proceder-se à irrigação dos restos vegetais.

Uma leira assim tem meios de fermentação, oxigénio garantido pela diversidade e tamanho dos restos de vegetais, água proveniente da irrigação e uma relação C/N que garante a compostagem destes materiais (alta C/N dos vegetais e baixa C/N dos meios de fermentação). A montagem das leiras deverá ser feita em terreno com leve inclinação para boa drenagem das águas em tempo de chuva. Também deve garantir-se água próximo para a correcção da humidade em épocas estivais.

Deve acompanhar-se o processo através do controlo da temperatura, para se saber se está a operar na fase mesofílica ou termofílica (acima de 50°C). Logo que se atinja esta temperatura, que pode durar de 5 a 10 dias, segundo o autor, promove-se o primeiro revolvimento misturando o melhor possível as várias camadas, irrigando-se ao mesmo tempo. Após o primeiro revolvimento outros 4 ou 5 devem ser promovidos com intervalo de 10 a 15 dias até estar pronto o composto. Entretanto, se for notado excesso de humidade, mau cheiro ou presença excessiva de moscas, deve promover-se revolvimentos imediatos, porque é indicio de anaerobiose.

4.6.2 *Sistemas Reactor*

Como o nome indica, este processo é caracterizado por se processarem os fenómenos de degradação em ambiente fechado. É o sistema que originou mais patentes. Um dos primeiros foi o Beccari, em Itália, patenteado em 1922, considerado como processo acelerado de degradação do lixo urbano. O sistema de reactor de fluxo vertical com arejamento ascendente, patenteado por Earp-Thomas é igualmente um dos mais antigos sistemas fechados. Seguiram-se o sistema francês Carel-Fouche-Languépin, na década de 50; o sistema Fairfield-Hardy (Figura 4.7) reactor circular com agitadores verticais, desenvolvido nos EUA na década de 60; o sistema Di Bartolomeis, patenteado em Itália em 1969, com o objectivo de optimizar o sistema de Fairfield-Hardy, razão porque também é designado sistema Fairfied-Hardy- Di Bartolomeis.

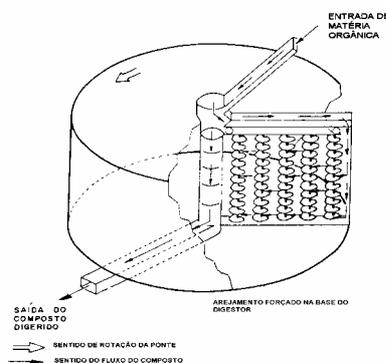


Figura 4.7 - Reactores Fairfield-Hardy de agitação por pás verticais ou hélices. O reactor Snell é similar, de geometria rectangular

Reactores fechados em forma de tanques rectangulares também foram patenteados, destacando-se a patente Snell com 2.44 m de profundidade e inclinação de fundo de 6°, com

arejamento por fluxo ascendente de ar forçado com 4 dias de detenção, dotado de agitação através de ponte com pás verticais para agitação do material.

Diversos sistemas de reactores verticais em diversos andares (torre) foram entretanto patenteados, para produção de composto a partir de RSU. Em 1970 é apresentado um novo sistema de digestor com 8 pisos, patenteado nos Estados Unidos, por Stephen Varro a que se denominou sistema Varro. Além deste destacam-se os sistemas de Frazer-Ewerson, John Thompson, Riker, T.A. Crane, Thermex, Biocell System, Kneer, todos reactores verticais.

Sistemas de reactor horizontal ou levemente inclinado são igualmente patenteados, sendo um dos mais famosos o Dano, sistema de reactor rotativo de largo emprego em todo o mundo, provavelmente o mais popular de todos os sistemas. Outros reactores são os patenteados por Fermascreen, em forma de tambor hexagonal, em que 3 dos lados são crivos. O tempo de detenção neste reactor é de 4 dias.

O sistema Metro-Waste, igualmente um tanque rectangular, com 3 m de profundidade por 6 x 60 a 120 m de comprimento e tempo de detenção de 7 dias, com agitação periódica por reviramento através do "agiloader" no seu movimento sobre trilhos.

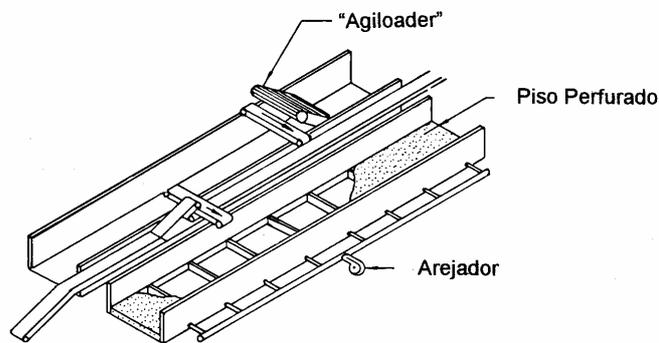


Figura 4.8 - Sistema Metro-Waste (Haug, 1993)

No ano de 1970 mais um sistema é apresentado para a produção rápida de composto, em apenas 48 horas. Trata-se de um reactor fechado na forma de um tanque rectangular cuja patente é da empresa italiana Sorain Cechini, S.A., de Roma.

Sistema Beccari

Este processo de fermentação acelerada dos resíduos urbanos foi desenvolvido pelo Dr. Giovanni Beccari, em Florença, em 1920 para conservar o valor nutritivo do estrume. O digestor era uma simples estrutura cúbica com entrada e saída dos materiais por portas laterais e arrancava anaerobiamente passando a aeróbio através da manipulação de válvulas de ar. O ciclo era de 20 a 40 dias. Posteriormente evoluiu para células fechadas com duas portas ou aberturas, uma para alimentação e outra para a saída do material. Na base das células eram localizados tubos para arejamento do material por forma a que o ambiente se mantivesse aeróbio (Figura 4.9). Na primeira fase de degradação, na célula, o material é atacado por microrganismos aeróbios que se tornam predominantes e iniciam o processo de compostagem.

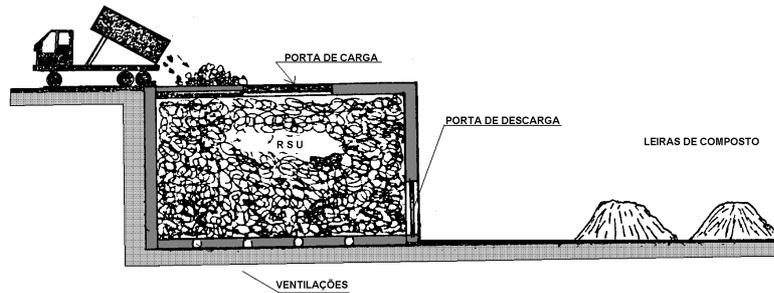


Figura 4.9 - Sistema Becari

A Segunda fase do processo inicia-se com a descarga do material para o pátio, ao ar livre, onde é distribuído por leiras para maturação. O tempo de retenção varia de 40 a 180 dias.

Sistema Carel-Fouché-Languépin

Este sistema reator vertical (Figura 4.10), patenteado na França na década de 50, destinava-se a cidades com produção de 80 toneladas diárias de resíduos. O processo desenvolve-se em cinco fases: recepção em fossa; trituração; crivagem; digestão em reator fechado arejado e maturação.

Após a descarga dos RSU na fossa, uma garra mecânica (pólipo) carrega a tremonha, provida de esteira metálica de transporte, que alimenta o moinho de martelos, onde são fragmentados em partículas de 1 a 7 cm. Os resíduos triturados passam por um processo de crivagem por tamanho, sendo os orgânicos transportados para o digestor composto por 6 células, correspondentes a cada dia que os resíduos ali permanecem, passando de umas células para as outras, sempre arejadas por uma massa de ar forçado para acelerar a digestão. Após o 6º dia o material passa para o pátio para maturação.

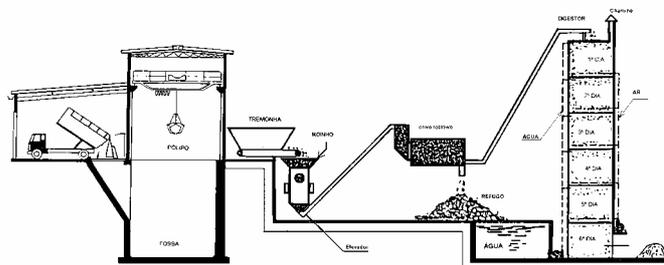


Figura 4.10 - Sistema Carel-Fouché-Languépin

Sistema Dano

Como se disse anteriormente, o sistema de compostagem Dano, desenvolvido pela companhia Dinamarquesa Dano Ltd., é constituído basicamente por um reator quase horizontal, considerado o mais utilizado no mundo (Haug, 1980, 1993; Farias M. (1994). Das primeiras unidades até às mais

modernas muitos melhoramentos mecânicos foram introduzidos, designadamente a separação manual, que as modernas unidades já não possuem, foram substituídas por crivagem mecânica e diversos sistemas de separação, designadamente densimétrica, balística, magnética, etc.

bioestabilizador é um grande tambor rotativo, com leve inclinação, onde entram resíduos numa extremidade, revolvendo-os constantemente, provocando a sua partição por fricção, homogeneizando o conjunto e saem na outra extremidade para uma separação por crivagem e depois para o pátio de maturação.

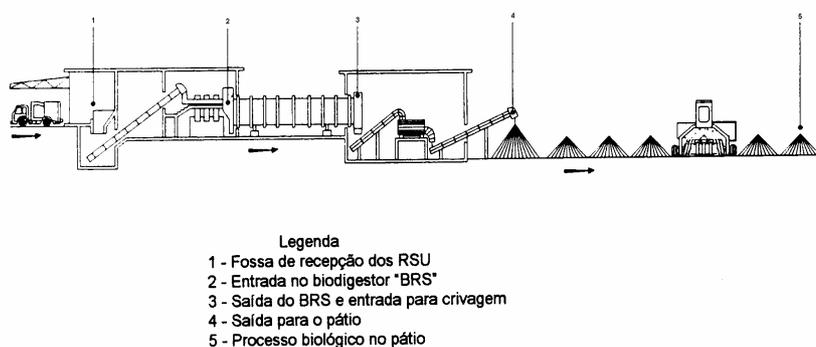


Figura 4.11 - Processo Dano

4.6.3 Sistemas de Compostagem Quanto à Temperatura

Quanto à temperatura, os processos são classificados em criofílicos ou psicofílicos, mesofílicos e termofílicos, de acordo com a faixa de operação dos microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica. Esta classificação depende do intervalo de temperatura a que os microrganismos melhor operam e não há unanimidade entre os investigadores (Quadro 4.6). Considera-se que a faixa termofílica é a ótima para a compostagem (fase de degradação activa), no intervalo de 45 a 65°C (Pereira Neto, 1987).

Quadro 4.6 - Classificação dos processos de compostagem em função da temperatura

Intervalo de temperatura			Autor	Ano
Psicofílica ou Criofílica (°C)	Mesofílica (°C)	Termofílica (°C)		
4 - 15	15 - 45	45 - 65 e incapazes de crescer a t<40°C	Alexander	1977
< 4 ou 5	8 - 50	> 50	Golueke	1977a
	15 - 25	45 - 65	Golueke	1977b
0 - 25	25 - 40	>45	Brock	1970
-	20 - 45	> 55	Stainer <i>et al.</i>	1976
-	10 - 40	40 - 70	Cardenas e Wang	1980
< 20	20 - 40	>40	Biddlestone <i>et al.</i>	1981

4.7 PRÉ-TRATAMENTO

Antes de se iniciar propriamente a compostagem propriamente dita, os materiais passam por um processo, simples ou complexo, de pré-tratamento.

Devido à sua heterogeneidade, uns necessitam de redução do tamanho das partículas, tendo que se submeter a trituração. Outros, tendo excesso de humidade, necessitam de desidratação através da mistura com um material adequado que absorva o excesso de água ou por evaporação, se as condições climáticas e de espaço o permitirem. Outros, ainda, sendo demasiado finos têm tendência para se compactarem, necessitando de uma mistura com material mais granular para aumentar a porosidade e estruturação.

Nos sistemas de compostagem há três objectivos na separação dos materiais, a saber:

- Recuperação de materiais recicláveis ou combustíveis como matéria prima secundária;
- Redução do nível de material inerte visível no composto (vidros, plásticos, pequenos objectos);
- Redução do nível de contaminantes químicos (metais pesados e resíduos tóxicos domésticos, também designados de “pequenas quantidades de resíduos potencialmente perigosos” - PQRPP).

Diversas tecnologias têm vindo a ser adoptadas com estes objectivos, no entanto, para o caso dos metais pesados ou redução genérica de contaminantes químicos, não existe equipamento capaz de os separar quimicamente. Os sistemas mais eficientes de separação utilizam o homem e não sofisticados sistemas tecnológicos. De facto, existem tecnologias eficientes para separar por densidade, pelo tamanho das partículas e pelas características electromagnéticas, porém ainda não há melhor meio de reconhecimento que o homem.

4.7.1 Separação manual

A separação manual pode ocorrer em diversos pontos do fluxo de resíduos na estação, nas esteiras de separação, onde os materiais potencialmente perigosos para o sistema são separados manualmente. Este processo de separação em esteira pode ser o único ou associado a mecanismos de separação tecnologicamente evoluídos.

A separação manual é uma tarefa desconfortável para o homem, exigindo do projecto cuidados ergonómicos para dar conforto e segurança aos trabalhadores. Questões como o posicionamento dos contentores de recepção dos materiais triados, localizados abaixo da plataforma da esteira, a velocidade da esteira, o sistema de alimentação do material a separar, a iluminação, a ventilação e o controlo de poeiras devem ser consideradas fundamentais.

Medidas de protecção da saúde como o uso de óculos, luvas apropriadas e vestuário adequado, devem ser estabelecidas com carácter de obrigatoriedade. Se estas medidas são necessárias em todos os pontos da unidade de tratamento, mais se justifica no sector de separação manual.

4.7.2 Separação por crivagem

A separação por peneiramento é feita através de peneiras rotativas cilíndricas (Figura 4.11), prismáticas ou planas vibratórias, por onde passam as partículas, normalmente classificadas em finas, médias e tamanhos superiores. Estes últimos são plásticos, papéis e cartões, metais e têxteis, que podem ser separados para reciclagem. As peneiras vibratórias são pouco eficientes para os resíduos muito húmidos, enquanto as rotativas são mais eficientes.

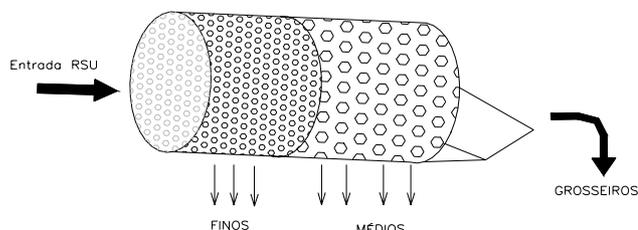


Figura 4.11 - Crivo rotativo tipo tambor

4.7.3 Separação magnética

Na separação magnética tem-se como objectivo separar a fileira dos metais ferrosos. Normalmente são tambores rotativos com magnetos ou correias magnéticas que separam os ferrosos dos restantes metais. A eficiência destes sistemas é sensível à profundidade dos resíduos que passam pelo separador; os ferrosos não serão separados pelo magneto se forem de pequeno tamanho e estiverem acoplados a não ferrosos; assim como se forem de grandes dimensões, carregam resíduos leves, como plásticos e papéis. Nestes casos adoptar-se a separação por ar antes da separação magnética reduz este inconveniente.

4.7.4 Separação pela Corrente de Eddy

A separação pela corrente de Eddy foi desenvolvida para separar metais não ferrosos, como o alumínio e o cobre, que aparecem em grandes quantidades nos resíduos sólidos. Deve ser montado após a separação magnética, para evitar o contacto deste sistema com metais ferrosos. Esta tecnologia utiliza forças repulsivas em materiais bons condutores eléctricos.

4.7.5 Separação por corrente de ar

A separação por ar constitui uma técnica de separação de fracções leves de outras mais pesadas. Basicamente trata-se de uma coluna que recebe resíduos por gravidade enquanto é atravessada por uma corrente de ar vertical em sentido contrário ao fluxo dos resíduos, que separa por densidades os materiais. Por sucção provocada pela turbina, a fracção leve é arrastada para o ciclone. Nestas condições a fracção mais densa cai directamente pela coluna (Figura 4.12)

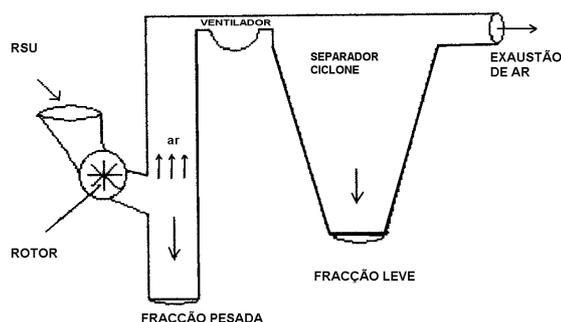


Figura 4.12 - Esquema do processo de separação por corrente de ar

4.7.6 Separação Balística

A separação balística promove a separação de partículas inertes, mais densas (densidade $> 2\text{g/cm}^3$), das orgânicas, menos densas (densidade $< 0.5\text{g/cm}^3$), através da trajetória que estas tomam após serem projectadas por um mecanismo específico, normalmente um rotor que recebe os resíduos e no seu movimento de rotação projecta o material. As partículas orgânicas depositam-se mais perto da projecção, caindo pelos funis correspondentes, enquanto as partículas inertes depositam-se mais longe, sendo assim separadas (Figura 4.13.)

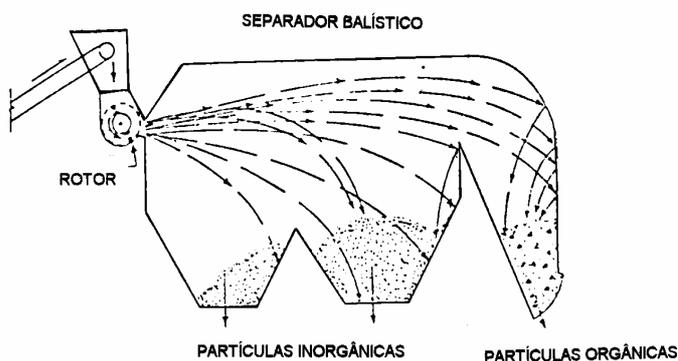


Figura 4.13. - Esquema da separação balística

Esta forma de separação é mais eficiente que a separação densimétrica por ar e pode ser usada tanto na fase inicial do processo como na fase final, para separar as partículas inertes que sobreviveram às separações, removendo pedaços de vidro, plásticos, cerâmicas, pedras, metais. O efeito desta última separação é dotar o produto de um aspecto mais atractivo e completamente inócuo para quem o utilizar. Sob o ponto de vista da remoção de contaminantes químicos, esta separação já não terá influência, porque a eventual contaminação processou-se numa fase anterior.

4.8 CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO COMPOSTO ORGÂNICO

O composto orgânico tem vários usos na agricultura, florestação, horticultura, combate à erosão e na recuperação de solos degradados. Como correctivo de solos pobres, na recuperação de taludes degradados de estradas e no combate à erosão, tem sido utilizado com bons resultados, designadamente com o rápido recobrimento vegetal e boa aderência em zonas inclinadas (Pereira Neto, 1987). É uma fonte de nutrientes para plantas e de matéria orgânica para o solo (Quadro 4.7).

Quadro 4.7 - Quantidades de macronutrientes principais veiculados pelo composto e por alguns adubos simples tradicionais.

Nutriente	Teor no composto reportado à matéria original (%)	Quantidade Veiculada por 10 t/ha (Kg)	Quantidades de Adubos que contêm o mesmo teor de nutrientes (Kg)		
			Sulfato de amónio	Superfosfato simples	Cloreto de potássio
Azoto (N)	1.4	140	700	-	-
Fósforo (P ₂ O ₅)	0.9	90	-	500	-
Potássio (K ₂ O)	1.1	110	-	-	230

A utilização de composto na actividade agronómica depende principalmente de: qualidade do composto, especialmente do conteúdo em matéria orgânica, maturidade do composto, concentração em nutrientes e na presença ou ausência de substâncias potencialmente perigosas e indesejáveis ao ambiente agrário (Zucconi *et al.*, 1981; Zucconi & Bertoldi, 1982; Anderson, 1983; Cossu, R. *et al.*, 1984; Mezzanotti *et al.*, 1986; Genevini, P.L. *et al.*, 1986).

De acordo com as experiências e práticas desenvolvidas ao longo de mais de dezanove anos por Mays *et al.*, (1989), utilizando composto orgânico de RSU, estes autores concluem que a aplicação é benéfica para sustentar elevadas produtividades vegetais e fornecimento de nutrientes às plantas. Em experiências levadas a cabo por Garner (1962) comparando a produtividade de solos beneficiados com composto de RSU e com estrumes pecuários, chegou à conclusão que ambas aumentam a produtividade vegetal, porém os estrumes são mais produtivos.

Tietjen *et al.*, (1969) comprovam em experiências com batatas, que a produtividade é aumentada com composto maturado, enquanto que os compostos não curados ou frescos, diminuem a produção. Van Assche *et al.*, (1982) afirma que acréscimos de composto de RSU em culturas de alface contribuem para o decréscimo da sua produção, em oposição à cultura do aipo, que aumenta.

Destas experiências e respectivas conclusões, fica especialmente claro que no âmbito da aplicação do composto orgânico do solo, este deve ser feito tendo em atenção as características do composto e do solo, da cultura, do clima, entre outros factores e, sobretudo, fica realçada a importância da investigação, em especial as quantidades de composto a aplicação na agricultura para aumento das produtividades vegetais, em função das diversas condições edafo-climáticas (Brito, 1997), características do solo e das culturas.

4.8.1 Aspectos Epidemiológicos da Compostagem

4.8.1.1 Introdução

A crescente consciencialização da necessidade de reutilização e reciclagem de materiais descartados pela sociedade tem levado à implantação de sistemas de recolha selectiva de resíduos

sólidos e correspondentes centros de triagem e unidades de compostagem da fracção orgânica. Nestes centros são recebidos materiais heterogêneos e, certamente colonizados por microrganismos, cujas consequências para a saúde pública e ocupacional são ainda pouco conhecidas e que importa investigar.

Na moderna concepção da compostagem, seja qual for o processo, o mais importante objectivo é maximizar a actividade microbiana durante a fase termofílica do processo (Pereira Neto, 1987), com benefícios na estabilização da matéria orgânica e na higienização da massa em compostagem, tornando o produto seguro e livre de microrganismos patogénicos. Curiosamente, o composto orgânico após a cura é um produto praticamente inócuo e não causa incómodos, no entanto, na fase de processamento é passível de causar diversos incómodos, especialmente quando mal operado, não só à vizinhança (maus odores), como aos trabalhadores da unidade de compostagem (aparecimento de doenças ocupacionais).

É com este espírito que se entende a necessidade do melhor conhecimento da população microbiana presente no processo. Na massa de material orgânico em compostagem encontra-se uma população diversificada de microrganismos, sendo alguns deles patogénicos, causadores de doenças e infecções no homem, animais e plantas. Daí as preocupações sob o ponto de vista epidemiológico na compostagem e da reciclagem.

Com efeito, já no longínquo ano de 1942 em plena 2ª Grande Guerra, notou-se que entre mulheres que separavam roupas velhas para utilização, muitas apresentavam sintomas de doenças do trato gastrointestinal e pulmonar.

Mais recentemente, Sigsgaard *et al.*, (1992a, 1992b, 1993 e 1994) têm estudado o problema da incidência de doenças do trato respiratório entre empregados de unidades de compostagem e de indústrias da reciclagem e similares, na Dinamarca, chegando à conclusão que a incidência é de 30 a 50 % nesses empregados. Na Suécia, Lundholm and Rylander, (1980), constataram que a incidência de doenças intestinais eram de 36% contra 4.5% quando comparado com trabalhadores de estações de tratamento de águas. A indústria da reciclagem na Dinamarca fez um levantamento de doenças ocupacionais dos seus trabalhadores que mostra a prevalência de doenças como dificuldades de respiração, náuseas, vômitos, irritação dos olhos, nariz e garganta, entre os trabalhadores que lidam directamente com a separação dos materiais (Sigsgaard *et al.* 1994a), cuja incidência é muito superior à verificada em trabalhadores das estações de tratamento de águas.

Entretanto, importa notar que se constatou que aquelas doenças ocupacionais ocorrem em unidades com muito baixa frequência de revolvimento dos resíduos orgânicos (Malmros *et al.* 1992, Sigsgaard *et al.* 1992 a).

A patogenicidade não se resume à exposição directa a que poderão estar submetidos os trabalhadores, como também de modo indirecto através da utilização de correctivos orgânicos no solo. Com efeito, estudos referentes à adição de material orgânico no solo, como lamas de ETAR e material orgânico fresco, comprovaram que para reduzir o potencial fitotóxico, é imperativo que ambos sejam objecto de prévia operação de compostagem (Pascual, J. A. *et al.* (1997).

As principais fontes de contaminação química dos materiais orgânicos de residências (dos RSU), são as baterias e pilhas, consumos electrónicos, cerâmicas, lâmpadas fluorescentes, solventes, tintas, cápsulas de garrafas, óleos de motor usados, plásticos, tintas de rótulos. Apesar de serem considerados pequenas quantidades de resíduos potencialmente perigosos, quando recolhidos e misturados contribuem para esta preocupante contaminação. Discute-se, em diversos países, que tipo de materiais devem ser objecto de compostagem para evitar a contaminação na fileira de resíduos domésticos.

4.8.1.2 *Microrganismos Patogénicos Associados à Compostagem*

Diversos microrganismos têm grande importância nos processos metabólicos da compostagem, como já se fez referência, devido à sua acção na transformação de um produto residual orgânico num outro completamente diferente, pronto a ser utilizado. Porém, alguns desses microrganismos são motivo de preocupações especiais em termos de saúde, como é o caso de certos fungos, provavelmente por serem aqueles que têm visibilidade macroscópica.

Com efeito, os fungos são microrganismos muito importantes no processo de compostagem, designadamente na fase de estabilização. Porém, devido à sua grande concentração no ar das instalações de compostagem, algumas estirpes podem contaminar e causar distúrbios aos trabalhadores. Muito se tem escrito sobre a contaminação por fungos, em instalações de compostagem, especialmente acerca da estirpe *Aspergillus fumigatus* causadora da aspergilose, uma doença bronco-pulmonar que ataca o sistema respiratório (Clark *et al*, 1984; Haug, 1993).

No entanto, vários outros relatos não confirmam exactamente esta posição, porque é uma doença comum entre fazendeiros que cultivam cereais, por exemplo, e só por acidente são parasitas (Emmons, 1962).

Com efeito, estudos aprofundados de Hirsch, *et al* (1976) sobre a ocorrência de *Aspergillus fumigatus* em casas de habitação, detectou o fungo em 42% de camas, 56% de casas de banho e 85% em R/C e caves habitáveis. Solomon, W.R. (1974) detectou este fungo em amostras de ar de 150 habitações, no Inverno. Constitui o quarto mais comum dos bolores presentes nas habitações, em todas as estações do ano.

Num trabalho de Cardenas, *et al* (1980), citado por Pereira Neto, (1987), refere-se um relatório da agência americana de protecção do ambiente (USEPA) em que é afirmado não haver qualquer prova, com referência bibliográfica, em que qualquer trabalhador do sector dos resíduos e da sanitária, em geral, tenha sido alguma vez infectado por um fungo, como consequência do manuseamento de resíduos.

Hughes, (1980) vai mais longe e sugere que o aparecimento do *Aspergillus fumigatus* estará mais relacionado com a utilização de produtos celulósicos, aparas de madeira, como agente inoculante nos processos de compostagem.

Estudos sobre a concentração deste fungo em diversas situações são relatados por Austwick, (1963, 1964); Lacey, J. *et al*, (1964); Hudson, (1973); Millner, *et al*, (1977, 1980).

4.9 MÉTODOS ANALÍTICOS EM COMPOSTAGEM

Para se estudar as diferentes fases da degradação da matéria orgânica é necessário a realização periódica de análises de acompanhamento e conhecimento das transformações ocorridas. Deste modo são realizadas análises laboratoriais, com vista à determinação dos parâmetros de avaliação do processo.

De acordo com os parâmetros usualmente analisados, podemos classificar os métodos analíticos em:

- **físicos:** temperatura, porosidade, densidade e oxigênio na pilha;
- **físico-químicos:** teor de inertes, humidade, sólidos voláteis, carbono total e pH;
- **químicos:** proteínas, gorduras, N, P, K, NH₄, NO₃, CQO, Carbono Orgânico, Celulose Bruta e metais pesados;
- **microbiológicos:** coliformes fecais, estreptococos fecais, *E. coli*, *clostridium perfringens*, *salmonellae* e ovos de helmintos;
- **biológicos** (ou agrícolas): testes de germinação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DO CAPÍTULO OU LETTURAS RECOMENDADAS

1. Bertoldi, M. de, Citernes, V. and Griselli, M. (1982) - "Microbial Populations in the Compost Process". In: Composting (The Staff of Compost Science and Land Utilization, Eds), The J. G. Press, Emmaus Pam, USA, 26 pp.
2. Biddlestone, A., J. and Gray, K. R. (1983) - "Compost Application to Municipal and Farm Wastes". The Chem. Engineers vol. 270, pp. 76-80.
3. Cardenas, Jr. R. R. and Wang, L. K. (1980) - "Composting Process". Handbook of Environmental Engineering; Human Press. Cliford N. Y. USA., pp. 269 - 327.
4. Diaz, L.F., Savage, G.M., Eggerth, L. L., Golueke, C. G. (1993) - "Composting and Recycling Municipal Solid Waste". Lewis Pub. 296 pp.
5. Epstein, E., Taylor, J. M. and Chaney, R. L. (1976) - "Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some physical and chemical properties". *Env. Qual.* 5:422-426.
6. Fassi, B. Breesy, G. Jodice, R. (1976) "Organic Fertilisers of Poplar Bark and Other Paper-mill Residuals. Industrial Production and Agronomic Use" Annals of Academy of Agriculture of Turin; 119 pp.
7. Finstein, M. S., Wei-Ru Lin, K., Fischler, G. E. (1982) - "Sludge Composting and Utilization". Review of the Literature on Temperature Inactivation of Pathogens" Cook College. Rutgers, New Jersey, Jan., 29 pp.
8. Finstein, M. S. (1982) - "Temperature Implications for Process Design and Control", in "Composting - Theory and Practice for City, Industry and Farm", Ed. J.G. Press, pp 150-157.
9. Golueke, C. G. (1977) - " Biological Reclamation of Solid Wastes". Rondale Press, Emmaus. 256 pp.
10. Golueke, C. G. (1982b) - "Composting: A Review of Rationale Principle and Public Health". In: Compost-Theory and Praticce for City Industry and Farm. J. G. Press Emmaus. pp. 19 - 25.
11. Kiehl, E. J. (1993) - "Fertilizantes Organominerais, Ed. Edmar J. Kiehl, Av. Brasil 910, CEP 13416-530 Piracicaba, Brasil 189 pp.
12. Lossin, R.D. (1971c) - "Compost Studies Disposing of Animal Wastes Measurement Chemical Oxygen Demand of Compost", *Compost Science*, 6 (2): pp31-32.
13. Lynch J. M., (1985) - "Lignocellulolysis in Composts" in proceedings Compost: Production, Quality and Use, Ed. M. de Bertoldi and F. Zucconi, Elsevier Appl. Sc., London. pp 178-189.
14. MacGregor, S. T., *et al.*, (1981) - "Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature". *Applied Environmental Microbiology*, pp 1000-1009.
15. Malavolta, E (1980) - "Elementos de Nutrição Mineral de Plantas", Editora Agronômica Ceres, Lda., S. Paulo, Brasil. 251pp.

16. Morel, J. L., Colin, F., Germon, J. G., P. and Juste, C. (1985) - "Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse compost", In *Composting of agricultural and other wastes*, pp. 56-72. (Ed. J. K. R. Gasser). Elsevier Applied Science, London.
17. Nakasaki, K., Sasaki, M., Shoda, M. & Kubota, H. (1985b) - "Change in microbial numbers during thermophilic composting of sewage sludge with reference to CO₂ evolution rate". *Applied Environmental Microbiology* 49, 37-41.
18. Obrist, W. (1963) - "Essais sur l' Action des Substances Additionnelles Introduites dans le Matériel Composté en TAS (résidus domestiques broyés)". *Bulletin Inf. G.I.R.O.N.*, Zurich, 19, pp 23-29.
19. Pereira Neto, J. T. (1987) - "On the Treatment of Municipal Refuse and Sewage Sludge Using Aerated Static Pile Composting - a Low Technology Approach". PhD These The University of Leeds, UK. Pp 376.
20. Pereira Neto, J. T. , Stentiford, E. I. and Mara, D. D. (1986c) - "Comparison of Windrow and Aerated Static Piles for Refuse/Sludge Composting", in *International Symposium in Composting Process, Quality and Use*, Udine, Italy, 21 pp.
21. Poincelot, R. P. (1977) - "The Biochemistry of Composting". *Proc. National Conference on Composting of Municipal Refuse and Sludges*. Information Transfer. Inc., Rockville, 23 pp.
22. Roediger, H. J. (1967) - "The Technique of Sewage-Sludge Pasteurization: Actual Results Obtained in Existing Plants; Economy" *International Research Group on Refuse Disposal Information*, Bulletin 21-31.
23. Russell's (1988). *Soil conditions and plant growth* (11th ed). (Ed Alan Wild). London.
24. Russo, M. A. T., (1998) - "Avaliação de parâmetros que influenciam a compostagem de resíduos sólidos orgânicos e a sua importância na qualidade do composto: aplicação a casos de estudo", tese defendida em provas públicas para Prof. Coordenador do IPVC, ESTG/IPVC, Viana do Castelo, 1998.
25. Van Assche, C. and Uyttbroeck, P. (1982). Demand, supply and application possibilities of domestic waste compost in agriculture and horticulture. *Agricultural Wastes* 4:203-212.
26. Verdonk, O., Boodt, M. de, (1985) "Compost as a growing medium for horticultural plants", in *Proceedings Compost: Production, Quality and Use*, Ed. M. de Bertoldi and F. Zucchini, Elsevier Appl. Sc., London.
27. Waksman, S. A. and Skinner, C. E. (1926) - "Microorganisms Concerned in the Decomposition of Cellulose in the Soil". *Jour. Bact.* vol. 12, pp. 57 - 84.
28. Zucchini, F., Forte, M., Bertoldi, M. (1981) - "Biological evaluation of compost maturity" *Biocycle*, v22(4), pp 27 -29.

5. SELECÇÃO DE LOCAIS PARA SISTEMAS DE TRATAMENTO DE RSU

5.1 INTRODUÇÃO

A escolha de locais candidatos à implantação de tecnossistemas de tratamento de RSU, onde se incluem os aterros sanitários, é, porventura, o obstáculo mais difícil de ultrapassar no desenvolvimento destas estruturas sanitárias. Se por um lado o espírito “nimby” (*not in my back yard*) muito característico dos latinos, está aqui presente, por outro, a experiência anterior de populações que convivem com lixeiras e o passar do tempo sem um equacionamento satisfatório, não contribui para o estabelecimento da confiança necessária. No entanto, a existência de condições político-institucionais tem levado os responsáveis autárquicos e da Administração Central a empenharem-se na resolução desta situação, designadamente com os planos estratégicos para o sector e a construção das infraestruturas necessárias.

Numa selecção desta natureza não se pode analisar e estudar todo o território, porque os custos envolvidos são muito grandes e a validade dos mesmos muito discutíveis, porque à partida muitos locais não servem, ou porque são condicionados em termos topográficos, ou legais ou de acessibilidade, ou ainda porque os custos de transporte, que são permanentes, inviabilizariam o sistema. Assim, concentram-se as pesquisas em áreas de maior potencialidade de acordo com critérios técnicos e recomendações nacionais e internacionais disponíveis neste domínio. Um dos aspectos a merecer atenção é o da minimização dos custos de transporte dos resíduos, por ser uma parcela dos custos globais do ciclo dos RSU a não se menosprezar dado o seu peso relativo e os custos ambientais da implantação numa dada área.

De um modo geral adoptaram-se dois critérios prévios de selecção de áreas a serem estudadas:

- Cálculo de uma área “buffer”
- Áreas pré-definidas

Assim, no primeiro caso determina-se um centro de gravidade, ou centróide, da região produtora de resíduos (função de distâncias e produção de RSU). Ponto a partir do qual se definiu uma área a ser analisada em maior pormenor. Nesse ponto, estabeleceu-se um círculo com um raio de 5, 10 ou 15 Km, como área de pesquisa dos locais candidatos à implementação do AS.

No segundo caso são definidas áreas conhecidas com potencialidades que serão acrescentadas ao estudo de análise das potencialidades para o fim em vista, caso não estejam incluídas nas zonas de “buffer” atrás referidas.

5.1.1 Centro de Gravidade da área de pesquisa

De acordo com o critério de localização da área de “buffer”, as coordenadas x e y do centro de gravidade (centróide) da área de localização do AS são calculadas utilizando-se a geometria de massas, aplicando-se as seguintes expressões:

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i * P_i}{\sum P_i} \qquad \bar{x} = \frac{\sum x_i * P_i}{\sum P_i}$$

Em que:

x_i e y_i - são distâncias dos centros de produção, em relação a um eixo cartesiano.

P_i - a produção de RSU de cada concelho.

Exemplo de aplicação:

Apresenta-se um exemplo de aplicação a uma situação concreta dos 12 municípios do Alto Minho e Baixo Cávado.

Na Figura 5.1 apresenta-se a aplicação deste modelo ao caso do estudo da solução integrada na região referida, encontrando-se áreas de “buffer” de pesquisa fina, que determinarão os locais de custo mínimo de transporte a destino final para cada um dos dois subsistemas regionais definidos (1 - Vale do Minho e 2 - Vale do Lima e Baixo Cávado).

Exercício:

Dados: Com a produção de RSU e as distâncias x e y de cada município em relação a um eixo cartesiano, podemos construir o quadro como o que se apresenta a seguir com os municípios do Vale do Lima e Baixo Cávado, calculando as coordenadas do centróide aplicando-se a fórmula precedente.

Aplicação: sistema integrado - Vale do Lima e Baixo Cávado

número de municípios: 6

Ano: 1994

Município	Coordenadas				Prod/ano p (ton)
	x	y	xp	yp	
Arcos de Valdevez	46.32	53.85	191426	222545	4133
Barcelos	28.85	18.2	961701	606689	33335
Esposende	15.69	18.2	161167	186950	10272
Ponte da Barca	46.32	49.8	80571	86624	1739
Ponte de Lima	31.89	44.75	244651	343309	7672
Viana do Castelo	11.1	35.84	284138	917432	25598
Totais			1923654	2363549	82748

Coordenadas $x = 23.25$ e $y = 28.56$

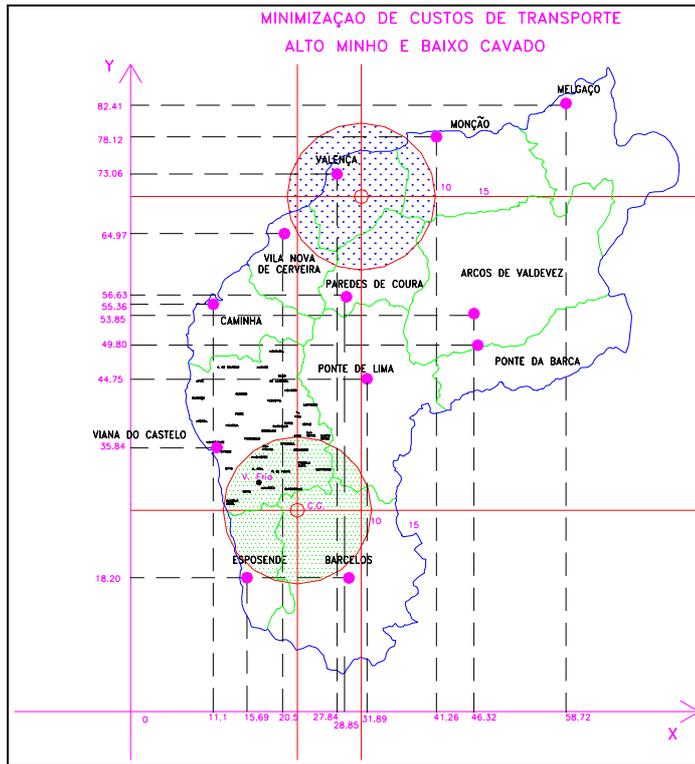


Figura 5.1 - Áreas “buffer” - para os 6 municípios de cada um dos subsistemas

5.2 CRITÉRIOS E RECOMENDAÇÕES PARA LOCALIZAÇÃO

5.2.1 Metodologias de selecção

Recomenda-se o estudo de áreas cujo centróide seja o obtido conjugando-se distâncias dos centros produtores e produção de resíduos, de tal forma que se minimizem os custos de transporte a destino de tratamento. Assim, a selecção deve ter como base um processo de "peneiramento" no interior de uma área “buffer”, em que sucessivamente são eliminados locais com menores aptidões e que se pode organizar do seguinte modo:

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

Na avaliação inicial são claramente identificadas as limitações legais de implantação (reservas agrícolas ou ecológicas nacionais, áreas de reserva estratégica nacional conhecidas, como as definidas pelo Instituto Geológico e Mineiro) ou outras baseadas em limitações físicas (características da área), tipo de povoamento (distâncias mínimas) e formações geológicas.

A selecção de locais com maiores potencialidades determina a necessidade de proceder a estudos aprofundados desses locais, de modo a servir de base à escolha de um deles para a implantação do AS.

Na Figura 5.2 apresenta-se um diagrama representativo dos passos na selecção de um local para aterro.

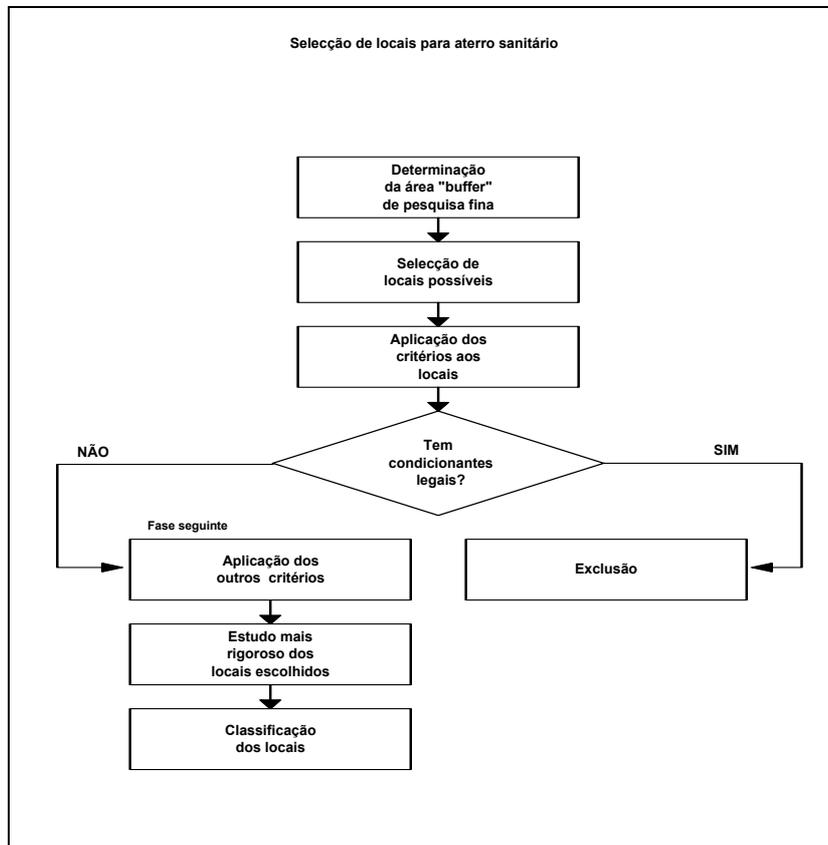


Figura 5.2 - Diagrama do fluxo processual de selecção de locais para AS

Após a determinação da área "buffer" (que garante a proximidade aos centros produtores), passa-se à fase seguinte de procura e pesquisa de locais específicos adequados no interior dessas "macro-áreas", aplicando-se critérios de localização baseados em recomendações nacionais e internacionais.

A generalidade dessas recomendações têm por base aspectos técnicos, económicos, sociais e ecológicos. Enunciam-se seguidamente algumas dessas recomendações emanadas por entidades com responsabilidades nesta matéria, designadamente a Direcção Geral do Ambiente (DGA), recomendações de entidades Americanas, designadamente a USEPA (United States Environmental Protection Agency) e a Organização Mundial da Saúde (OMS).

5.2.2 Níveis de controlo

De um modo resumido pode dizer-se que são 4 os níveis de controlo utilizados nos procedimentos de selecção de locais, que resumem as metodologias de selecção.

Controlo de Nível I

O universo dos locais elegíveis para a instalação de um aterro sanitário são todos aqueles que não estejam condicionados por tipos de ocupação, em termos de ordenamento, que interditem totalmente a função desejada, a implantação do aterro sanitário, por exclusão, é feita uma primeira selecção de locais que não incluam os que a seguir se listam.

Os tipos de ocupação que interditem a função AS são os seguintes:

- Espaços urbanos
- Espaços urbanizáveis
- Espaços industriais
- Espaços agrícolas incluídos na RAN
- Espaços incluídos na REN
- Espaços agrícolas complementares
- Espaços para indústria extractiva
- Espaços canais
- Unidades operativas de planeamento e gestão
- Espaços culturais

Em casos muito excepcionais áreas incluídas na REN ou RAN poderão ser desafectadas para este fim, mediante decisão da comissão respectiva, reunida especificamente para o efeito ou quando da revisão legal ordinária do PDM do município em que seja suscitada a desafecção da área de REN.

Controlo de Nível II

A natureza intrínseca do tipo de solução de tratamento preconizada - aterro sanitário - estabelece um tipo de relação com a natureza do subsolo onde vai enquadrar. Deste modo a natureza hidrogeológica e a geologia intrínseca dos solos e, indirectamente, o modo como se relacionam com a vulnerabilidade, quer das captações quer dos aquíferos, são fundamentais nas opções/selecções a ter em conta.

Como facilmente se pode compreender, caso coexistam nas mesmas áreas de intervenção terrenos de natureza argilosa ou xistosa, estes devem ser preferidos quando comparados com outros do tipo granítico.

Há, portanto, que tomar precauções especiais ao nível de impermeabilização dos alvéolos de deposição dos resíduos, bem como medidas complementares de controlo de lixiviados de modo a garantir a não contaminação de captações e aquíferos.

Controlo de Nível III

Por ordem decrescente de importância, mas sem deixar de ser considerados como determinantes, devem ser considerados a hidrologia e as diversas distâncias de protecção como segue:

A rios ou ribeiros	80 metros
A captações (furos ou minas)	raio de 100 metros
A vias estruturantes	70 metros
A casas isoladas	250 metros
A povoações	400 metros

Controlo de Nível IV

Este nível de selecção prende-se essencialmente com aspectos relacionados às exigências de exploração e, indirectamente, com os custos da mesma.

- a) Dimensão dos terrenos
- b) Topografia do local

Por razões de exploração deverão ser rejeitados terrenos com topografia acidentada com fortes pendentes (>20%) que tornarão extremamente onerosa a exploração e passível de forte erosão. De modo oposto estarão os terrenos planos, sujeitos a inundações, devendo a inclinação mínima ser de 1%.

- c) Acessibilidades

Dada a natureza funcional de um aterro sanitário é importante minimizar os custos relativos a uma boa acessibilidade. Locais significativamente distantes dos grandes eixos de comunicação, com acessos de má qualidade ou mesmo inexistentes deverão ser eliminados se houver outros com melhores condições. Deverão ser evitados acessos pelo interior de povoações e aldeias, para não se perturbar o tipo de vida das populações com o incómodo do tráfego pesado.

5.2.3 Recomendações da Direcção Geral da Qualidade do Ambiente

De um modo geral, o local de implantação de um aterro sanitário deve satisfazer, tanto quanto possível, os seguintes critérios (DGQA, 1990/91):

1. Ser geológica e hidrogeologicamente aceitável, isto é, que não constitua um risco de contaminação das águas (subterrâneas ou superficiais) e terrenos adjacentes (recomendável um coeficiente de permeabilidade do solo, $K \leq 10^{-9} \text{ m/s}$);
2. Situar-se de modo a conjugar os melhores acessos com os menores percursos (maiores distâncias significam maiores custos de transporte);
3. Não afectar locais relativamente ao arrastamento de cheiros e materiais pelo vento, devendo preferencialmente encontrar-se afastado um mínimo de:
 - 250 metros de qualquer habitação isolada
 - 400 metros de qualquer aglomerado populacional;
4. Garantir a existência de grandes quantidades de solo apropriado para cobertura diária e recobrimento final dos resíduos;

5. *Estar afastado no mínimo 100 metros de captações de água subterrânea;*
6. *Não constituir risco de incêndio (ou outros) para as zonas envolventes;*
7. *Possuir facilidade para a instalação de electricidade e água;*
8. *Não ocupar terrenos afectos à zona agrícola (RAN) ou à reserva ecológica nacional (REN);*
9. *Permitir uma boa inserção na paisagem tanto durante a exploração como após o encerramento.*

5.2.4 Recomendações utilizadas nos Estados Unidos e da USEPA

De acordo com Tchobanoglous, G. et al. (1993), Davis, L. M. et al (1991) e a USEPA, recomendam, entre outros, as seguintes condições de protecção e de construção de aterros:

Afastamentos mínimos de:

- *30 m de linhas de água (rios);*
- *160 m de poços de água potável;*
- *65 m de casas, escolas e parques;*
- *Não localização em áreas inundáveis, a não ser sob condições excepcionais;*

A construção de aterros em áreas sísmicas e instáveis só são possíveis sob rigorosas condições de projecto, demonstrativas das condições de segurança.

5.2.5 Organização Mundial da Saúde

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, no designado Código Europeu, é recomendado para a implantação de aterros sanitários, que sejam respeitadas as seguintes distâncias de protecção:

- *200 m de imóveis habitados, terrenos de desporto ou locais de acampamento;*
- *20 m dos espaços arborizados;*
- *35 m dos cursos de água;*
- *500 m de moinhos de água;*
- *55 m das margens de represas de águas de abastecimento;*

Em relação a distâncias mínimas apresentadas para cursos de água e margens de represas de abastecimento os valores são demasiado próximos, o que se acredita serem recomendações em casos extremos e com estruturas de controlo da unidade sanitária que garantam segurança contra eventual poluição dos mananciais. De qualquer dos modos não são recomendáveis tais distâncias como termos gerais, preferindo-se a sua multiplicação por 10.

De igual modo, por potenciarem a sua recuperação ambiental, também são aconselhados, ainda segundo a OMS, terrenos propícios à localização de aterros, locais com as seguintes características:

- *terrenos baldios, charnecas, solos de rendimento pobre e, de uma maneira geral, todos os locais cujos terrenos poderão vir a beneficiar com a instalação de um aterro;*
- *locais de onde foi extraído saibro ou areia;*
- *locais de antigas escavações mineiras;*
- *antigas pedreiras;*

5.2.6 Outras recomendações

Como se pode observar as recomendações são diversas e os valores de protecção igualmente diversos, o que querará dizer que as realidades das instituições que as fazem é diferente. Para cada realidade deverá ter-se em conta os factores predominantes e garantias de segurança e qualidade das estruturas a implantar. Hoje, com os materiais geossintéticos disponíveis, tecnologia e legislação, permitem antever recomendações de distâncias de protecção cada vez menores, dentro de limites acauteladores da importância da preservação que se deseja.

Em França, foi aprovada muito recentemente legislação extremamente restritiva e exigente, com base em dois critérios: de exclusão e de hierarquia. No primeiro caso, são eliminados terrenos sem condições geológicas adequadas, independentemente das outras considerações (Begassat P. et al, 1995). Assim, devem obrigatoriamente ser seleccionados terrenos com constituição argilosa, por serem estas as únicas formações geológicas capazes de manter um comportamento plástico e não apresentar fracturas ou rupturas, contrariamente a outras formações rochosas. Os critérios adoptados são os seguintes:

De exclusão: sismicidade, áreas expostas a inundações, geologia desfavorável e reservas naturais;

Crítérios hierárquicos: Protecção de fontes de abastecimento de água; características do subsolo; densidade populacional; protecção de áreas ecológicas sensíveis; protecção de áreas de reserva agrícola; protecção de edifícios históricos; proximidade das zonas produtoras de resíduos; proximidade de vias de comunicação; incómodos devidos ao tráfego; protecção da paisagem; protecção de recursos florestais.

A ponderação destes critérios pode ser estabelecida por uma comissão mista, composta por técnicos e líderes locais, e pode ser variável de caso para caso dentro de uma banda de variação estreita.

Apresenta-se uma grelha relativamente consensual da ponderação dos critérios de valorização no Quadro 5.2.

5.3 MATRIZ DE DECISÃO PARA ANÁLISE DE LOCAIS

Para apoiar a tomada de posição dos decisores propõe-se uma matriz de decisão constituída por um conjunto de critérios que sintetizam os aspectos já enumerados:

1. área disponível e vida útil do aterro;
2. topografia e litologia do local;
3. águas superficiais e subterrâneas;

4. cobertura vegetal;
5. acesso ao local;
6. ordenamento (uso da terra - RAN, REN);
7. património histórico e arqueológico;
8. valor ecológico do local;
9. custos globais de localização;
10. distâncias mínimas de protecção.

Estes critérios não estão ordenados hierarquicamente. O peso de cada um deles deverá ser estabelecido em função das características e interesses locais específicos, baseados em ponderações médias recomendadas por avaliações técnico-científicas, como as que se propõem neste documento.

5.3.1 Área disponível e vida útil do aterro

O tempo de vida de utilização do local como aterro é determinado pela superfície da área disponível ou a disponibilizar pelo poder público, pela quantidade e características dos resíduos a depositar, pelo método de tratamento e metodologia de exploração do aterro e pela filosofia de gestão de resíduos que se adoptar (reciclagem e/ou compostagem, por exemplo).

Acresce referir que a área necessária não se confina apenas à que é preciso em sentido estrito do termo para a deposição dos resíduos, mas também a uma área envolvente para a implantação de áreas de apoio à exploração (edifício de apoio, pavilhão oficial, balança e lava-rodas, parques de estacionamento, pavilhões para a reciclagem, pátios e ecrã arbóreo envolvente de protecção visual).

As áreas a considerar são:

- 1 - área total - definida pelas fronteiras da propriedade;
- 2 - área de deposição - a utilizada para a colocação dos resíduos para tratamento. Recomenda-se que esta área tenha, no máximo, 70% da área total.
- 3 - área da envolvente - área envolvente à estrutura sanitária para fins paisagísticos. Deverá ser, no mínimo de 30% da área total.

5.3.2 Topografia e litologia

A topografia do local candidato a aterro é importante, podendo ser determinante. Um terreno montanhoso com formações rochosas não será aconselhável.

A inclinação do terreno deve ser superior a 1% (para evitar alagamentos em épocas das chuvas) e menor que 20% (para evitar erosão). Um terreno com terras para cobertura é melhor que outro que necessite de terras de empréstimo. Um terreno argiloso pode propiciar condições de impermeabilização dos fundos dos alvéolos de deposição, constituindo, por isso, um factor adicional de segurança para o sistema de impermeabilização.

5.3.3 Águas superficiais e subterrâneas

A quantidade e qualidade das águas superficiais e subterrâneas existentes no local candidato devem ser tidas em conta. Deve ponderar-se o seu valor, por forma a que a implantação de uma estrutura como um AS não inviabilize o seu aproveitamento ou, no caso de implantação do AS, para se tomarem as medidas de segurança necessárias.

Áreas húmidas e sujeitas a inundações devem ser evitadas, caso contrário é necessário prever-se em projecto as obras a realizar para defender as instalações e torná-las operacionais em qualquer altura do ano, bem como garantir que não causem prejuízos ambientais. Estas obras constituirão, sempre, um sobrecusto para o sistema.

As águas subterrâneas também deverão ser analisadas no tocante ao seu potencial com vista à implantação do aterro (especialmente os aquíferos importantes ou zonas de recarga de aquíferos importantes), designadamente no que se refere à cota de implantação do fundo dos alvéolos, para que se defenda a qualidade do aquífero contra uma eventual fonte poluente, mesmo que pontual. Deverão ser evitadas áreas com importância neste domínio dos recursos hídricos.

O aterro sanitário não deverá ser construído abaixo do plano da franja capilar não saturada. Nestes casos deve ser garantida a impermeabilização dupla ou tripla do fundo dos alvéolos ou outra solução equivalente.

5.3.4 Cobertura vegetal

O tipo de vegetação, a quantidade e a sua distribuição são elementos importantes a considerar porque são elementos amortecedores de impactos, nomeadamente visuais (estética). Se não existir vegetação que possa cumprir estes objectivos terá que ser considerado nos custos de implantação a sua incorporação.

5.3.5 Acesso ao local

O acesso ao local deve ser analisado sob vários aspectos, dos quais o mais importante é a distância a que se encontra da estrada mais próxima, porque a construção de um acesso pode corresponder a gastos consideráveis, uma vez que deve ser uma rodovia preparada para tráfego pesado e com pavimento definitivo, de preferência betuminoso. Não deve passar no interior de povoações (aldeias e lugares) para não perturbar a vida tranquila das populações destas pequenas comunidades. Deve também utilizar-se ao máximo as estradas principais, onde o tráfego é normal e o escoamento corrente. Quando não existir esta condição, deverá ser construído um acesso para tráfego pesado para servir a instalação.

5.3.6 Ordenamento

O local a seleccionar deve ser objecto de permanente diálogo com as autoridades municipais e regionais para que as potencialidades do mesmo, em termos de ocupação, no imediato e no futuro, sejam salvaguardadas. No caso de haver Plano Director Municipal (PDM), deve ter-se em conta as condicionantes aí expressas. Caso contrário, as autoridades deverão ser informadas da aptidão do terreno para um aterro sanitário e a conveniência de ser considerada a área no respectivo Plano Director em elaboração ou na sua alteração/ revisão.

Na selecção de locais também dever-se-á ter em atenção as condicionantes de cada área, em termos de riqueza do subsolo (informação do Instituto Geológico e Mineiro) e de estar ou não incluído em Reservas Ecológica ou Agrícola Nacionais para a tomada de precauções indispensáveis. Em primeira avaliação devem ser eliminados terrenos com estas condicionantes. Apenas em último caso, quando as características dos outros locais não forem satisfatórias é que se deve repescar terrenos com condicionantes de ordenamento para eventual desafecção, portanto só em casos de excepção bem ponderados e por falta de alternativas. Acresce referir que o terreno que se necessita é para implantar um aterro sanitário e não uma lixeira, ou seja, uma unidade para resolver ambientalmente um problema de agressão ambiental que são as lixeiras.

5.3.7 Património histórico e arqueológico

Os locais com valor histórico ou arqueológico devem ser evitados. Muitas vezes não é fácil decifrar esta vertente, sendo imperioso a consulta a especialistas. O estudo desta componente só deverá ser encomendado após triagem dos vários locais candidatos. Apenas deverão ser objecto de estudos histórico-arqueológico os terrenos que apresentem maiores potencialidades de localização de aterros. Recomenda-se a consulta bibliográfica sobre a localização desse tipo de património, antes de se decidir pela investigação por especialistas. Inquéritos à população e Juntas de Freguesia sobre os locais são indispensáveis para um aprofundamento do conhecimento genérico do local.

5.3.8 Valor ecológico

As áreas ecologicamente sensíveis devem ser evitadas, ao contrário das áreas degradadas pelo homem ou pela acção de agentes naturais e que careçam de recuperação. Áreas sensíveis são aquelas que incluem:

- áreas húmidas;
- áreas de inundação;
- *habitats* críticos ou de espécies em extinção;
- áreas de recarga primária de aquíferos importantes.

5.3.9 Custos globais de localização

Os custos globais são importantes na consideração de um local para a implantação de um aterro sanitário. Incluem-se custos de aquisição de terreno, de construção, acessos, operacionais e de transporte de resíduos ao local do AS. Estes custos podem sintetizar-se conforme se indica na matriz do Quadro 5.1.

Para o cálculo dos custos de capital (C), podem ser admitidas simplificações, nomeadamente para os custos de construção e do equipamento a operar, para os quais se poderá admitir que permanecem constantes em qualquer dos possíveis pontos de localização. No entanto, a preparação do terreno para a construção pode constituir um factor relevante na obtenção do custo final, pelo que deverá, sempre, ser tido em consideração.

Quadro 5.1 - Matriz de custos globais de localização

1 - custos de capital (C):	aquisição do terreno
	preparação e execução das Infraestruturas
	equipamento de operação
2 - tempo de vida do aterro - anos	(A)
3 - custos operacionais por ano no AS (O):	pessoal
	operação dos equipamentos
	laboratórios (análises)
	suprimentos diversos
4 - quantidade de resíduos por ano (ton)	(Q)
5 - custo unitário de capital (C1)	$C1=C/A*Q$
6 - custo unitário de operação no AS (C2)	$C2=O/Q$
7 - custo unitário de transporte de RSU (T)	T
8 - custo unitário total (Ct)	$Ct=C1+C2+T$

5.3.10 Distâncias mínimas de protecção

Deverá verificar-se as distâncias a que os potenciais locais se encontram de aglomerados populacionais, parques, vias estruturantes, captações de água e massas de água. Como regra, poderão aplicar-se os critérios da DGA ou da OMS ou ambos, para este fim, sempre com a intenção da maior segurança possível.

5.4 PONDERAÇÃO DOS CRITÉRIOS

Para se proceder à classificação de locais propõe-se um conjunto de critérios baseados em recomendações internacionais e nacionais (Ministério do Ambiente), sendo cada um dos critérios pesado adequadamente, conforme Quadro que se apresenta no Quadro 5.2. A ponderação de cada critérios é uma proposta de trabalho com base técnica. Nas tabelas do Quadro 5.3 discretiza-se o conjunto de parâmetros classificativos da matriz de ponderação.

Quadro 5.2 - Parâmetros/ critérios de ponderação global

Parâmetro/Critério	Peso (%)																	
águas superficiais e subterrâneas	17																	
área disponível e vida útil do aterro	14																	
topografia e litologia do local	14																	
custos totais de localização	13																	
ordenamento (RAN, REN)	10																	
acessos e instalação de Infraestruturas	8																	
património histórico e arqueológico	5																	
valor ecológico do local	5																	
distâncias mínimas de protecção	5																	
avaliação da degradação do local	5																	
cobertura vegetal	4																	

QUADRO 5.3 - QUADRO DE CLASSIFICAÇÃO DOS DIVERSOS CRITÉRIOS

Parâmetros				
P1	Área disponível (Ad) e vida útil do aterro			
		Nota		
	Ad < Na	0		
	Ad = Na	8	+ / - 5% An	
	Ad > Na	10		
P2	Topografia e litologia do local			
a)	Coefficiente de permeabilidade			
	K <= 10-9 m/s	10		
	K > 10-9 m/s a 10-5 m/s	7		
	K > 10-5 m/s	0		
b)	Inclinação do terreno			
	1% < i < 20%	10		
	i = 0	0		
	i > 20%	5		
c)	Natureza do terreno			
	Rochoso	0		
	Compacto	10		
	Consistente	10		
	Muito mole	2		
	média			
P3	Águas subterrâneas e superficiais			
a)	hidrologia			
a1	Interceptora de superfície			
	natureza da rede	talweg	vertente	cumeada
	Inexistente	10	10	10
	Temporária	10	5	10
	riacho	5	3	0
	rio	0	0	0
a2	Adjacente (< 100 metros)			
	natureza da rede	talweg	vertente	
	Inexistente	10	10	
	Temporária	10	10	
	riacho	10	7	
	rio	0	0	
a3	Vulnerabilidade dos aquíferos detectados			
	Ausência	10		
	Protegidos	8		
	Vulnerabilidade possível	6		
	Vulnerabilidade presente	0		
	média			

Parâmetros				
P4	Cobertura vegetal			
a1	Exposição visual			
	Nula	10		
	Reduzida	9		
	Importante	6		
	Muito importante	0		
a2	Qualidade da paisagem			
	Medíocre /banal	10		
	Boa	7		
	Muito Boa	2		
a3	Dissimulação do lugar			
	Fácil	10		
	Difícil	6		
	Muito Difícil	3		
média				
P5	Acesso ao local e infraestruturas			
a1	Rede Viária até ao acesso			
	Estrada Nacional	10		
	Estrada Municipal	8		
	Caminho Municipal	6		
	Caminho Rural	4		
a2	Impacto do tráfego no acesso			
	Nulo	10		
	Fraco	8		
	Importante	5		
	Muito importante	2		
a3	Infraestruturas de apoio (redes de serviços)			
	Fácil instalação	10		
	Difícil instalação	5		
	Muito difícil de instalação	0		
média				
P6	Ordenamento e uso da terra			
a1	Ocupação do solo			
	Vazio	10		
	Muito disperso	8		
	Disperso	6		
	Agrupado	2		
a2	Condicionantes (área incluída)			
		total	> 50%	< 25%
	REN	0	2	4
	RAN	0	3	5
	Não pertence	10		
média				

Parâmetros			
P7	Património histórico e arqueológico		
	Não existente	10	
	> 500 metros	8	
	100 a 500 metros	3	
	< 100 metros	0	
P8	Valor Ecológico do local		
a1	Inundabilidade		
	nula	10	
	possível	3	
	verificada	0	
a2	Protecção das Zonas Ecológicas		
	Nenhuma espécie protegida	10	
	Espécies protegidas presentes	5	
	Zona protegida	0	
	média		
P9	Custos Globais de Localização		
	Nível 1 (> Ct)	10	
	Nível 2 (Ct intermédio)	5	
	Nível 3 (< Ct)	0	
	Ct = Custo unitário médio, por tonelada de RSU		
P10	Distâncias mínimas de protecção		
a1	Distâncias a captações		
	< 100 metros	0	
	> 100 metros	10	
a2	Distância a habitações		
	> 250 metros de habitações isoladas	10	
	> 400 metros de povoados	10	
	100 a 250 metros de casas	5	
	250 a 400 m de povoados	5	
	< 65 m de casas	2	
	< 200 de povoados	0	
a3	Distância a linhas de água		
	> 100 metros	10	
	50 e 100 metros	7	
	< 50 metros	0	
	média		
P11	Avaliação da degradação do local (locais propícios)		
a1	degradação antrópica	10	
	degradação natural fraca	5	
	antiga mineração pesada	10	
	antiga extracção de inertes	10	
	Lixeira	10	
	terreno natural (virgem)	0	
	média		

5.5 MINIMIZAÇÃO DOS CUSTOS DE TRANSPORTE

A escolha de um local deverá, também, além das recomendações anteriormente descritas, levar em consideração os custos de transporte de resíduos, pois trata-se de um custo apreciável no conjunto das operações do sistema. O problema resume-se à localização de um ou mais equipamentos que visam satisfazer uma procura discreta espacialmente distribuída, associada a um conjunto de áreas que poderão ser representadas pelos seus pontos centrais, de modo a que sejam minimizados os custos de transporte entre estes pontos de procura e o ou os referidos pontos de oferta do serviço.

São conhecidas algumas variantes deste tipo de problema, embora a que se reveste de interesse para o nosso caso seja a que associa os custos de transporte à distância total percorrida desde os centros de produção de RSU até aos centros de processamento e deposição por intermédio de uma função de custos de transporte. É admitido, sem lugar à introdução de grandes erros, que a função custos de transporte é linear, i.e., que a variável custo de transporte varia na razão directa da distância, podendo eventualmente qualquer condição local das vias de comunicação conducente ao agravamento do tempo de viagem ser simulada pela introdução de uma impedância, que mais não é que um factor multiplicativo que ficticiamente aumentará a distância real a percorrer entre dois nós da rede.

O objectivo de minimização dos custos de transporte é então conseguido fazendo com que a distância total de viagem necessária à prestação do serviço seja mínima, entendendo-se esta distância total como o somatório dos produtos da distância percorrida em cada viagem pelo número de viagens efectuadas entre cada par de pontos de procura e oferta.

A primeira abordagem teórica dum problema deste tipo, e com vasta aplicação a situações desta natureza, é conhecida por *p-median problem* (Hakimi - 1964,1965), que aplicada à localização de centros de oferta fixos se pode formular do seguinte modo:

Localizar p centros de oferta sujeitos a procuras discretas de modo a que a distância total percorrida seja mínima.

Este problema pode ser representado em termos matemáticos da seguinte forma:

$$\min Z = \sum_i \sum_j a_i d_{ij} x_{ij}$$

em que:

a_i é a procura no ponto i ,

d_{ij} a menor distância entre o ponto de procura i e o ponto de oferta j ,

e x_{ij} uma variável binária de alocação cujo valor é 1 se o ponto de oferta j é o mais próximo do ponto de procura i , tomando o valor de 0 caso contrário.

Os problemas de programação linear como este são em geral resolvidos por intermédio de métodos gerais exactos ou por intermédio de métodos heurísticos, dependendo basicamente da dimensão do problema.

Os modelos matemáticos de minimização de distâncias, como o acima, podem subdividir-se em dois tipos, consoante consideram o espaço em estudo isotrópico ou discreto. No primeiro caso encontram-se os modelos de localização num plano, enquanto no segundo os modelos de localização

numa rede, estes últimos normalmente utilizados quando se dispõe de informação actualizada e fiável sobre a rede viária.

Em ambos os casos torna-se necessária a construção de uma matriz de distâncias, conseguida no caso do modelo de localização num plano à custa do cálculo do comprimento dos segmentos de recta que unem os pares de pontos em causa:

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - p_j)^2 + (y_i - q_j)^2}$$

No caso do modelo de localização numa rede, o cálculo da distância mais curta entre um par de pontos é conseguido mediante a escolha do mais curto de entre os vários caminhos possíveis que estabelecem a ligação entre aqueles centros de oferta e procura.

O modelo adoptado no nosso estudo será então o de minimização de custos de transporte, traduzido pelo *p-median problem*, cuja função-objectivo foi apresentada atrás, e que se resume à minimização da distância total percorrida.

Para o presente problema um ponto de procura representa uma área (isolada ou associada) que será servida por um único equipamento (AS), aí localizado, que satisfará a totalidade da procura proveniente daquela, e só esta. Cada área é dividida, por sua vez, em zonas de procura, que se pretende apresentarem características razoavelmente homogéneas. A cada uma destas zonas está associado um centróide, que mais não é que um ponto onde teoricamente é suposta estar concentrada toda a procura da zona, assim se definindo os pontos de procura. À implementação do modelo associa-se um conjunto de pressupostos, a saber:

1. O centro de oferta a localizar é representado por um ponto.
2. Os custos de transporte são directamente proporcionais à distância percorrida, isto é, a função de custos é linear, sendo a constante de proporcionalidade independente da distância.

Os custos fixos para cada caso poderão não ser considerados assumindo-se serem praticamente iguais em qualquer dos locais candidatos, no entanto tal não se verifica na prática e deverão merecer uma avaliação cuidada.

A utilização de sistemas de informação geográfica (SIG) constitui uma forma avançada de apoio à decisão, em que se utiliza critérios como os que se apresentaram.

6. RECOLHA DE RSU E LIMPEZA URBANA

6.1 INTRODUÇÃO

A recolha dos resíduos sólidos é hoje uma actividade corrente e de grande importância, ao contrário do que acontecia há muitos séculos atrás e que foi a causa do aparecimento de doenças e pestes, responsáveis pela morte de quase metade da população europeia da Idade Média. O mesmo ainda se verifica em muitas partes do mundo, proliferando epidemias, em que a África, a Ásia e a América Latina nos dão exemplos amplamente ilustrados nos meios de comunicação. O problema tem-se agravado devido às grandes migrações e imigrações de refugiados das guerras tribais.

Hoje, em Portugal, a maior parte da recolha de RSU é feita de modo indiferenciado, ou seja, os resíduos são colocados em contentores ou em sacos de plástico misturados, sendo recolhidos pelas viaturas municipais (ou a seu serviço) e depositados em aterros ou em lixeiras. Algum dos resíduos vai para ETRSU (incinerações ou estações de compostagem).

6.2 RECOLHA SELECTIVA DE RSU

Para se caminhar em direcção às metas estabelecidas pelo “Programa Comunitário de Política e Acção em Matéria de Ambiente e Desenvolvimento Sustentável”, que aponta para a minimização da produção de resíduos e para a reciclagem e valorização dos resíduos, designadamente os de embalagens, é imperativo a recolha selectiva (propõe-se separação na origem das fracções seca, húmida e vidros).

6.2.1 Ecocentros ou postos de entrega voluntária

São centros de recepção de resíduos sólidos provenientes dos detentores que deles pretendem se desfazer, de modo adequado tendo em vista a característica de cada material. Estes ecocentros são locais vedados com entrada condicionada ao horário a estabelecer, com guarda que controla e vigia o centro.

Estes resíduos, não serão removidos pelos circuitos normais de remoção. Os materiais triados, prensados e enfardados serão encaminhados para jusante do sistema de reciclagem, para empresas que os utilizarão como matéria prima secundária no seu processo de produção. A prensagem e enfardamento são necessários para que os custos de transporte não sejam proibitivos, desencorajando esta filosofia de gestão dos resíduos.

Serão recepcionados os seguintes materiais em contentores especiais:

papel e papelão;

vidro;

plásticos;

pneus;

metais ferrosos e não ferrosos;

pilhas;

baterias;

óleos usados;

materiais resultantes de limpeza de jardins e afins (“verdes”);

entulhos da construção civil (pequenas obras);

“monstros”.

Estes centros são dotados de prensa de compactação de resíduos e de triturador.

viaturas de recolha

As viaturas de recolha são dotadas de compactação, com um só compartimento ou mais que um compartimento. Normalmente a carga é traseira, porém, existem camiões com carregamento lateral, com compartimentos separados para mais de um material. Um exemplo de viatura de recolha para os ecocentros são as dotadas de sistema de elevação tipo “ampliroll”, com caixa aberta (por exemplo de 20 m³, de peso bruto médio de 19 a 27 toneladas com grua telescópica, de 3 eixos e caixa automática, ou similar), que recolherá os resíduos depositados nos contentores selectivos dos ecopontos para o ecocentro para prensagem e enfardamento, bem como poderá transportar fardos de materiais.

6.2.2 Ecopontos

São locais estrategicamente escolhidos em função da densidade populacional e das vias de acesso, além de enquadramento paisagístico adequado, para a colocação de conjuntos de contentores especializados para a recepção de resíduos separados na fonte pelos seus detentores. Foram escolhidas as escolas primárias e secundárias para localização de ecopontos de pequena capacidade (conjuntos de 4x240 + 2x50 litros) ou combinações adequadas e diversos locais residenciais para a localização dos ecopontos de maior capacidade (4x2,5 m³ + 2x50 litros).

Em cada escola primária e secundária poderá haver um conjunto de contentores selectivos com capacidades em função da população escolar e da sua vizinhança mais próxima, que poderá utilizar estes conjuntos, como forma pedagógica de actuação nesta área.

vidrões

Os vidrões deverão ser de forma cilíndrica, de 2,5 m³, independentemente do formato dos restantes contentores.

Em cada ecoponto poderão ser depositados os seguintes materiais em contentores especializados:

- vidro
- papel e papelão

- plástico e embalagens plásticas
- pilhas
- medicamentos fora de prazo.

Pode destacar-se como objectivos a atingir em 2006 as seguintes taxas de reciclagem (metas da UE):

- vidro - 55%
- papel e papelão - 35%
- plásticos - 25%
- metais (ferrosos e não ferrosos) - 80%

6.2.3 Campanhas de sensibilização e informação

Sensibilização para o problema dos resíduos e informação de como cada um pode contribuir para um melhor ambiente no seu concelho. Eis as questões que se colocam num programa de sensibilização. As campanhas imediatas e as permanentes, no domínio do ambiente são indispensáveis, se não forem mesmo condições “sine qua non” poderá haver sucesso no plano.

De facto a questão da educação sobre os problemas relacionados com o meio ambiente e a sensibilização do público relativamente às soluções que podem ou devem ser implementadas para resolver um problema específico, é, de certa forma, de fácil compreensão e aceitação, especialmente quando esses mesmos problemas não fazem parte da rotina diária das suas vidas. O problema real coloca-se quando hábitos adquiridos por comportamentos rotineiros de vida têm que ser alterados, às vezes com mudanças drásticas de atitude comportamental. O que acontece com os Resíduos Sólidos Urbanos e em especial com a recolha selectiva na origem é exactamente isso. Comportamentos rotineiros e diários que são considerados absolutamente normais pelo público, repetidos sem conhecimento e informações básicas de como minimizar o penoso encargo que as Câmaras Municipais têm para realizar a recolha, tratamento e destino final do lixo que os seus habitantes produzem.

A reciclagem

Sem dúvida que uma das melhores formas de reduzir a quantidade de lixo para tratamento e destino final é reciclá-lo, sendo para isso importante a sensibilização das pessoas para a importância da selecção na origem. Em média *80% do lixo doméstico é passível de ser reciclado*, porém *já seria muito bom para o nosso país recolherem-se selectivamente 25% (em peso) dos lixos para reciclagem*. papel e cartão, incluindo cartão complexo, vidro, metais diversos e plásticos. A deposição em aterro seria diminuída, sendo fundamentalmente constituída por matéria orgânica (não havendo compostagem), inertes, e outros não mencionados.

6.2.4 Contentorização

A escolha dos contentores é de importância assaz pertinente, pois não podemos resolver o problema da selectividade da recolha na origem com qualquer tipo de contentor. Nas zonas residenciais é

aconselhado um tipo de contentor muito comum, disponível em vários volumes, porém nas zonas históricas há que prever verdadeiro mobiliário urbano específico.

É importante informar as pessoas sobre os locais onde estão instalados os ecopontos e os ecocentros. Para isso devem ser criados folhetos explicativos sobre o que fazer com os resíduos (separação, agrupamento em casa e deposição em colectores específicos). Esses folhetos poderão ser colocados porta a porta ou conjuntamente com a conta da água, além da distribuição pessoal que pode ser feita nos principais mercados e supermercados, numa campanha com animação adequada. Para isso deve ser criada uma pequena equipa para realização dessas tarefas, que pode ser montada com o redireccionamento de funcionários que possam ser disponibilizados para esse tipo de serviço, devendo ser ministrado um pequeno curso de formação sobre a campanha, envolvendo os estudantes e as escolas do concelho, por exemplo com o estabelecimento de uma semana do AMBIENTE.

Contentores Molok

São contentores de grande capacidade, parcialmente enterrados em que os resíduos são depositados por uma tampa de acesso ao contentor. O contentor é dotado de um saco de elevação em lona cujo fundo pode ser aberto para descarga do saco descartável de plástico onde se encontram os resíduos, para transporte para o sistema de tratamento e deposição final. A capacidade pode variar, porém os mais comuns são os de 5 m³, que substituem 7 contentores de 800 litros, muito comuns nas nossas cidades. Servem para a deposição em áreas de forte densidade populacional, para RSU indiferenciados ou para a recolha selectiva.

Além das vantagens de espaço, os contentores tipo molok (Figura 6.1) devido ao facto de estarem enterrados, a temperatura no seu interior é mais baixa, retardando a degradação da fracção. São dotados de maior capacidade de compactação, devido à altura dos mesmos (2.5m). Esteticamente têm um aspecto mais agradável.

Figura 6.1 - Sistema contentor molok

Campanha de educação ambiental para a recolha selectiva

A Educação Ambiental deixa de ter um papel meramente cognitivo ou informativo, e passa a constituir um processo holístico de reconhecimento de valores, conceitos, comportamentos e motivações que permitam compreender e resolver problemas inerentes às relações de interdependência entre o homem, a sua cultura e o seu meio.

Os objectivos principais dessa educação ambiental a médio e longo prazo deverão ser:

1. A tomada de consciência do ambiente global e dos problemas nele existentes;
2. A compreensão do papel da humanidade neste ambiente e da responsabilidade individual na resolução de problemas ;
3. A motivação para tomada de atitudes;
4. A participação activa na solução de problemas específicos.

A Educação Ambiental com objectivos a médio e longo prazo deverá ser feita junto aos estudantes nas escolas, de todas as idades e graus de ensino. A facilidade de termos os alunos agrupados em turmas, facilita muito a apresentação e discussão de problemas relativos ao meio ambiente.

7. PROJECTO DO ATERRO SANITÁRIO

7.1 BASES DE DIMENSIONAMENTO

Evolução demográfica

Para se proceder à elaboração de um sistema de equacionamento dos RSU de uma dada região é indispensável ter diversos dados sobre a região, de que se destacam: a população, a produção de resíduos, dados climáticos, dados sociais e culturais, dados topográficos, geológicos e cartografia actualizada das redes de comunicações, entre outros dados.

Destes dados, a determinação da evolução no tempo das quantidades de RSU produzidas são proporcionais à população. Deste modo, as projecções da população servida no horizonte em estudo, tem por base a evolução esperada da População Total em Estudo (Pop).

Funções do seguinte tipo são utilizadas:

função linear - $Pop = \alpha + \beta t$

função exponencial - $Pop = \alpha \beta^t$

A experiência da aplicação de modelos qualitativos em Portugal não tem conduzido a resultados diferentes dos obtidos através de modelos simples de estimação com base no comportamento da evolução verificada no passado, com base nos dados disponíveis dos censos.

Acresce a tal constatação o facto do método de extrapolação de tendências dever ser usado com prudência, pois o seu emprego sem critérios pode conduzir a resultados que reflectam uma realidade completamente improvável.

Exercício:

Apresenta-se um exemplo concreto para ilustrar o problema e como resolvê-lo.

Nos gráficos 1 a 6, apresenta-se a evolução da população desde 1864 até 1991, para cada concelho do Vale do Lima e Baixo Cávado, que serviram de base para a previsão do comportamento futuro em termos de demografia.

GRÁFICO 1 - EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO DE ARCOS DE VALDEVEZ

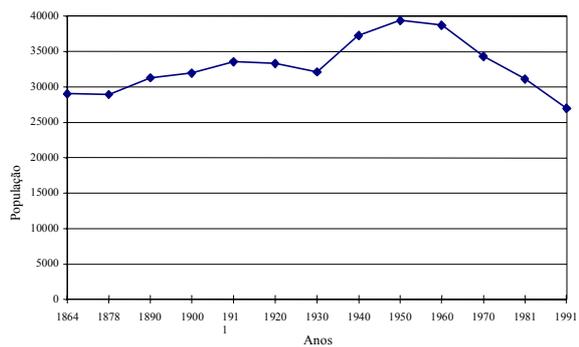
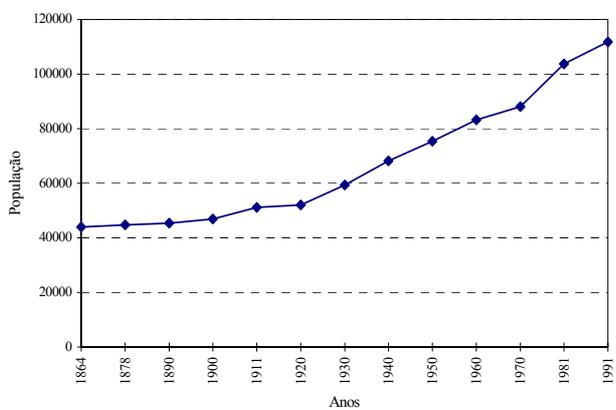
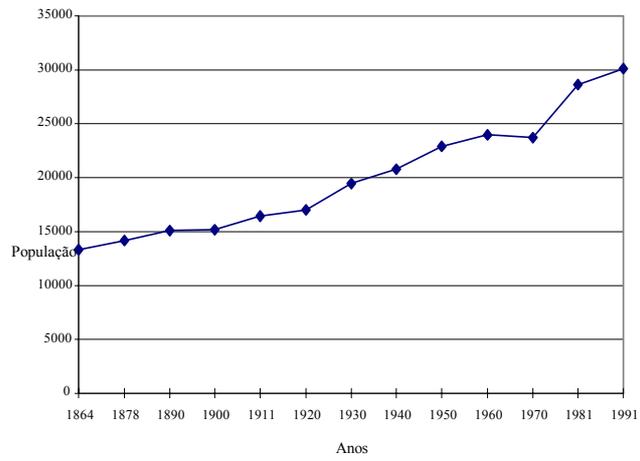


GRÁFICO 2 - EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO BARCELOS



**GRÁFICO 3 - EVOLUÇÃO DA
ESPOSENDE**



**GRÁFICO 4- EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO
PONTE DA BARCA**

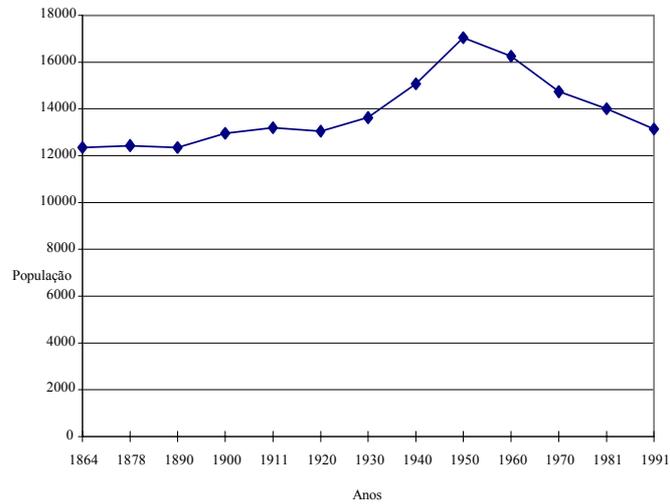


GRÁFICO 5 - EVOLUÇÃO DA
PONTE DE LIMA

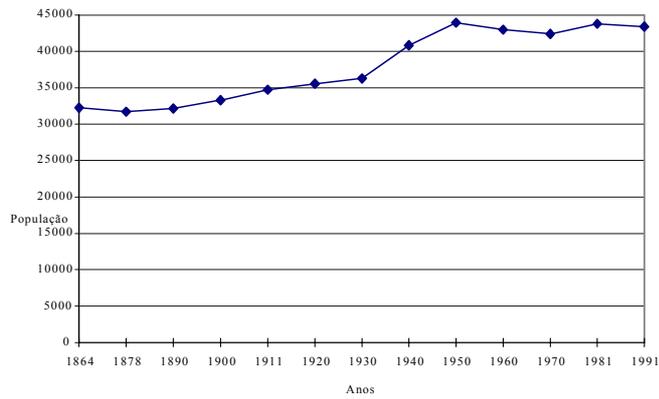
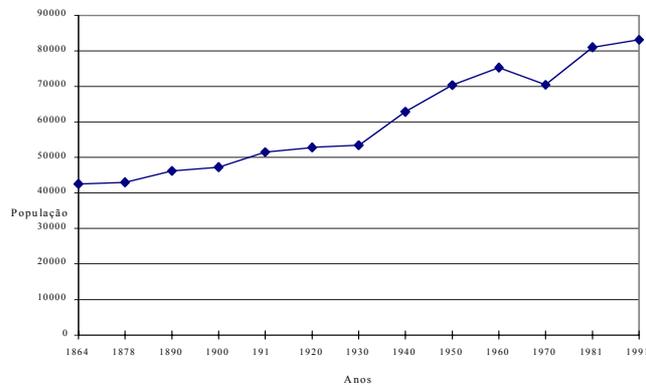


GRÁFICO 6 - EVOLUÇÃO DA POPULAÇÃO
VIANA DO CASTELO



A evolução da população numa região deverá ser explicada a partir da evolução de um certo número de factores (nomeadamente taxas de natalidade e de mortalidade, entre outros). Não sendo pertinente a formulação de um modelo matemático complexo, dada a dificuldade de obtenção e ajustamento de parâmetros explicativos, é perfeitamente plausível optar-se por uma solução simples mas decerto eficaz. Admitindo-se que a população terá uma evolução demográfica segundo um modelo de crescimento exponencial, do tipo $Pop=ab^t$, tendo-se para o efeito determinado as várias Taxas de Crescimento Demográfico (C), função da evolução passada, das características dos aglomerados e dos concelhos, e do desenvolvimento esperado. Na aplicação do exemplo apresentado, foram ainda desprezados os resultados dos Censos de 1970, pelos motivos mencionados anteriormente, obtendo-se então as taxas de crescimento demográfico, para cada concelho, pela média de duas taxas de crescimento, relativas aos resultados dos Censos de 1930 a 1960 e à década de 1981/91, obtendo-se deste modo, e sem deturpar a realidade dos factos, correlações bastante satisfatórias.

Deste modo, conhecendo-se a população em estudo Pop_0 para um determinado ano, a população Pop_n para o ano horizonte obtém-se pela seguinte função exponencial, em que n toma o valor da diferença entre o ano horizonte e o ano zero, sendo C a taxa de crescimento demográfico:

$$\text{Pop}_n = \text{Pop}_0 \times (1 + C)^n$$

Exemplo de projecção da população

Tendo como exemplo a população de 6 concelhos do Vale do Lima e Baixo Cávado, o procedimento poderá ser o seguinte: recolher elementos com vista à caracterização da evolução demográfica verificada até 1991 na região utilizando dados provenientes dos Censos de 1930, 1940, 1950, 1960, 1970, 1981 e 1991, desagregados ao nível de concelho.

Modelo proposto para estimar a evolução da demografia

Ensaiar modelos matemáticos de extrapolação de tendências, procurando descrever a evolução demográfica passada por intermédio de funções do tipo $\text{Pop} = f(t)$, sendo determinados os correspondentes parâmetros e avaliar a qualidade do ajustamento obtido. Ter em particular atenção os resultados dos Censos e avaliar as tendências, verificando anomalias nas curvas, tentando estabelecer causas ou simplesmente laminar os picos, como é o caso de 1970, na região de que se faz o exercício, traduzida pela forte emigração verificada na década de 60, ou o afluxo de população oriunda das ex-colónias e posteriores fenómenos de migração interna, que se reflectem no Censos de 1981.

No quadro 7.1 apresentam-se alguns dados estatísticos referentes à região em termos de movimento da população após o censo de 1991, a área dos concelhos e densidade populacional.

Quadro 7.1 - Evolução da população e outros dados concelhios

Zona Geográfica concelho	POPULAÇÃO TOTAL					ÁREA Km ²	Densidade 1993 Hab/Km ²	Freguesias N ^o
	1991	1992	Crescimento %	1993	Crescimento %			
Região Norte	3472715			3503340		21367		2023
Minho Lima	250059			249260		2255		290
Arcos de Valdevez	26976	26260	-2.65%	26210	-0.19%	458	57.23	51
Caminha	16207	16160	-0.29%	16270	0.68%	136	119.63	20
Melgaço	11018	10720	-2.70%	10660	-0.56%	232	45.95	18
Monção	21799	21440	-1.65%	21450	0.05%	206	104.13	33
Paredes de Coura	10442	10270	-1.65%	10230	-0.39%	136	75.22	21
Ponte da Barca	13142	12980	-1.23%	12950	-0.23%	189	68.52	25
Ponte de Lima	43421	43410	-0.03%	43680	0.62%	356	122.70	51
Valença	14815	14740	-0.51%	15040	2.04%	117	128.55	16
Viana do Castelo	83095	83190	0.11%	83620	0.52%	316	264.62	40
V. Nova de Cerveira	9144	9120	-0.26%	9150	0.33%	110	83.18	15
Cávado	353267					1217		265
Barcelos	111733	113060	1.19%	114250	1.05%	366	312.16	89
Esposende	30101	30250	0.50%	30720	1.55%	98	313.47	15

Fonte: Anuários estatísticos do INE de 1993 e 1994 - Região Norte

7.2 PROJECTO DE UM ATERRO SANITÁRIO

O aterro sanitário moderno é composto por vários órgãos, sendo a deposição e tratamento dos RSU feita em alvéolos com exploração e formatos variados, dependendo muitas vezes da topografia do terreno de implantação, podendo ser escavado em células ou trincheiras, em área (acima do solo ou em depressão /canyon, como mostra a figura 7.1.

Figura 7.1 - Métodos de exploração de aterros: a) escavados, b) em área e c) em depressão ou canyon

O aterro sanitário é composto das seguintes zonas de trabalho:

- Área de apoio: edifício, oficinas, balança, lava-rodas, vedação, parque de estacionamento e acessos.
- Área de tratamento e deposição final: onde estão os alvéolos de deposição de resíduos e as estruturas de drenagem, tratamento e controle de lixiviados e biogás.

- *Pátio de sucatas*: área destinada à guarda provisória de viaturas abandonadas na via pública e para armazenamento de "monstros"⁵, ambos até ao destino final a dar a cada caso.

7.2.1 Edifício de exploração

Constituição do edifício:

- sala de controlo de pesagem e de entradas, dotada de sistema informático ligado à balança para controlo;
- gabinete do responsável (gerente ou encarregado);
- sala de convívio e refeições para os operários;
- sala de reuniões e/ou de espera de visitantes;
- cozinha e refeitório para os operários;
- balneário e instalações sanitárias para operários e visitantes.
- laboratório;

7.2.2 Pavilhão oficial

Destinado ao estacionamento de equipamento de operação em aterro e de oficina de manutenção. É dotado de ferramentaria, fossa técnica e de um pátio exterior de estacionamento de equipamento pesado.

7.2.3 Pátio para sucatas

Hoje em dia há necessidade de se prever um local na ETRSU (que se confunde com o aterro sanitário, pois aqui se concentram os diversos órgãos do sistema) para destino temporário de monstros e veículos abandonados na via pública. É uma área pavimentada e cercada dotada de rede de drenagem adequada, que poderá servir para desmontar os objectos de grande volume, com vista ao seu reaproveitamento e reciclagem. Consoante a dimensão da estação de tratamento, poderá ser necessário um pequeno edifício para o responsável do pátio e trabalhadores.

7.2.4 Lava-rodas

Tina de água com nível permanente em que as viaturas de recolha passarão após a descarga na zona dos alvéolos com o objectivo de lavagem dos rodados (Figura 7.2). Consiste de um tanque com água cujo nível é garantido por sistema de bóias, com uma rampa descendente para acesso e outra ascendente, de saída, ambas com sulcos transversais para provocarem uma vibração na passagem dos camiões que permita o desprendimento dos restos de resíduos que as viaturas possam trazer do local de deposição, em especial na época das chuvas.

⁵Mobiliário e electrodomésticos ou outros objectos domésticos volumosos rejeitados.

O nível de água será mantido com água corrente. A água que sai da tina passa por uma fossa decantadora, antes de ser encaminhada para a rede de drenagem.

As lamas do fundo da tina serão removidas periodicamente para a zona de deposição (alvéolos).

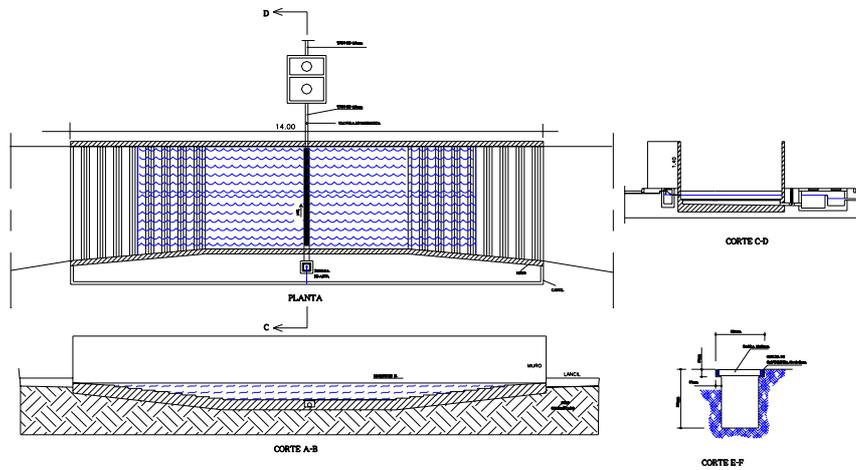


Figura 7.2 - Lava rodas de um aterro sanitário com nível de água controlado por nível de bóia.

Células sensoras

Outra forma de lavagem de rodados é por água pressurizada, comandada por uma central que recebe sinal de ligação através da acção de células sensoras, que actuam quando entra um camião na sua área de influência.

7.2.5 Balança

No arruamento de acesso à ETRSU, normalmente adjacente ao edifício de controlo /portaria ou da exploração, é montada uma balança para o controle dos resíduos que dão entrada no AS.

A pesagem dos camiões é feita quando carregados e na volta depois de vazios para um controle correcto da quantidade de resíduos depositados nos alvéolos. Esta balança deverá ser do tipo báscula para 40 toneladas mínimas, dotada de interface para ligação a computador na sala de pesagem e controle.

Cada camião ao dar entrada nas instalações, depois de autorizado pelo controlador, procede à pesagem da viatura carregada, entregando o seu cartão magnético (previamente distribuído) que automaticamente lança os dados da viatura e da entidade proprietária no computador. O peso bruto é registado e o operador(a) da balança completa a ficha com o tipo de resíduos e o circuito. No regresso, o motorista apresenta de novo o cartão, que é lido pelo programa de gestão de controlo das entradas e completa definitivamente a nota, que de seguida emite a respectiva factura.

7.2.6 Infraestruturas de serviços e de apoio

- **Arruamentos interiores e de acesso**

Os arruamentos interiores são de dois tipos: principais e secundários. Os arruamentos principais são sempre em piso definitivo de betão betuminoso ou outro similar, ligando os diversos edifícios e estruturas da estação de tratamento. Os arruamentos secundários poderão ser em macadame e servem para o tráfego dentro dos alvéolos de deposição ou zonas de empréstimo de terras de cobertura. O dimensionamento é feito para tráfego pesado. A largura dos arruamentos principais é no mínimo de 7.00m desde o portão de entrada, contornando os alvéolos e pátios previstos na zona adjacente à zona de apoio.

Todos os arruamentos são dotados de rede de drenagem de águas pluviais, cujos traçados são definidos em plantas e pormenores em desenhos específicos, referenciados nas respectivas plantas dos projectos.

- **Portão e cancela eléctrica**

O portão de acesso às instalações é de ferro metalizado reforçado, pintado a tinta de esmalte sob primário adequado, assente sobre fundação de betão, de correr sobre trilho e com motor para movimentação automática a partir da sala da balança. A largura do portão é de 8.00m e a altura 2.00m, ou outro similar com idênticas funções.

Antes da plataforma da báscula deve ser prevista uma cancela eléctrica, comandada da sala de pesagens, com o objectivo de ordenar as pesagens e entradas no recinto do aterro sanitário.

- **Vedação**

Com o objectivo de vedar toda a ETRSU, do acesso indesejável de pessoas estranhas ao local, prevê-se uma cerca em rede de aço com protecção termoplástica com carácter definitivo. A altura mínima deve ser de 2.00m terminada com 3 fios de arame farpado a coroar os prumos de tubo galvanizado da vedação. Os elementos constituintes da vedação serão preparados com acabamento anti-corrosivo e pintados com tinta de esmalte à pistola, sob base de primário adequada.

- **Iluminação**

A iluminação é constituída por uma rede com postes e projectores que iluminarão todo o exterior das instalações, incluindo a zona de deposição dos resíduos. Na zona dos alvéolos também haverá torres de iluminação, passíveis de mudança de posição, ou com projectores dimensionados para uma iluminação eficaz da zona de trabalho, uma vez que a maior parte das deposições são feitas à noite.

- **Arranjos exteriores (área verde).**

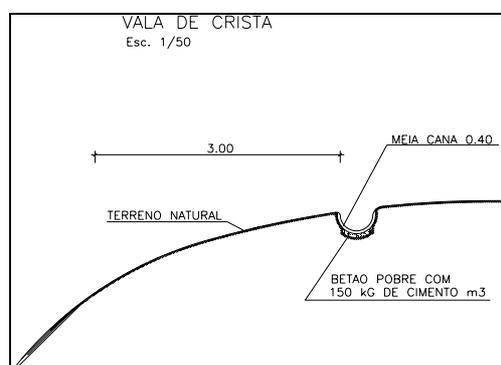
Os cuidados com o aspecto visual de uma infraestrutura sanitária deverão ser os máximos, pois trata-se de uma instalação, quase sempre objecto de alguma contestação popular. Deve projectar-se um arranjo paisagístico que amenize e torne amigável a instalação. Quando necessário, deve prever-se um ecran arbóreo por forma a que do exterior não se vislumbre o local, dando a impressão que se trata de um parque florestal.

Compreende a área circundante dos edifícios, da oficina e a envolvente próxima do AS. contempla o reverdeamento dos alvéolos após encerramento, o tratamento de taludes com coberto vegetal, durante a fase de exploração, com plantas adequadas ao local e descritas em capítulo próprio.

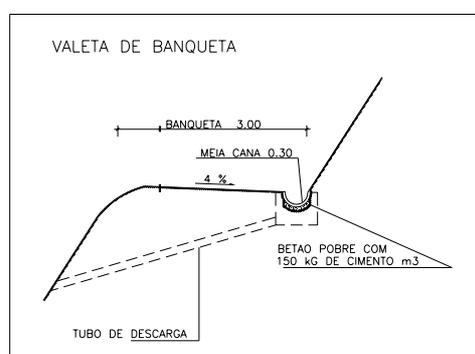
7.2.7 Infraestruturas de protecção ambiental

- **Rede de drenagem de águas pluviais**

Com o objectivo de drenar as águas pluviais, de modo a impedir que se produza mais lixiviados, será construída uma rede de drenagem de águas pluviais que impeça o contacto com os resíduos depositados nos alvéolos. Serão encaminhadas através de drenos para fora da zona da ETRSU, para a linha de escoamento natural mais adequada.



Valeta de crista em talude de escavação para impedir a entrada de águas pluviais na zona dos alvéolos



Valeta em banquetas de um alvéolo, para drenagem das águas pluviais.

As redes de drenagem de águas pluviais são representadas em desenhos à escala apropriada, em planta, quer no exterior da zona de apoio, nos pátios projectados, quer na envolvente dos alvéolos.

- **Rede de drenagem de lixiviados**

Esta rede será instalada no fundo (Figura 7.3) dos alvéolos e é constituída por um conjunto de tubagens com diâmetros adequados aos caudais de lixiviados a drenar com pendentes mínimas de 1%, ligados por caixas de visita e passagem (Figura 7.4) sempre que haja mudança de direcção ou em trecho recto sempre que ultrapasse 60m.

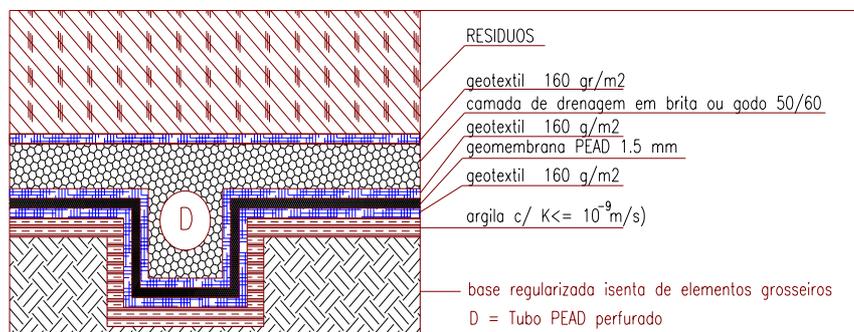


Figura 7.3 - Corte esquemático do dreno de recolha de lixiviados



Figura 7.4 - Vista de caixa de fundo de drenagem de lixiviados

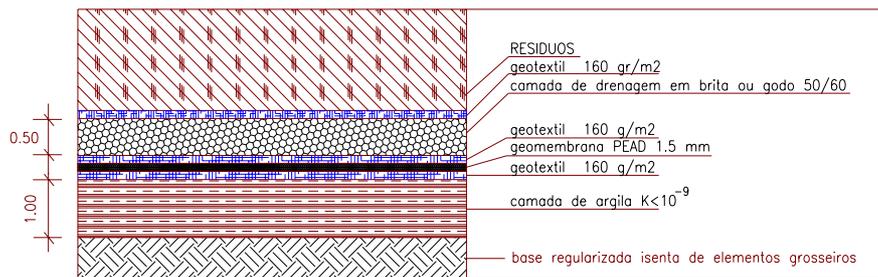
- **Tratamento dos lixiviados**

Os lixiviados produzidos no aterro são drenados pela rede projectada para um sistema de tratamento ou pré-tratamento, consoante os objectivos e o meio hídrico receptor. O tratamento pode ser feito por processos fisico-químicos ou biológicos. Salienta-se a eficácia dos tratamentos por lagoas de estabilização em série, intercaladas por uma lagoa arejada. Demanda em espaço para a sua implantação, que se deve prever na instalação. Uma forma económica de tratar os lixiviados é a sua recepção numa lagoa e a recirculação para diversos pontos do aterro, inoculando o líquido na massa de resíduos. É um sistema fechado com resultados positivos. Neste circuito há uma depuração do efluente, acabando por estabilizar com o tempo, após encerramento do aterro. Apesar das reticências que a U.E. tem vindo a demonstrar, parece ser um caso claro de apoio à instalação de estações de tratamento com elevada incorporação de equipamento (quase sempre proveniente dos países contribuintes da União).

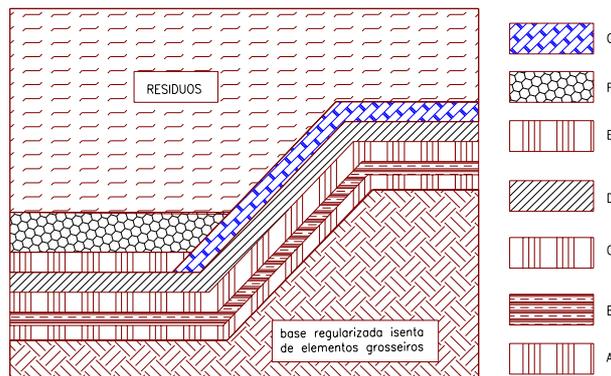
- **Impermeabilização dos alvéolos**

No capítulo 8 aborda-se de forma mais detalhada a aplicação de materiais geossintéticos com diversas funções. Aqui faz-se uma referência genérica.

O fundo dos alvéolos e as paredes laterais tem que apresentar estanqueidade de modo a cumprir com a legislação ou as recomendações das entidades responsáveis pelo Ambiente. Deste modo, podem ser impermeabilizados através de camadas múltiplas geológicas (argilas com espessura de 1 m com o coeficiente de permeabilidade $K \leq 10^{-9} m/s$ medido em condições de saturação, para AS de RSU) e geomembrana de polietileno de alta densidade PEAD nas espessuras recomendadas estruturalmente, como medida de segurança contra a acção poluente dos lixiviados. Estas são as linhas orientadoras insertas nas propostas da directiva aterros, emanada pela UE. As Figuras 7.5, 7.6 e 7.7 representam-se esquemas de impermeabilização do fundo e taludes de alvéolos. um esquema de alvéolo de AS e as diversas redes de drenagem e impermeabilização, com pormenores.



7.5 - Exemplo de um esquema de impermeabilização do fundo de um alvéolo.



7.6 - Exemplo de impermeabilização de fundo e alvéolo de um aterro

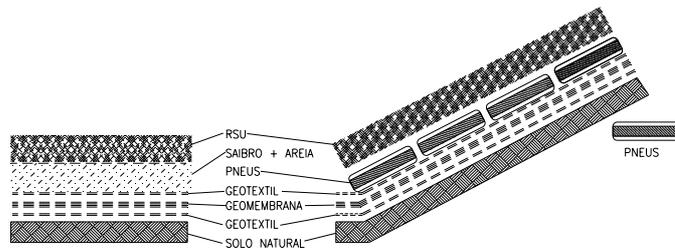


Figura 7.7 Exemplo de fundo de alvéolo impermeabilizado com geossintéticos e talude com camada de pneus usados para protecção mecânica das telas e drenagem mais fácil.

Apresenta-se uma perspectiva esquemática com um corte de um alvéolo de um aterro sanitário na Figura 7.8.

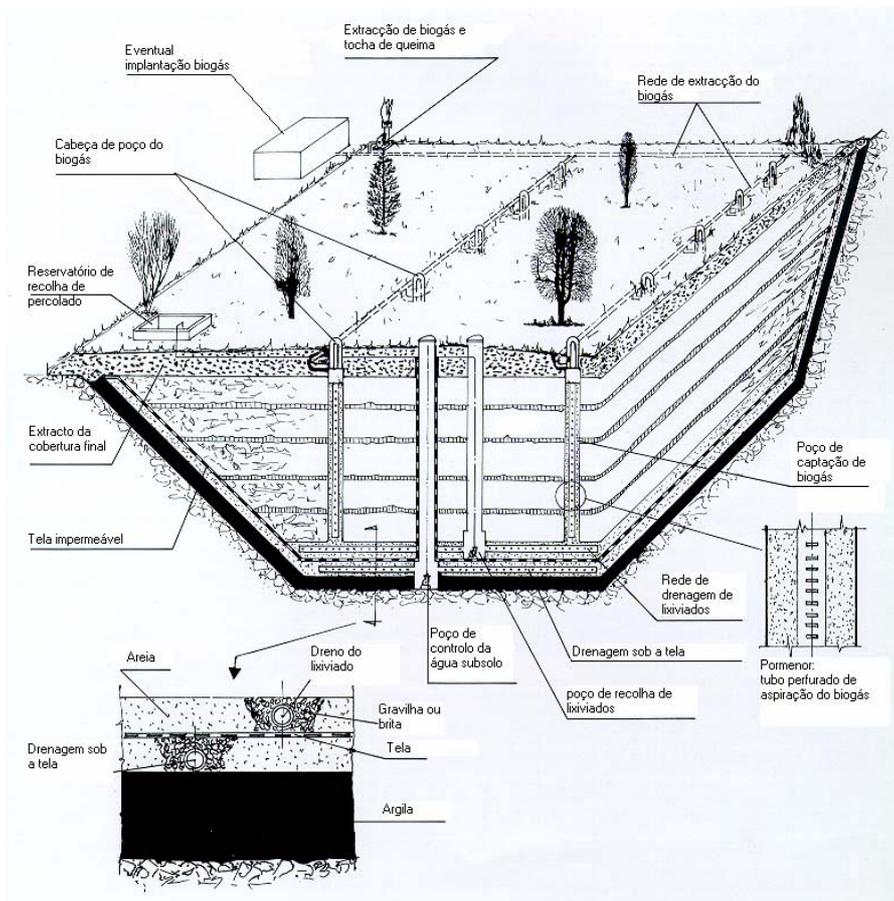


Figura 7.8 - Corte e perspectiva de um alvéolo de um aterro sanitário (exemplo esquemático)

Nos taludes dos alvéolos as geomembranas serão ancoradas em vala de 50x60 no mínimo, podendo ser de maior secção, dependendo da extensão do talude, devidamente preenchida com material adequado para o efeito (saibros ou *tout-venent*).

- **Poços do biogás**

A drenagem do biogás é feita construindo-se poços de drenagem afastados uns dos outros de um raio de 25m ou com raio diferente quando devidamente justificado. A cada poço podem convergir 3 ou mais drenos de tubagem perfurada, formando uma estrela de 3 pontas (ou mais) com ângulo de 120° entre si e comprimento de cerca de 25.00m (inclinação de 1% em direcção ao poço) executadas a cada 5 m de avanço do poço. Os poços são construídos com manilhas (ou anéis) de betão perfuradas com diâmetro e altura de 1.00m. Começam no fundo do alvéolo ancorado a um bloco de gabião e vão crescendo com o mesmo até à cota final onde serão encerrados (cabeça do poço). Poderão ser executadas outras formas de drenagem como as de plano horizontal com recolha perimétrica.



Figura 7.9 - Pormenor da cabeça de um poço de biogás

Ao nível do solo dispõe-se uma tubagem de captação do biogás proveniente dos poços através do sistema de extracção, que conduzirá o biogás para a tocha de queima ou para o sistema de aproveitamento (combustível de geradores de electricidade).

Cada poço concluído é fechado à cabeça com dispositivos de controlo de pressão e de análise qualitativa do biogás e retorno de condensados.

7.2.8 Equipamento de operação

Para operar num aterro deve prever-se equipamento para escavação de terras, espalhamento e compactação de detritos, abertura de valas para drenos de lixiviados, gás de aterro e águas pluviais, manutenção das vias interiores no aterro, carregamento de terras para a área de deposição, transporte de materiais para reciclagem e carregamento de camiões com o material reciclável (vidro, papel, plástico e metal), entre outras actividades.

Aliás, a operacionalidade de um aterro sanitário é determinada pelo equipamento e pessoal disponível, em função das quantidades de resíduos a depositar. Na figura 7.10 apresentam-se alguns dos equipamentos típicos, sendo que no capítulo sobre operação em aterros sanitários se detalhe melhor este aspecto.



Figura 7.10 - Equipamento comum para espalhamento e compactação de resíduos

Exercício:

No quadro abaixo apresentam-se, como exemplo, um cenário possível de exploração e de previsibilidade em matéria de reciclagem e produção de resíduos sólidos para os municípios do Vale do Lima e Baixo Cávado até ao ano 2000.

Estimativa de resíduos recolhidos, crescimento da população e da capitação

Município	Unidades	Estimativa da População Servida com Recolhas						
		1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Viana do Castelo	hab.	64436	65725	67039	68380	69748	71143	72565
Ponte de Lima	hab.	19312	19698	20092	20494	20904	21322	21748
Ponte da Barca	hab.	5740	5855	5972	6091	6213	6337	6464
Arcos de Valdevez	hab.	8226	8391	8558	8729	8904	9082	9264
Barcelos	hab.	103167	105230	107335	109482	111671	113905	116183
Esposende	hab.	29507	30097	30699	31313	31939	32578	33230
Totais	hab.	230388	234996	239696	244490	249379	254367	259454
Prod RSU	ton.	82320	89204	102362	111718	118510	123298	127022
Prod RSU acumulada	ton.			102362	214080	332590	455889	582910
Volume de RSU (m3)	m3			127953	139647	148138	154123	158777
Vol. de cobertura	m3			19193	20947	22221	23118	23817
Vol. Total sem reciclagem	m3			147145	160595	170359	177241	182594
Vol. Total acumulado	m3			147145	307740	478099	655340	837934
Capitação média	g/hab/dia	978	1040	1170	1252	1302	1328	1341
TAXAS DE RECICLAGEM	%			5%	6%	9%	12%	17%
Material reciclado	ton			5118	6703	10666	14796	21594
Volume AS c/ Reciclagem	m3			139788	150959	155026	155972	151553
Volume Acumulado	m3			139788	290747	445773	601746	753299
Taxa de cobertura	%	15%						
Taxa de compactação	Kg/m3	800						

8. METABOLISMOS EM ATERROS SANITÁRIOS

As duas emissões potencialmente poluentes características dos aterros sanitários são o biogás e os lixiviados (emissão líquida), derivadas das transformações físicas, químicas e biológicas processadas no interior da massa de resíduos por via anaeróbia (essencialmente) e pela presença de matéria orgânica putrescível.

O biogás, também designado de gás de aterro, é na realidade uma mistura de gases, maioritariamente constituído por metano e dióxido de carbono, quase em partes iguais e cerca de 5% de outros gases. No presente capítulo apresentam-se os princípios de produção desse gás (biogás), a sua composição, movimentos, taxa de produção com o tempo, as fontes e principais constituintes gasosos, além da produção dos lixiviados.

8.1 MECANISMOS DE PRODUÇÃO DO BIOGÁS

Na literatura da especialidade refere-se à produção de biogás como um complexo de fenómenos possíveis de serem descritos em quatro ou cinco fases mais ou menos bem caracterizadas.

Devido à vincada singularidade de fenómenos ocorridos no interior da massa de resíduos, preferimos apontar para uma descrição da produção em cinco fases distintas:

Fase I: fase inicial - é uma fase de aclimação ou de ajustamento dos microrganismos presentes, na qual os componentes orgânicos dos RSU sofrem uma decomposição microbiana logo que são depositados no Aterro Sanitário.

Esta primeira decomposição biológica ocorre sob condições aeróbias. As principais fontes de organismos responsáveis pela decomposição, (quer seja aeróbia, quer anaeróbia), são o solo utilizado para o recobrimento dos resíduos, os lixiviados provenientes de sistemas de recirculação (quando houver), as lamas de ETAR quando depositadas, que transportam os microrganismos decompositores de RSU.

Fase II: fase de transição - com a rarefacção do oxigénio, inicia-se a anaerobiose no interior do aterro (bioreactor químico).

Os nitratos (NO_3^-) e sulfatos (SO_4^{2-}), electrões receptores nas reacções de conversão biológica, são muitas vezes reduzidos a azoto gasoso (N_2) e sulfureto de hidrogénio (H_2S). Na Quadro 8.1 apresentam-se os electrões receptores típicos em reacções biológicas. Com a queda do potencial redox (oxidação/redução) inicia-se a formação de metano e dióxido de carbono, portanto a 3ª fase deste sistema de transformações químicas e biológicas.

Na fase II o pH do lixiviado começa a cair devido à presença de ácidos orgânicos e ao efeito das elevadas concentrações de CO_2 na massa de resíduos.

Quadro 8.1 - Electrões receptores típicos em reacções biológicas.

Ambiente	Electrão	Processo
Aeróbio	O ₂	Metabolismo aeróbio
Anaeróbio	NO ₃ ⁻	Desnitrificação
	SO ₄ ²⁻	Redução de sulfato
	CO ₂	Metanogénese

Fase III: fase ácida - como já referido, esta fase inicia-se na fase terminal anterior, com a produção do CH₄ (metano), mas acelera verdadeiramente com a actividade microbiana de produção de ácidos orgânicos e menores quantidades de H₂.

O primeiro passo desta fase envolve a hidrólise dos componentes de maior massa molecular (lípidos, polissacarídeos, proteínas e ácidos nucleicos) em compostos passíveis de serem utilizados pelos microorganismos como fonte de energia e carbono. O segundo passo do processo é a acidogénese em que os componentes formados no primeiro passo são convertidos em ácido acético (CH₃COOH), compostos de menor massa molecular, e pequenas concentrações de ácido fúlvico.

O primeiro gás formado nesta fase é o dióxido de carbono (CO₂), através de reacções dos decompositores não-metanogénicos, nomeadamente facultativos e anaeróbios, designados microrganismos formadores de ácidos. Também se formam pequenas quantidades de H₂ nesta fase.

Devido à presença dos ácidos orgânicos e do CO₂ em elevadas concentrações, o pH do lixiviado, quando existe nesta fase, cai para valores abaixo de 5. A CBO₅ e a CQO, bem como a condutividade aumentam significativamente nesta 3ª fase, pela dissolução dos ácidos orgânicos no lixiviado.

Devido ao baixo pH do lixiviado, muitos constituintes inorgânicos, designadamente os metais pesados, solubilizam-se nesta fase. Também muitos nutrientes presentes nos lixiviados, N, P e K, são removidos nesta fase. Se o lixiviado não for recirculado, estes nutrientes fundamentais para o metabolismo dos decompositores, perder-se-ão do sistema. Se não se formar lixiviados, os produtos resultantes das conversões desta fase, permanecem adsorvidos à massa de resíduos e à água contida nos mesmos (field capacity).

Fase IV: fase metânica - é a fase da fermentação metanogénica, em que um segundo grupo de microorganismos (metanogénicos ou metânicos), estritamente anaeróbios convertem o ácido acético e o hidrogénio gasoso, formado na fase ácida, em CH₄ e CO₂, agora essencial e predominantemente. No interior da massa de resíduos no Aterro Sanitário os valores de pH tornam-se mais neutros (6.8 a 8), por sua vez o pH do lixiviado aumenta, e a concentração de CBO₅, CQO e condutividade reduzir-se-ão. Com pH elevados muito poucos constituintes inorgânicos permanecem em solução, resultando em reduzida concentração de metais pesados no lixiviado formado.

Fase V: maturação - ocorre após a conversão dos componentes rapidamente biodegradáveis (CRB) em CH₄ e CO₂ na fase IV. Como a humidade continua a migrar pelo Aterro Sanitário, quantidades de material biodegradável inacessível ou indisponível para ser utilizado pelos microorganismos, passa a estar disponível e será convertido. A taxa de produção de biogás nesta fase diminui bastante, porque os substratos que permanecem no Aterro Sanitário são de biodegradabilidade lenta (Quadro 8.2). Nesta fase os principais gases continuam a ser o CH₄ e CO₂. Nesta fase é comum o lixiviado conter ácidos fúlvico e húmico, cuja tratabilidade biológica é difícil.

A duração das fases descritas depende da característica do aterro e principalmente da distribuição da matéria orgânica e a sua quantidade, do clima (pluviosidade) e modo de operação do aterro (grau de compactação, por exemplo). A falta de água retarda o metabolismo e por isso as fases. Alta compactação dos resíduos dificulta a chegada de água a toda a matéria orgânica, retardando a degradação. Nestas condições, a produção de gás de aterro é lenta e menor.

Figura 8.1 - Fases da geração de biogás em aterros

Quadro 8.2 - Biodegradabilidade e constituintes dos RSU

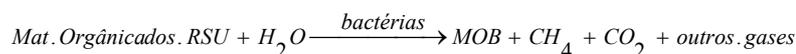
Componentes Orgânicos dos RSU	Biodegradabilidade		Conteúdo em linhite (% SV)	Fracção biodegradável (% SV) ⁶
	Rápida (3 meses a 5 anos)	Lenta (50 ou mais anos)		
Restos alimentares	Sim		40	82
Jornais	Sim		21,9	22
Cartão	Sim		12,9	47
Plásticos ⁷	-	-		
Têxteis	-	Sim		
Borracha e couro		Sim	-	
Madeira		Sim		
Restos jardins	Sim		4,1	72

⁶ FB = 0,83 - (0,028 LC)
LC = % de SV (sólidos voláteis)

⁷ não biodegradável

8.2 VOLUME DE BIOGÁS PRODUZIDO NOS ATERROS SANITÁRIOS.

As reacções químicas decorrentes da decomposição anaeróbia dos RSU podem ser genericamente representadas pela equação:



em que:

MOB - matéria orgânica biodegradável

Daqui se infere que a produção de gás nos aterros sanitários, explanado nas várias fases, depende de vários factores, como a constituição dos RSU, a sua distribuição no Aterro Sanitário, da disponibilidade de nutrientes para os decompositores, teor de humidade dos resíduos e a sua distribuição nos alvéolos e o grau inicial de compactação. Mas essencialmente depende da existência de água.

Os componentes orgânicos presentes nos RSU têm duas características comportamentais em termos de velocidade de degradação: materiais de rápida degradação (3 meses a 5 anos) que são os rapidamente biodegradáveis e materiais cuja decomposição é lenta (50 ou mais anos), como ilustra a Quadro precedente.

Podemos ilustrar com o seguinte exemplo: a falta de humidade (água) retardará a desgaseificação do aterro sanitário, tal como altas densidades de compactação dos resíduos reduz a taxa de bioconversão e de produção de gás, dada a dificuldade da humidade chegar a todos os pontos do aterro sanitário.

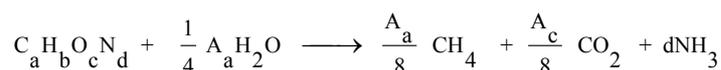
Em aterros sanitários sem suficiente humidade, ditos aterros “mumificados”, jornais (matéria orgânica estabilizada e rapidamente biodegradável), podem permanecer por décadas intactos. Ou seja, a água afecta drasticamente a taxa e o período de desgaseificação de um aterro sanitário. Aqui cabe referir o papel que a inoculação do aterro (massa de resíduos) com lixiviados provenientes da recirculação, podem desempenhar na aceleração dos fenómenos de bioconversão, tal como é preconizado nos processos de bioremediação.

Distribuição de gases de aterro sanitário ao longo do tempo, após encerramento da célula ou do alvéolo, é variável (Quadro 8.3).

Quadro 8.3 - % da constituição dos gases de aterro (biogás) no tempo

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

O volume de biogás produzido durante a decomposição anaeróbia dos resíduos, depende de vários factores. Se considerarmos que a matéria orgânica presente nos RSU, com excepção dos plásticos for representada pela fórmula C_aH_bO_cN_d e assumindo-se a integral decomposição da fracção orgânica em CH₄ e CO₂, pode estimar-se o volume total de gás usando-se a seguinte equação:



em que:

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

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

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

Aplicando-se a equação precedente calcula-se a quantidade máxima possível de biogás em $874m^3/ton$ de matéria orgânica biodegradável decomposta em condições óptimas, que corresponderá mais ou menos a cerca de 2.5 ton de RSU, considerando cerca de 40% de matéria orgânica biodegradável (biogás formado $350 m^3/ton$ de RSU). No entanto, tal não acontece na realidade porque não existem condições para se processarem as transformações em ambiente integralmente óptimo, porque a multiplicidade de factores concorrentes é de tal ordem que não é possível conjugá-los todos ao nível óptimo. Deste modo, se considerarmos um rendimento aproximado de 60% podemos chegar a $200 m^3/ton$ RSU ou $520 m^3/ton$ de matéria orgânica biodegradável destruída biologicamente, como valores realísticos para efeitos de avaliações económicas do aproveitamento do biogás.

8.3 PRODUÇÃO DE BIOGÁS AO LONGO DO TEMPO

Em condições normais, a taxa de decomposição dos resíduos sólidos, fracção orgânica, medida em produção de gás, atinge o seu máximo em 2 anos (G. Tchobanoglous et al, 1993), declinando daí em diante até aos 10 anos, quando praticamente cessa a produção. No entanto, a actividade no interior do aterro sanitário pode prolongar-se para além dos 25 anos. O tempo de actividade depende das condições locais, designadamente o teor de humidade, óptimo em torno de 50 a 60%, e uniformemente distribuído, que raramente acontece. No primeiro caso a actividade decompositora será muito maior, ao passo que a carência de humidade (água) limitará a produção de biogás. Há casos de aterros em que após desenterramento de resíduos, aparecem materiais orgânicos praticamente intactos. Na Quadro 8.4 apresenta-se a constituição do biogás pelos seus principais gases em percentagem do seu peso.

Quadro 8.4 - constituição do biogás

Componente	Fórmula	% volume (varia com a idade do aterro)
Metano	CH ₄	45 - 60
Dióxido de carbono	CO ₂	40 - 60
Nitrogénio (azoto)	N ₂	2 - 5
Oxigénio	O ₂	0.1 - 1.0
Aniões de enxofre	SO ₂ -...	0 - 1.0
Amónia	NH ₃	0.1 - 1.0
Hidrogénio	H ₂	0 - 0.2
Monóxido de carbono	CO	0 - 0.2
Vestígias	-	0.01 - 0.6

O volume teórico máximo de biogás produzido por tonelada de material orgânico decomposto totalmente (em condições óptimas), o que não acontece em aterro devido a vários factores, como anteriormente referido: desigualdade de distribuição de humidade, dos constituintes dos resíduos, quantidade

de água presente, compactação, é de 874 m³ por tonelada de resíduos orgânicos biodegradáveis. Na prática, devido aos múltiplos factores já descritos poderemos prever uma eficiência de 50% a 60%, o que nos dará uma produção de cerca de 200 m³/tonelada como aceitável.

Controlo do movimento do biogás em aterro sanitário:

1) Através de construção de poços de extracção, cujo raio de influência é $r = \frac{x}{2 \cos 30^\circ}$ em que x é a distância entre dois poços.

Figura 8.2 - Distribuição dos poços de biogás

2) Trincheiras horizontais de extracção de gás:

A queima de biogás permite o controlo de CH₄ e dos componentes orgânicos voláteis, sempre que não seja alternativa de recuperação de biogás para produção energética. O controlo efectivo da migração de gás do aterro sanitário é feito por intermédio de poços de extracção ou trincheiras dispostas na periferia do Aterro Sanitário e de poços no interior dos alvéolos, conectados com o sistema de extracção através de bombagem centrífuga, a qual induz uma pressão negativa na tubagem (vácuo) que se transmite à volta de cada poço, na zona de influência de extracção, que obriga o gás produzido a fluir para o poço e depois para o tratamento (queima controlada ou produção de energia). O tratamento por destruição térmica a temperaturas superiores a 850°C com tempo residente na chaminé de queima de 0,3 a 0,5 segundos reduz efeitos poluentes do biogás.

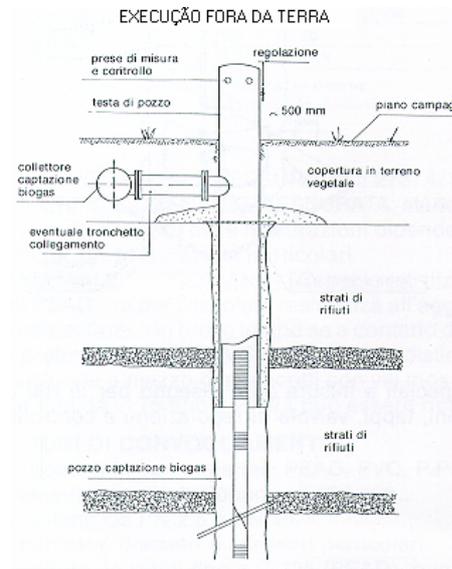


Figura 8.3 - poço de extracção.

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

Posteriormente em alvéolos serão construídos poços de verificação da eventual migração horizontal do biogás, para fora do Aterro. Estes poços fazem parte do sistema de monitorização do Aterro. O mesmo procedimento será feito na zona de deposição antiga (lixreira), caso os resultados dos testes a serem efectuados “in-loco” justifiquem a transferência ou não dos resíduos (total ou parcial) para novo alvéolo.

Condensados

A formação de condensados é inevitável devido às temperaturas registadas no interior do Aterro Sanitário, devido às fermentações (decomposição dos orgânicos - gás quente) e a temperatura à superfície (fria), na tubagem de recolha desse biogás. Por esse motivo são instalados tubos de drenagem dos condensados para o aterro com inclinação mínima de 3%. Nos troços baixos da tubagem de gás horizontal são construídos (instalados) tubos de extracção (drenagem) de condensados (Figura 8.4).

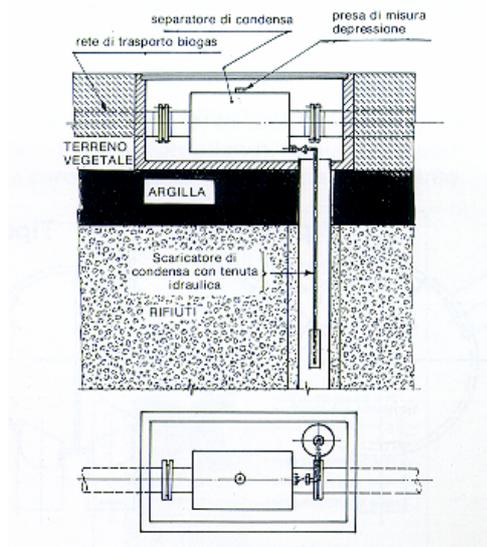


Figura 8.4 - Corte de um poço de condensados típico

8.4 LIXIVIADOS

Lixiviados: como definição pode dizer-se que é um dos produtos do aterro de resíduos com matéria orgânica biodegradável, constituído pela água das chuvas e da proveniente dos próprios resíduos, que transportam no seu fluxo até ao fundo do aterro compostos dissolvidos ou suspensos ou ainda provenientes de transformações entretanto havidas pelos decompositores do aterro sanitário.

A produção de lixiviados deve ser minimizada. Como depende muito da água que entra no sistema, apenas é admissível aquela que entrar via pluviosidade (apenas na área de deposição). Toda a água envolvente, por via subterrânea será drenada para fora do sistema através de uma rede de recolha apropriada, tal como a que escoar superficialmente na envolvente.

Na periferia dos alvéolos haverá uma rede constituída por vales, tubagens, poços de visita, bueiros, que conduzirão toda a água proveniente das chuvas para fora do sistema.

Composição dos lixiviados

Apresenta-se no Quadro 8.5 dados da composição de lixiviados de aterro sanitário em função da idade, onde se pode verificar a evolução da composição em função da idade do lixiviado, o que é o mesmo que dizer que cada alvéolo de um aterro sanitário, com idades diferentes, gerará lixiviados diferentes.

Quadro 8.5. Dados da composição dos lixiviados em aterros novos e velhos

Parâmetros/ Composição	Aterros novos		Aterro com mais de 10 anos
	Intervalo (mg/l)	Valor típico	
CBO ₅	2 000 - 30 000	10 000	100 - 200
CQO	3 000 - 60 000	18 000	100 - 500
COT	1 500 - 20 000	6 000	80 - 160
SST	200 - 2 000	500	100 - 400
Azoto orgânico	10 - 800	200	80 - 120
Azoto amoniacal	10 - 800	200	20 - 40
NO ₃ ⁻ - nitratos	5 - 40	25	5 - 10
P _{tot}	5 - 100	30	5 - 10
Ortofosfatos - PO ₄	4 - 80	20	4 - 8
Alcalinidade em CaCO ₃	1 000 - 10 000	3 000	200 - 1 000
pH	4,5 - 7,5 (s/ unidades)	6	6,6 - 7,5
Dureza total em CaCO ₃	300 - 10 000	3 500	200 - 500

O Quadro mostra a variação da composição com a idade do aterro ou do alveolo considerado. com efeito, se a amostragem for realizada quando o processo bioquímico no aterro estiver na fase ácida (fase III) o pH é baixo, sendo as concentrações em CBO₅, CQO, COT, nutrientes, metais pesados altas. Ao contrário, na fase IV, metanogénica, o pH rondará os 6.5 - 7.5, sendo aquelas concentrações muito mais baixas. A concentração de muitos dos metais pesados será também menor porque a solubilidade é menor em pH neutro (precipitando, portanto, permanecendo no interior do aterro).

A biodegradabilidade do lixiviado é controlada pela taxa CBO₅ / CQO. Inicialmente este indicador é de cerca de 0,50 ou maior.

Rácios entre 0.4 a 0.6 indicam boa e rápida biodegradabilidade do lixiviado. A razão CBO₅ / CQO de aterros velhos é muitas vezes inferior a 0.20; intervalos de 0.05 a 0.20. Esta queda deve-se à existência de ácidos fúlvico e húmico, que são de lenta biodegradabilidade.

Como se pode induzir esta variabilidade de constituição dos lixiviados com o tempo dificulta o estabelecimento de um sistema de tratamento para toda a vida do Aterro. Assim, um método de tratamento de lixiviados para um aterro novo será muito diferente de um para um aterro velho.

Por esta razão preconiza-se um tratamento polivalente com cinco lagoas de estabilização com filtro de crescimento fixo e múltiplas hipóteses de variação dos fluxos do lixiviado e com recirculação para montante do aterro como garantia e segurança do sistema e para potenciar a desgaseificação do mesmo. O processo de tratamento dos lixiviados e biogás será detalhado em documento técnico separado do presente trabalho.

8.5 BALANÇO HÍDRICO NO ATERRO SANITÁRIO

O balanço hídrico, potencial causador de lixiviado a ser tratado, pode ser expresso pelo polinómio das somas das entradas e subtração das saídas.

Entradas de água:

- 1) Chuvas que caem na zona de deposição;
- 2) Humidade residual dos resíduos depositados;
- 3) Água proveniente do material de cobertura das camadas.

Saídas de água:

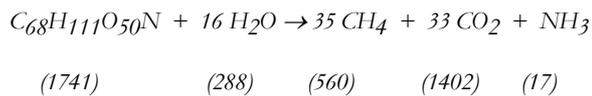
- 1) Água consumida na formação do biogás (fermentação,...);
- 2) Vapor de água (evaporação) que sai do biogás;
- 3) Lixiviado.

Relativamente às entradas de água para o bioreactor, provenientes da humidade de resíduos e do material de cobertura, depende da época do ano em que se realiza a avaliação.

A humidade do material de cobertura ronda os 6 a 12% quando se trata de solos arenosos e de 23 a 30% para solos argilosos.

A humidade dos resíduos pode ser considerada em torno de 50% para a nossa avaliação.

A água consumida na decomposição orgânica pode ser estimada utilizando-se a equação representativa da fracção rapidamente biodegradável:



Com esta equação determina-se o volume dos gases de aterro e da água.

A água consumida é $288/1741 = 0.165$ Kg H₂O/Kg de matéria biodegradável destruída pela actividade microbiana.

Em outras unidades pode estimar-se o consumo de 165 litros de água pelos organismos, por cada tonelada de material rapidamente biodegradável (restos alimentares, papeis, cartão, 60% de resíduos de jardins, limpeza pública) decomposto na sua totalidade.

Para um máximo de 874 m³ de biogás produzido por tonelada de resíduos decompostos pode estimar-se a quantidade de água consumida por m³ de gás:

Água perdida por evaporação

O biogás normalmente está saturado em vapor de água. A quantidade de vapor de água que se perde do aterro é determinada assumindo-se que o biogás está saturado com vapor de água, donde aplicando a equação: $PV = nRT$, ou equação dos gases perfeitos, obtemos 0,035 kg H₂O / m³ de biogás.

Água por evaporação superficial em função do local e de medições meteorológicas, devem ser consideradas no balanço de perdas de água possíveis de formação de lixiviado.

Controlo dos lixiviados no Aterro Sanitário

Um solo constituído por argilas e caulinos com coeficiente de permeabilidade de 10^{-9} m/s ou mais, em condições de saturação, com um espessura de 100 cm, dispensaria a colocação de uma camada de geomembrana como forma de garantia adicional da não percolação de lixiviados para o solo e, por conseguinte, proteger eventuais contaminações de águas de qualquer natureza ou proveniência, no entanto, a moderna legislação estabelece as condições exactas que devem ser seguidas para garantir segurança contra eventuais emissões poluentes contra o ambiente.

A partir de 1992 novos materiais e processos têm sido descritos pela literatura da especialidade e presentes em Congressos importantes neste domínio, que nos dão mais garantias de fiabilidade que materiais anteriormente utilizados e adaptados a estas soluções.

Apresenta-se no Quadro 8.6 as principais características técnicas e ensaios das geomembranas a serem aplicadas em aterro sanitário, de acordo com as rígidas normas americanas. No capítulo 9 é apresentado um conjunto de materiais geossintéticos utilizados em aterros sanitários, com a pormenorização adequada a uma correcta compreensão da matéria.

Quadro 8.6 - Teste de controle das características da geomembrana

Teste	Método de ensaio	Valor típico
1. Resistência de material, propriedades tênséis: a) resistência à tensão limite; b) resistência à tensão ruptura; c) limite de alongação; d) alongação de ruptura	ASTM D638, tipo IV;	1 655 N/cm ² 2 758 N/cm ² 15% 700%
2. Dureza: a) resistência ao início da dilaceração; b) resistência à punção; c) fragilidade a baixas temperaturas.	ASTM D1004 die C FTMS 101B, método 2031 ASTM D746, método B	200 N 1 023 N - 70°C
3. Durabilidade: a) % de carbono preto; b) dispersão de carbono preto; c) envelhecimento acelerado por calor.	ASTM D1603 ASTM D3015 ASTM D573; D1349	2% A - 1 Alteração desprezável após 1 mês a 110°C
4. Resistência química: a) resistência a misturas químicas de resíduos; b) resistência a reagentes químicos puros.	Método EPA 9090 ASTM D543	10% de alteração à resistência à tensão após 20 dias idem após 7 dias
5. Resistência a esforço de ruptura: a) resistência à ruptura; b) resistência à fadiga.	ASTM D1693 condição C	1 500 h

9. GEOSINTÉTICOS EM OBRAS DE AMBIENTE

9.1 INTRODUÇÃO

A protecção do ambiente de impactos negativos resultantes da acção de agentes naturais e da actividade humana tem-se tornado cada vez mais importante para o bem estar do ser humano e dramaticamente importante à sobrevivência da vida na terra.

Porém, subsiste a necessidade da continuação da evolução e do desenvolvimento tecnológico das sociedades, além de que, não podem ser anuladas completamente as causas principais dos impactos negativos atrás referidos. Por estes motivos têm vindo a assumir cada vez mais importância, particularmente nos últimos vinte anos, os estudos técnico-científicos dos problemas de interacção construção-ambiente.

Ao mesmo tempo, provavelmente não apenas por pura coincidência temporal, verificou-se um rápido desenvolvimento de diferentes tipos de materiais sintéticos fabricados sob a forma de folhas ou tiras e da sua aplicação na solução de diferentes tipos de problemas geotécnicos. Por esta razão estes materiais foram compreensivelmente designados por geossintéticos.

A aplicação sistemática dos geossintéticos surge após o aparecimento dos polímeros sintéticos, na década de 40, associado ao desenvolvimento das técnicas de fabrico de geotêxteis com estes materiais, quer tecidos (década de 50), quer não tecidos (década de 60).

A partir dos anos 70 (altura em que são introduzidos os geotêxteis não tecidos agulhados) o uso dos geossintéticos conheceu um notável incremento, derivado, fundamentalmente, das vantagens técnicas e económicas associadas ao seu emprego.

Por outro lado, o desenvolvimento e expansão do mercado de geotêxteis conduziu ao aparecimento de novos produtos, de entre os quais se destacam as geogrelhas, que surgem no início dos anos 80. É nesta altura que J. E. Fluet Jr. (1983) introduz o termo geossintético para designar indiferenciadamente todos os novos produtos.

Este capítulo, em que se pretende analisar os geossintéticos como elementos constituintes de aterros sanitários, começa-se por abordar estes materiais de um ponto de vista geral. Em seguida, para cada elemento estrutural de um aterro sanitário de resíduos municipais em que é possível aplicar geossintéticos faz-se o estudo das funções exercidas e das propriedades requeridas a estes materiais, bem como dos efeitos positivos e negativos no ambiente decorrentes da sua aplicação.

Agradeço a colaboração da minha colega e amiga, Prof. Doutora Maria de Lurdes Lopes da FEUP, uma especialista em geossintéticos, pela redacção deste capítulo.

9.2 GENERALIDADES

9.2.1 *Constituição e processos de fabrico*

Os geossintéticos são produtos obtidos a partir de polímeros sintéticos que se colocam à superfície ou no interior de estruturas, podendo exercer um largo número de funções.

No fabrico de geossintéticos podem ser usados diversos tipos de polímeros, sendo os mais comuns: as poliamidas, os poliésteres, os polipropilenos e os polietilenos (estes dois últimos pertencem ao tipo mais geral das poliolefinas).

A classificação dos geossintéticos assenta, primordialmente, nas diferenças estruturais existentes entre os diferentes tipos, as quais resultam de processos de fabrico distintos. O fabrico de um geossintético é feito, em geral, em três fases: i) - produção do polímero com os seus vários aditivos; ii) - produção dos componentes; iii) - conversão dos componentes no geossintético.

9.2.2 *Funções e Propriedades*

Funções

Quando se pretende usar geossintéticos em obras o primeiro aspecto a considerar consiste em definir claramente as funções que o material deve exercer.

Por função entende-se uma acção específica que o geossintético deve desempenhar para que sejam atingidos os objectivos da sua aplicação, a qual resulta da combinação de certas das suas propriedades.

Os geossintéticos podem desempenhar um largo número de funções. As mais importantes, que se pode considerar que englobam todas as outras, são as funções de drenagem, filtragem, separação, protecção, reforço e barreira de fluidos.

Por drenagem entende-se a capacidade dos geossintéticos de colectar fluidos (água, lixiviados, gases) e de os transportar ao longo dos seus planos.

Por filtragem considera-se a capacidade dos geossintéticos de permitir a passagem dos fluidos normalmente aos seus planos, evitando em simultâneo o arrastamento de partículas sólidas. Esta função pode ser desempenhada em duas situações distintas: para evitar o arrastamento de partículas em suspensão em fluidos percolantes; no interior de maciços terrosos, permitindo a passagem da água mas impedindo a passagem das partículas sólidas.

Na separação os geossintéticos são colocados entre dois solos de granulometria diversa para impedir que se misturem ou interpenetrem.

Por protecção entende-se a capacidade que os geossintéticos têm de redistribuir e uniformizar tensões ou deformações transmitidas ao material protegido. Podem ser consideradas duas situações: na protecção superficial os geossintéticos são colocados sobre os maciços, protegendo-os da acção de agentes atmosféricos, tráfego, etc.; na protecção interfacial os geossintéticos são colocados entre dois materiais (por exemplo, entre uma geomembrana e um solo grosseiro), para evitar que um deles (a geomembrana) seja danificado pela acção de cargas concentradas ou de deformações impostas pelo outro.

Os geossintéticos exercem função de reforço em duas situações: quando exercem ação mecânica de membrana, ou seja, quando são colocados entre duas camadas sujeitas a pressões diferentes e a sua tensão equilibra a diferença de pressões entre essas camadas, conduzindo ao reforço global; quando são colocados no interior de maciços para suportar tensões de tração, obviando assim à incapacidade destes para resistirem a esforços deste tipo.

Ao evitar a migração de fluidos (líquidos ou gasosos), o geossintético está a exercer a função de barreira de fluidos. É de realçar, que as geomembranas são os únicos geossintéticos capazes de exercer esta função, quer isolados, quer como elementos integrantes de outros sistemas de impermeabilização.

Propriedades

Um geossintético deve apresentar um certo número de características para poder desempenhar eficazmente uma determinada função. A definição desse conjunto de propriedades deve considerar fundamentalmente a operatividade do geossintético ao longo da vida da obra (exigências funcionais), não esquecendo, contudo, as ações a que irá estar sujeito durante as operações de manuseamento, armazenagem e colocação em obra (exigências operacionais).

O Quadro 9.1 resume para as seis funções principais as propriedades consideradas de maior relevância para garantir o exercício adequado dessas funções.

A integridade do geossintético durante as operações de manuseamento, armazenagem e colocação em obra depende, fundamentalmente, das propriedades que conferem continuidade ao material, da resistência à tração, da deformabilidade e da estabilidade em relação à temperatura e às radiações ultravioletas.

A estabilidade em relação à temperatura, às radiações ultravioletas e aos ataques químicos e biológicos são propriedades relevantes durante a vida da obra qualquer que seja a função em causa.

Porém além destas outras propriedades são exigidas para garantir o funcionamento da estrutura após a construção.

Quadro 9.1 - Propriedades de maior relevância para as funções principais (adaptado de Lopes,1992)

FUNÇÕES	PROPRIEDADES MECÂNICAS								PROPRIEDADES FÍSICAS E HIDRÁULICAS			PROPRIEDADES EM RELAÇÃO A ACÇÕES AMBIENTAIS				
	ESPESSURA E COMPRESSIBILIDADE	TRACÇÃO			RASGAMENTO	PERFURAÇÃO	RESISTÊNCIA DAS INTERFACES COM OS SOLOS	FLEXIBILIDADE	PERMEABILIDADE			LIGAÇÃO	RADIAÇÕES UV	TEMPERATURA	ATAQUE QUÍMICO	ATAQUE BIOLÓGICO
		RESISTÊNCIA	DEFORMABILIDADE	FLUÊNCIA E RELAXAÇÃO					NORMAL (PERMISSIVIDADE)	TRANSVERSAL (TRANSMISSIVIDADE)	POROMETRIA, EOS					
DRENAME	F	O	—	—	O	O	—	—	F	F	—	F	O,F	O,F	F	F
FILTRAGEM	F	O	—	—	O	O	—	F	F	—	F	F	O,F	O,F	F	F
SEPARAÇÃO	—	O	—	—	O	O	—	—	F	—	F	F	O,F	O,F	F	F
PROTECÇÃO	F	O,F	F	—	O,F	O,F	F	F	—	—	—	F	O,F	O,F	F	F
REFORÇO	—	O,F	F	F	O,F	—	F	F	—	—	—	F	O,F	O,F	F	F
BARREIRA DE FLUIDOS	—	O,F	F	F	O,F	O,F	F	F	—	—	—	F	O,F	O,F	F	F

O - EXIGÊNCIA OPERACIONAL
F - EXIGÊNCIA FUNCIONAL

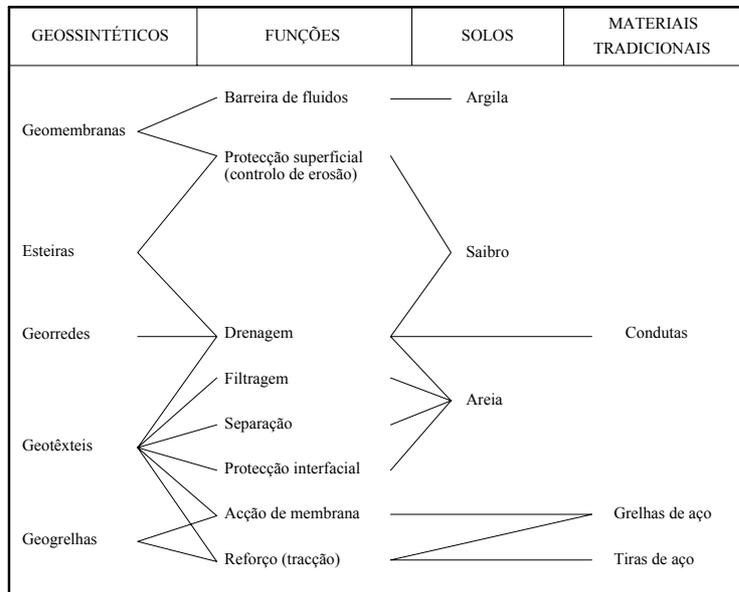
Assim, referindo apenas as funções consideradas mais importantes, quando os geossintéticos actuam como elementos drenantes devem ter adequada permeabilidade normal e ao longo dos seus planos, para permitir a fácil passagem da água. A espessura e compressibilidade devem ser apropriadas e esta última deve ser pequena para que sob carga não haja diminuição excessiva da permeabilidade. A dimensão das aberturas deve ser tal que impeça a passagem das partículas sólidas sem bloqueio ou colmatção.

No caso do material exercer funções de filtragem, para além de adequada permeabilidade normal, deve exibir a flexibilidade necessária ao bom ajustamento à superfície do maciço por ele protegido, impedindo a migração das partículas para os vazios que, doutro modo, seriam criados entre o solo e o geossintético.

Quando os geossintéticos actuam como reforços é fundamental que exibam resistência à tracção, deformabilidade e flexibilidade apropriadas, bem como bom comportamento à fluência e relaxação. A flexibilidade é indispensável para garantir o bom contacto entre o solo e os reforços. Por outro lado, é conveniente que os geossintéticos exibam um adequado comportamento à fluência para que sejam garantidas as características fundamentais do comportamento global da obra em que se inserem durante a sua vida útil. Para além disso, é muito importante que a resistência das interfaces solo-reforços seja suficiente, pois é através dessas interfaces que se desenvolvem as interacções necessárias ao funcionamento conjunto da estrutura compósita.

Quando os geossintéticos exercem funções de separação é relevante que evidenciem dimensão de abertura e permeabilidade normal ao plano convenientes. Por seu turno, quando o material actua como elemento de protecção, para além das propriedades comuns às exigidas para a função de reforço, é importante assegurar uma espessura adequada e a continuidade do material.

Para o exercício da função de barreira de fluidos é fundamental garantir a continuidade do material (para evitar fugas) e a adequada ligação entre faixas (garantir a estanqueidade das juntas), não esquecendo o bom comportamento a longo prazo, ou seja, bom comportamento à fluência e estabilidade em relação aos agentes físicos químicos e microbiológicos.



Quadro 9.2 - Relações entre funções e materiais (adaptado de Giroud, 1986)

É de realçar que não há geossintéticos de aplicação universal. A adequação de cada um ao exercício de determinada função depende de um conjunto de propriedades que lhe são conferidas pela estrutura e pelo material que o constitui.

No Quadro 9.2, sem se procurar ser exaustivo, quer em relação à totalidade de tipos de geossintéticos existentes, quer em relação à totalidade de funções que estes materiais podem desempenhar numa obra, indicam-se, para alguns tipos de geossintéticos de uso corrente, as funções que poderão estar aptos a exercer quando aplicados numa obra ou sistema.

9.3 GEOSSINTÉTICOS EM ATERROS SANITÁRIOS

9.3.1 Introdução

Num aterro sanitário os geossintéticos podem desempenhar diferentes funções, não só nos sistemas de impermeabilização, como também nos sistemas de drenagem, nos sistemas de recobrimento, na fundação, nas estruturas de reforço, etc..

A aplicação dos geossintéticos em aterros sanitários pode ter mais ou menos impactos positivos ou negativos no ambiente, conforme o desempenho exigido, as funções exercidas, o local de aplicação e o tempo de vida da estrutura.

Alguns exemplos dos efeitos negativos no ambiente decorrentes da aplicação de geossintéticos são:

- a introdução de materiais sintéticos num ecossistema natural;
- a presença de uma estrutura permanente, mesmo no caso de já não ser necessária (no caso de enterrada há o risco da sua localização ser esquecida, neste caso, actualmente recomenda-se a utilização de materiais biodegradáveis em substituição dos sintéticos);
- libertação de produtos tóxicos aquando de acidentes imprevistos (por ex.: incêndios) ou roturas dos sistemas de impermeabilização;

Os exemplos dos efeitos positivos no ambiente são felizmente em bastante maior número, de entre eles destaca-se:

- a possibilidade de utilizar materiais de aterro de baixa qualidade;
- a redução da quantidade total necessária de materiais naturais;
- como consequência dos dois exemplos anteriores a redução da exploração de fontes não renováveis;
- a possibilidade de usar plásticos reciclados no fabrico de geossintéticos;
- a redução dos riscos de poluição;
- a possibilidade de aumentar o declive final do perfil do aterro sanitário, permitindo assim aumentar o volume de resíduos armazenados.

9.3.2 Elementos Estruturais

Preâmbulo

Na Figura 9.1 representam-se os elementos estruturais principais constituintes de um aterro sanitário de resíduos municipais típico. Para cada elemento indicado na figura resumem-se, em seguida, as exigências fundamentais para o seu funcionamento adequado, bem como alguns dos problemas relacionados.

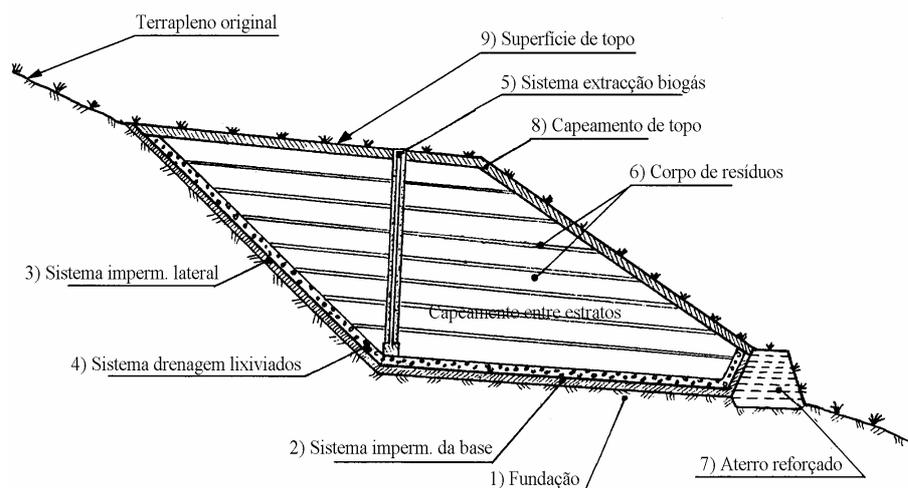


Figura 9.1 - Elementos estruturais de um aterro sanitário típico de resíduos urbanos num talude (Cancelli e Cazzuffi, 1994).

Fundação

Num aterro sanitário pretende-se que a fundação actue como barreira hidráulica natural e possua capacidade resistente adequada e baixa compressibilidade.

A primeira exigência envolve problemas geológicos e hidrogeológicos a considerar na fase preliminar de selecção do local. Naturalmente que a melhor solução teria a ver com a possibilidade de construir sobre um estrato espesso de argila homogénea sobreconsolidada. Porém, a possibilidade de encontrar fundações com estas características é muito baixa, havendo necessidade de, na maioria dos casos, executar sistemas de impermeabilização artificiais.

A segunda exigência relaciona-se com questões de natureza geotécnica. Este problema mal equacionado pode conduzir a roturas por falta de capacidade de carga da fundação, a deformações excessivas e a assentamentos diferenciais responsáveis por roturas dos sistemas de impermeabilização ou ao aparecimento, neste, de fendas e fissuras (Giroud. *et al.*, 1990).

Em geotecnia existe uma larga gama de soluções conducentes ao aumento da capacidade de carga da fundação, de entre as quais se destaca a aplicação de geossintéticos como reforço e simultaneamente como elementos redutores dos assentamentos a valores compatíveis com a deformabilidade do sistema de impermeabilização subjacente.

Sistema de impermeabilização da base

A função fundamental requerida ao sistema de impermeabilização da base é a de actuar como barreira aos lixiviados, protegendo, assim, a água subterrânea da poluição. A produção de lixiviados inicia-se um curto espaço de tempo após a deposição dos resíduos e continua durante muitos anos, mesmo depois da cobertura final do aterro.

A acção dos poluentes na condutividade hidráulica das barreiras é importante, quer no que diz respeito às argilas (Quigley *et al.*, 1987; Daniel e Shackelford, 1989), quer no que se refere às geomembranas (Haxo, 1989; Haxo e Haxo, 1994). Por esta razão, os sistemas de impermeabilização devem ser resistentes a longo prazo, quer aos químicos, quer às temperaturas elevadas (Collins, 1993); por outro lado, devem exibir adequada resistência mecânica.

A relevância do bom comportamento a longo prazo do elemento estrutural em causa tem a ver com a dificuldade de, após recobrimento, os trabalhos de reparação só serem possíveis com enormes custos, especialmente no caso de o aterro se encontrar já concluído (Cancelli e Cazzuffi, 1994).

As exigências referidas podem ser satisfeitas através da utilização de sistemas de impermeabilização constituídos por várias camadas de materiais naturais e diferentes tipos e combinações de geossintéticos.

Sistema de impermeabilização lateral

Nos aterros sanitários os lixiviados devem ser recolhidos e drenados por forma a garantir que na base da estrutura o seu nível é permanentemente inferior a um determinado valor sempre muito baixo.

Os requerimentos exigidos aos sistemas de impermeabilização laterais são basicamente os mesmos exigidos aos sistemas de impermeabilização da base. Porém, para os sistemas laterais a estabilidade interna e a resistência mecânica merecem maior destaque que a resistência química a longo prazo, uma vez que as grandes inclinações dos taludes conduzem à mobilização de elevadas tensões de corte.

Pelo que foi referido, e, ainda, por ser difícil a execução de sistemas de impermeabilização com argila compactada em taludes muito inclinados é comum os sistemas de impermeabilização da base serem diferentes dos laterais.

Sistema de drenagem de lixiviados

Para assegurar o bom funcionamento de um aterro sanitário é essencial que o sistema de drenagem seja contínuo. Por vezes, particularmente quando a condutividade hidráulica das camadas de recobrimento entre estratos de depósitos de resíduos é baixa (não permitindo a completa drenagem dos lixiviados) é necessário considerar simultaneamente drenagem vertical, esta última ligada ao sistema de drenagem da base. É importante que o sistema de drenagem vertical seja deformável, ou seja, apresente capacidade de adaptação às deformações verticais e horizontais do corpo de resíduos. Em muitos casos, o sistema de drenagem vertical está associado ao sistema de extração de biogás (Cossu, 1994).

Sendo as funções exigidas ao sistema a filtragem e a drenagem, naturalmente que as propriedades essenciais a considerar são a transmissividade, a permissividade e a porometria. Porém, uma vez que é necessário manter a carga hidráulica dos lixiviados abaixo de um determinado nível sobre o sistema de impermeabilização da base é importante considerar o comportamento a longo prazo, em particular, a susceptibilidade à colmatação e a resistência aos químicos e à temperatura. Quando os declives dos taludes do aterro são elevados é, também, essencial considerar a estabilidade interna e a resistência ao corte.

Os sistemas de drenagem de lixiviados são, normalmente, constituídos por várias camadas, incluindo um ou mais tipos de geossintéticos.

Sistema de extração de biogás

Em geral, a extração do gás é feita através de poços verticais ligados no topo a tubos horizontais de transporte.

Um pormenor geotécnico a ter em consideração tem a ver com a presença destes elementos verticais no interior de uma massa de material compressível. Os assentamentos do material circundante induzem forças de atrito negativas nas interfaces com este elemento estrutural causadoras de acréscimos de tensão no sistema de impermeabilização da base, próximo do limite inferior do poço, podendo, eventualmente, causar roturas naquele sistema.

A permitividade e transmissividade aos gases são as propriedades fundamentais a considerar para qualquer material envolvente dos tubos de extração. Por outro lado, o comportamento a longo prazo é

também muito importante, daí que seja necessário comprovar a susceptibilidade à colmatação dos materiais que se pretende que exerçam a função de filtro, bem como a sua estabilidade aos químicos e à temperatura.

Corpo de resíduos

Por corpo de resíduos entende-se o conjunto formado pelas camadas de resíduos compactadas com os capeamentos entre estratos e os sistemas de drenagem de lixiviados e de extracção de biogás.

O requisito mais importante exigido ao designado corpo de resíduos é a sua estabilidade, quer durante a construção, quer após o armazenamento final. Esta estabilidade deve ser analisada, quer do ponto de vista externo, quer do ponto de vista interno.

A estabilidade externa depende do comportamento tensão - deformação da massa de resíduos. Este comportamento é responsável pela ocorrência de zonas de instabilidade, quer no aterro, quer no solo natural adjacente.

Os mecanismos de rotura mais usuais em relação aos quais deve ser investigado o coeficiente de segurança são:

- rotura de taludes - ao longo de superfícies curvas atravessando as camadas de resíduos e os capeamentos entre estratos;
- roturas planares - na maior parte dos casos ao longo de superfícies de baixa resistência que se desenvolvem no interior do sistema de impermeabilização da base;
- roturas do fundo (ou da base) - ao longo de superfícies de deslizamento que envolvem o solo de fundação.

A estabilidade externa depende de inúmeros factores (Cancelli, 1989; Jessberger e Kockel, 1993) de entre os quais se destaca:

- o pré - tratamento, a compactação e o peso volúmico dos resíduos;
- a resistência ao corte dos resíduos compactados;
- a resistência ao corte do capeamento entre estratos;
- o comportamento dos sistemas de drenagem de lixiviados e de extracção de biogás;
- a resistência da superfície de contacto com o sistema de impermeabilização da base;
- a capacidade de carga do solo de fundação.

A estabilidade interna relaciona-se com problemas que advêm da deposição de detritos com resistências particularmente baixas (lamas, por exemplo), limitando a possibilidade de manter entre níveis aceitáveis os assentamentos diferenciais e consequentemente, induzindo acréscimos de tensão no sistema de capeamento de topo.

As soluções propostas para aumentar a segurança à estabilidade externa e interna são muitas, passando por:

- pré - tratar os detritos ou melhorar a sua compactação;
- associar detritos com propriedades mecânicas semelhantes;
- reforçar o solo de fundação;
- reforçar as camadas de recobrimento entre estratos, etc.

As funções de reforço podem ser eficazmente levadas a cabo por geossintéticos.

Aterros reforçados

Os aterros reforçados são, muitas vezes, executados no pé do aterro sanitário com o objectivo de aumentar a estabilidade dos taludes deste.

A resistência mecânica é o aspecto fundamental a considerar neste tipo de estruturas. As vantagens que advêm da sua construção na base de um aterro sanitário é possibilitar o aumento da inclinação dos taludes deste, bem como aumentar a sua capacidade de armazenagem.

Caapeamento de topo

Ao sistema de caapeamento de topo é exigido o desempenho de muitas e diversificadas funções, como por exemplo:

- evitar a emissão de contaminantes para a atmosfera e biosfera;
- manter afastados dos resíduos os animais transmissores de doenças (por ex: ratos, insectos, pássaros);
- controlar a infiltração de águas nos resíduos, com vista a optimizar o balanço de água e minimizar a produção de lixiviados (Melchior *et al.*, 1993);
- evitar o arraste pelo vento de poeiras e detritos plásticos leves;
- fornecer condições para o crescimento de vegetação (Hoeks e Ryhiner, 1989).

Este sistema é constituído por camadas incluindo diferentes materiais. Os critérios de dimensionamento variam de país para país e dependem de :

- condições hidrogeológicas locais;
- disponibilidade de solos naturais adequados, quer do ponto de vista da agrónómico, quer do ponto de vista ambiental;
- regime climatérico (pluviosidade);
- dimensões do aterro sanitário;
- duração da fase operativa;
- restrições legais.

No entanto, em qualquer circunstância os requerimentos técnicos são muitos e todos importantes. De entre eles destaca-se (Cancelli e Cazzuffi, 1994):

- a estabilidade dos taludes (depende da estabilidade global a longo prazo e dos assentamentos do corpo de resíduos);
- resistência ao corte ao longo das diferentes interfaces;
- possibilidade de exercer a função de barreira (a líquidos e gases) ou comportar-se como uma estrutura semi - permeável;
- adequada transmissividade das camadas de drenagem;
- resistência a longo prazo aos químicos (embora seja de evitar o contacto deste elemento estrutural com os lixiviados);
- resistência à danificação por animais e plantas;
- resistência à erosão pela água e pelo vento.

Superfície de topo

Este elemento estrutural é, geralmente, considerado em conjunto com o capeamento de topo, devendo, por isso, obedecer aos requisitos indicados em 9.2.9. Porém, a superfície de topo é exigida mais uma função que consiste em integrar o aterro sanitário na paisagem em que foi construído. Por isso, é também importante considerar as possibilidades agrícolas do solo utilizado, não esquecendo os estudos de estabilidade dos taludes e a resistência à erosão pela água e pelo vento.

9.3.3 Funções Desempenhadas pelos Geossintéticos nos Aterros Sanitários

As funções desempenhadas pelos diferentes elementos estruturais constituintes dos aterros sanitários são muitas e diversificadas.

Quadro 9.6 - Grau de aplicabilidade dos materiais usados em aterros sanitários em relação à função requerida (adaptado de Cancelli e Cazzuffi, 1994).

TIPOS DE MATERIAIS	FUNÇÕES										
	A	B	D _W	D _L	D _G	E	F _W	F _L	P	R	S
SOLOS											
brita (GV)			E	E	E		B			B	B
areia (SD)			B	B	E		E	M	E	M	M
argila (CL)		E							E		
mistura solo/bentonite (SB)		E							M		
GEOSSINTÉTICOS											
geotêxtil (GT)	B		B		B	B	E	B	E	M	E
geogrelha (GG)										E	
georede (GN)			E	E	E				M		
tapete (GA)						E					
geocélula (GL)						E					
geomembrana (GM)		E									
dreno geocompósito (GCD)			E	M	E						
geocompósito de reforço (GCR)										E	
geocompósito de argila (GCL)		E							B		
geocompósito de membranas (GCM)		E									

E - Elevado; **M** - Médio; **B** - Baixo

A - absorção; **B** - barreira de fluidos; **D_W** - drenagem de água; **D_L** - drenagem de lixiviados; **D_G** - drenagem de gases; **E** - controlo de erosão superficial; **F_W** - filtragem de água; **F_L** - filtragem de lixiviados; **P** - protecção; **R** - reforço; **S** - separação

A aplicação de geossintéticos em aterros sanitários tem aumentado continuamente, sendo colocados em conjunto com o material solo, em sua substituição parcial ou mesmo em substituição total.

Os diferentes produtos podem ser colocados isoladamente ou como componentes de uma estrutura compósita (geocompósitos). A opção por um ou outro tipo depende das funções exigidas ao material, das propriedades deste, do seu comportamento a curto e longo prazo e do custo.

No Quadro 13.7 resume-se a aplicabilidade dos diferentes materiais utilizados em aterros sanitários com vista à função exigida. Neste quadro considera-se como funções relevantes em aterros sanitários, para além das principais já abordadas neste trabalho (ver 2.2.1) as funções de absorção e controlo de erosão superficial.

A absorção consiste no processo de assimilação ou incorporação de um fluido por um geossintético; por sua vez, no controlo de erosão superficial o geossintético evita a separação e transporte de partículas de solo da superfície do terreno.

9.3.4 Impactos Ambientais Decorrentes da Utilização de Geossintéticos em Aterros

Sanitários

Preâmbulo

A aplicação de geossintéticos em cada um dos elementos estruturais do aterro sanitário atrás mencionados (Figura 9.1) será ilustrada nas secções seguintes através de exemplos. Antes, porém, resume-se no Quadro 9.7 os impactos ambientais mais importantes resultantes da utilização de geossintéticos em aterros sanitários.

Quadro 9.7 - Impactos ambientais mais importantes relacionados com a utilização de geossintéticos em aterros sanitários (adaptado de Cancelli e Cazzuffi, 1994)

ELEMENTOS ESTRUTURAIS DO ATERRO SANITÁRIO	EXIGÊNCIAS FUNDAMENTAIS	GEOSSINTÉTICOS E FUNÇÕES EXERCIDAS		IMPACTOS AMBIENTAIS MAIS IMPORTANTES RELACIONADOS COM A UTILIZAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS EM SUBSTITUIÇÃO DOS SOLOS	
		PRODUTO	FUNÇÃO	POSITIVOS	NEGATIVOS
Superfície de topo	estabilidade, resistência à erosão, estética	GT, GA, GL GCD, GN GG	E, F, A D R	revegetação, controlo das águas superficiais, estabilidade superficial, projecto paisagista	estrutura permanente enterrada a reduzida profundidade, libertação de produtos tóxicos em caso de acidente
Capeamento de topo	barreira aos gases, ventilação de gases, controlo da infiltração de águas, isolamento dos animais, estabilidade	GM, GCL GN, GCD GT GG, GCR	B D S, F, P, R R	controlo de emissões de biogás, economizar solos, armazenamento extra de resíduos, redução de actividade em pedreiras, controlo da produção dos lixiviados, diminuição de tráfego	estrutura permanente enterrada a reduzida profundidade, libertação de produtos tóxicos em caso de acidente

Quadro 9.7 b) - Impactos ambientais mais importantes relacionados com a utilização de geossintéticos em aterros sanitários (adaptado de Cancelli e Cazzuffi, 1994)

ELEMENTOS ESTRUTURAIS DO ATERRO SANITÁRIO	EXIGÊNCIAS FUNDAMENTAIS	GEOSSINTÉTICOS E FUNÇÕES EXERCIDAS		IMPACTOS AMBIENTAIS MAIS IMPORTANTES RELACIONADOS COM A UTILIZAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS EM SUBSTITUIÇÃO DOS SOLOS	
		PRODUTO	FUNÇÃO	POSITIVOS	NEGATIVOS
Aterros reforçados	estabilidade	GG, GCR GT	R R, S	armazenamento extra de resíduos, projecto paisagista, optimização da utilização do local, aumento da estabilidade externa	modificação da morfologia natural
Corpo de resíduos	estabilidade externa e interna	GG, GT GN	R, S D	armazenamento extra de resíduos, optimização da utilização do local	
Sistema de extracção de biogás	drenagem de gases, comportamento a longo prazo	GN GT GG GCL	D S, R R B	economia de solos, redução da carga no sistema de impermeabilização da base, evitar fugas de gases	
Sistema de drenagem de lixiviados	drenagem de lixiviados, comportamento a longo prazo, estabilidade interna	GT GN, GCD	S, F, R D	economia de solos, redução de actividades em pedreiras, aumento da estabilidade, diminuição de tráfego	aumento da carga hidráulica em caso de colmatação

Quadro 9.7 c) - Impactos ambientais mais importantes relacionados com a utilização de geossintéticos em aterros sanitários (adaptado de Cancelli e Cazzuffi, 1994)

ELEMENTOS ESTRUTURAIS DO ATERRO SANITÁRIO	EXIGÊNCIAS FUNDAMENTAIS	GEOSSINTÉTICOS E FUNÇÕES EXERCIDAS		IMPACTOS AMBIENTAIS MAIS IMPORTANTES RELACIONADOS COM A UTILIZAÇÃO DE GEOSSINTÉTICOS EM SUBSTITUIÇÃO DOS SOLOS	
		PRODUTO	FUNÇÃO	POSITIVOS	NEGATIVOS
Sistema de impermeabilização lateral	barreira aos lixiviados, estabilidade externa, comportamento a longo prazo	GM, GCL, GCM GN, GCD GT	B D R, S, F	aumentar o número de locais de implantação possíveis, economia de solos, redução das actividades em pedreiras, redução dos danos à paisagem, controlo da poluição lateral, diminuição de tráfego	poluição das águas subterrâneas em caso de roturas
Sistema de impermeabilização da base	barreira aos lixiviados, comportamento a longo prazo	GM, GCL GN, GCD GT	B D S, F	aumentar o número de locais de implantação possíveis, economia de solos, redução das actividades em pedreiras, redução dos danos à paisagem, diminuição de tráfego	poluição das águas subterrâneas em caso de roturas
Fundação	capacidade de carga, compressibilidade reduzida	GG, GCR GT	R S	minimizar as possibilidades de roturas da fundação, aumentar o número de locais de implantação possíveis, diminuição de tráfego	aumento do tempo de construção

NOTA: as abreviaturas coincidentes com as usadas no Quadro VII têm o mesmo significado.
D - drenagem; F - filtragem

Fundação

Como já foi referido em 9.3.2, num aterro sanitário uma fundação de má qualidade deve ser evitada desde a fase preliminar de selecção do local. Porém, no caso de tal não ser possível é imprescindível levar a cabo estudos geotécnicos no sentido de caracterizar física, mecânica e hidraulicamente o solo de fundação.

Existe uma larga gama de técnicas de melhoramento e reforço de solos. De entre essas técnicas a que procede à aceleração da consolidação do solo de fundação para aumento da sua capacidade resistente constitui um campo de aplicação dos geossintéticos sob o aterro sanitário. A aceleração da consolidação pode ser feita através da instalação de drenos verticais geocompósitos.

Em depósitos de espessura reduzida a média de solos pouco compactos é conveniente realizar um reforço de fundação com o objectivo de homogeneizar os assentamento e reduzir o as tensões no sistema de impermeabilização da base que lhe está sobrejacente. Algumas soluções comuns vão desde a aplicação de geogrelhas biaxiais associadas a solos granulares médios a grossos (Fig. 9.2), geocompósitos de reforço e camadas duplas de geogrelhas uniaxiais dispostas com os elementos longitudinais de cada uma perpendiculares aos da outra.

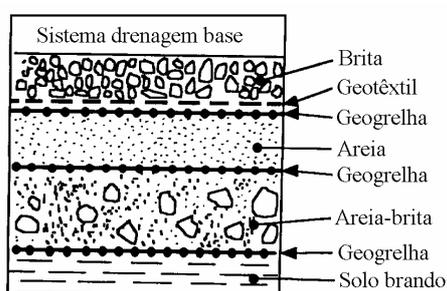


Fig. 9.2 - Exemplo de aplicação de geogrelhas biaxiais na melhoria da capacidade de carga do solo de fundação de um aterro sanitário (adaptado de Rimoldi e Togni, 1991).

O reforço da fundação compensa os acréscimos de custos e de tempo de execução com a redução dos riscos de rutura do sistema de impermeabilização da base, com o aumento do número de locais disponíveis para a construção e com a redução dos custos de transporte e da intensidade de tráfego.

Sistema de impermeabilização da base

Na Fig.9.3 representam-se diferentes tipos de sistemas de impermeabilização para a base (Cossu, 1994). O sistema constituído por uma única camada de argila (Fig.9.3a) é um sistema simples e antigo, que, no entanto, é ainda bastante utilizado, particularmente em locais com condições hidrogeológicas favoráveis.

As desvantagens desta solução são basicamente as seguintes:

- dessecação após compactação e antes de recobrimento por outro material (Mitchell e Jaber, 1990);
- contaminação a longo prazo por lixiviados (Quigley *et al.*, 1987).

No passado foram feitas tentativas no sentido de substituir a argila natural por misturas de areia/bentonite ou silte/bentonite, porém, estas soluções revelaram-se anti-económicas para as espessuras necessárias (Cancelli e Cazzuffi, 1994).

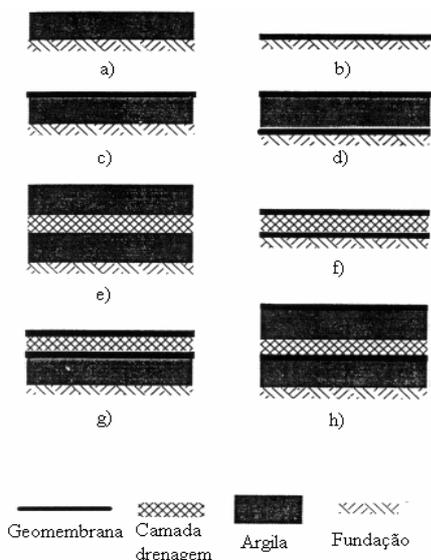


Fig. 9.3 - Tipos de sistemas de impermeabilização (Cossu, 1994): a) camada de argila; b) geomembrana; c) sistema composto geomembrana/argila; d) sistema composto sandwich; e) camada dupla de argila e camada drenante; f) dupla geomembrana e camada drenante; g) sistema duplo semi-compósito com camada drenante; h) sistema duplo composto com camada drenante.

Os sistemas constituídos apenas por uma camada de geomembranas dispostas directamente sobre a fundação (Fig. 9.3b) apresenta problemas de danificação do material quando a superfície de contacto é irregular; por isso, actualmente, é uma solução pouco recomendada.

O sistema geocompósito geomembrana/argila (Fig. 9.3c) constitui uma solução comum em aterros sanitários de resíduos municipais. É recomendado o contacto directo geomembrana-argila compactada, sem interposição de geotêxteis, com vista à redução do fluxo no caso de ocorrência de infiltrações (Giroud e Bonaparte, 1989).

O sistema composto Sandwich (Fig.9.3 d) é mais seguro do que o anteriormente referido, já que, limita os danos resultantes da dessecação da camada de argila. É, porém, mais caro e apresenta problemas relacionados com a possibilidade de danificação das geomembranas no contacto com a fundação, não sendo, por isso, a sua aplicação muito comum.

Os sistemas representados na Fig. 9.3e) a h) expressam a evolução dos sistemas de impermeabilização duplos com camada de drenagem intermédia. Esta camada de drenagem tem por função, não só, recolher e drenar os lixiviados que eventualmente atravessam o primeiro sistema, como também, permitir a colocação de tubagem de inspecção. A aplicação de geotêxteis como separador é essencial na superfície de contacto camada drenante-argila compactada (Fig. 9.3 e e h) e também na protecção das geomembranas (Fig. 9.3 f, g, h). A camada de drenagem é usualmente constituída por materiais granulares (areia ou brita fina), podendo, no entanto, estes materiais ser substituídos com eficácia e com vantagens, quer de índole económica, quer de redução do impacto ambiental por georredes (particularmente, em locais com escassez de solos granulares).

Os sistemas representados na Fig. 9.3 e) e f) apresentam um tipo único de barreira (argila ou geomembrana). Esta circunstância não é favorável à segurança em caso de acidentes, daí que sejam pouco usados.

No que diz respeito à utilização de geossintéticos em sistemas de impermeabilização a questão principal a considerar é a durabilidade das geomembranas. Os ensaios essenciais a realizar com as geomembranas antes da sua colocação sob resíduos incluem:

- o estudo da resistência química (por imersão);
- ensaios de tracção, punçoamento, rasgamento e impacto;
- ensaios de corte directo e de arranque;
- ensaios de resistência das juntas;
- ensaios hidráulicos.

Deve, também, ser tido em conta a influência de temperaturas superiores a 40°C (Cancelli e Cazzuffi, 1994).

Os impactos ambientais decorrentes da aplicação de geossintéticos em sistemas de impermeabilização são muitos e a maior parte deles são positivos. Assim, refira-se que a utilização de geomembranas ou de outro tipo de sistemas compósitos com geossintéticos permite construir aterros sanitários num maior número de locais. Locais esses que, de outro modo, exigiriam o transporte a longas distâncias de grandes quantidades de solos argilosos naturais. Desta circunstância advém a redução do tráfego devido, quer ao transporte da argila (fase de preparação do local), quer ao transporte dos resíduos (fase de operação). Estas mesmas vantagens podem ser atribuídas à utilização de georredes em substituição dos materiais de drenagem naturais (areia, brita). Por outro lado, o volume total disponível para depósito aumenta e os danos na paisagem e nas áreas de pedreiras são menores.

Sistema de impermeabilização lateral

Nos sistemas de impermeabilização laterais para além das exigências hidráulicas correntes é necessário considerar alguns aspectos particulares. Com efeito, a inclinação dos taludes dificulta a compactação adequada das camadas de argila, por isso são, normalmente, adoptados sistemas de impermeabilização de geomembranas, geocompósitos de argila e geocompósitos de membranas muitas vezes com georredes ou geocompósitos de georredes em substituição da camada drenante intermédia.

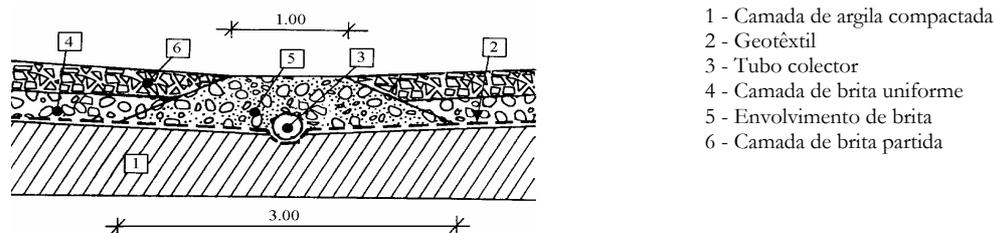
A solução apresentada na Fig.9.3 c) com a variante de substituir a camada de argila compactada por um geocompósito de argila é muitas vezes utilizada nos sistemas de impermeabilização laterais de aterros sanitários de resíduos municipais.

Os aspectos mais importantes a considerar no dimensionamento deste tipo de sistemas tem a ver com a estabilidade externa e interna e com a resistência das interfaces entre os diferentes materiais.

Os impactos ambientais positivos relacionados com a execução de sistemas de impermeabilização laterais com geossintéticos consistem no controlo das infiltrações de águas subterrâneas, para além dos já referidos para os sistemas de impermeabilização da base.

Sistema de drenagem de lixiviados

A Fig. 9.4 representa esquematicamente uma secção de um sistema de drenagem de lixiviados na base de um aterro sanitário. Nesta secção proposta por Ramke (1989), o geotêxtil actua como separador ou como protector, respectivamente, quando o sistema de impermeabilização da base tem uma camada de topo argilosa ou quando o mesmo sistema tem, no topo, uma geomembrana.



- 1 - Camada de argila compactada
- 2 - Geotêxtil
- 3 - Tubo coletor
- 4 - Camada de brita uniforme
- 5 - Envolvimento de brita
- 6 - Camada de brita partida

Fig. 9.4 - Exemplo de sistema de drenagem de lixiviados (adaptado de Ramke, 1989).

Naturalmente que existe uma infinidade de variantes a este esquema, incluindo algumas das sugestões que visam uma aplicação mais generalizada dos geossintéticos. Uma alternativa, particularmente válida para a drenagem lateral inclui a substituição da camada drenante por uma georede (colocada sobre uma geomembrana protegida por um geotêxtil) coberta por um geotêxtil (que funciona como filtro), por sua vez, coberto por uma camada protectora de solo que fica em contacto com os resíduos. Nesta solução por vezes utilizam-se duas camadas de georedes para compensar a redução de transmissividade causada pela penetração da georede no geotêxtil (Bonaparte *et al.*, 1985). Outras alternativas incluem a utilização de diferentes tipos de drenos geocompósitos pré-fabricados todos eles contendo uma georede.

Os ensaios a realizar com as georedes a utilizar em sistemas de drenagem de lixiviados são basicamente os seguintes:

- ensaios de resistência química;
- ensaios de resistência à compressão;
- ensaios de fluência e de corte directo;
- ensaios de transmissividade.

Os impactos ambientais positivos devidos à utilização de geossintéticos em sistemas de drenagem de lixiviados são:

- redução das quantidades de solos a ser explorados em pedreiras com as consequentes reduções de tráfego e de danos à paisagem;
- aumentar o volume disponível para deposição de resíduos no mesmo local.

Sistema de extracção de biogás

As possibilidades de aplicação de geossintéticos nos sistemas de extracção de gases são menores do que nos restantes elementos estruturais do aterro sanitário.

Assim, é recomendada a utilização de geotêxteis como separadores entre o material granular envolvente da tubagem horizontal e o material de capeamento (Cancelli e Cazzuffi, 1994). Como alternativa sugere-se a utilização de georedes em torno dos tubos perfurados.

Os poços verticais têm, normalmente, grande diâmetro (cerca de 1m ou mais). Exteriormente estão envolvidos por anéis de betão perfurado, preenchidos por material granular grosseiro (Leach, 1991). Uma solução alternativa com vista à redução da rigidez da estrutura vertical consiste em substituir os anéis de betão por anéis em geogrelhas (ver Fig. 9.5).

Apesar de esporádicas, as aplicações de geossintéticos em sistemas de extracção de biogás têm os seguintes aspectos ambientais positivos:

- economizar material granular no caso da aplicação de georredes no sistema de drenagem horizontal;
- redução do atrito lateral nos poços verticais e consequentemente redução da sobrecarga no sistema de impermeabilização da base quando são aplicados anéis de geogrelha na construção dos poços verticais;
- permitir trabalhos de reparação em torno da parte superior dos poços de extracção de gases;
- evitar fugas de gases.

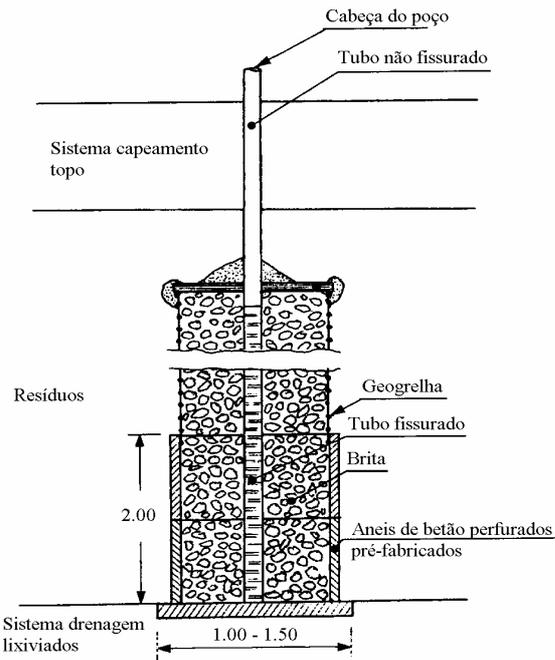


Fig. 9.5 - Esquema de poço vertical para extracção de biogás em que são utilizados anéis de geogrelhas (adaptado de Cancelli e Cazzuffi, 1994).

Corpo de resíduos

Para além da aplicação de geossintéticos nos sistemas de drenagem de lixiviados e de extracção de biogás é possível usar estes materiais no reforço do corpo de resíduos quando a estabilidade externa ou interna deste não está assegurada.

Este reforço pode ser necessário por diferentes motivos. Por exemplo: para expansão vertical de um aterro sanitário existente (ver Fig. 9.6); para reforço do talude do aterro sanitário com vista ao aumento da inclinação deste (ver Fig.9.7).

No primeiro caso (Fig.9.6), devido à capacidade de carga baixa do antigo corpo de resíduos, que virá a estar sujeito a mais assentamentos no futuro em consequência da deposição dos novos detritos, criou-se um sistema de impermeabilização reforçado com uma geogrelha biaxial (Chouery-Curtis e Butchko,1991). É de notar que nesta aplicação foi criada uma subcamada reforçada com o objectivo de prevenir roturas pela

base. A única diferença, neste caso, é que o material de fundação em vez de solo de baixa resistência é constituído por resíduos instáveis.

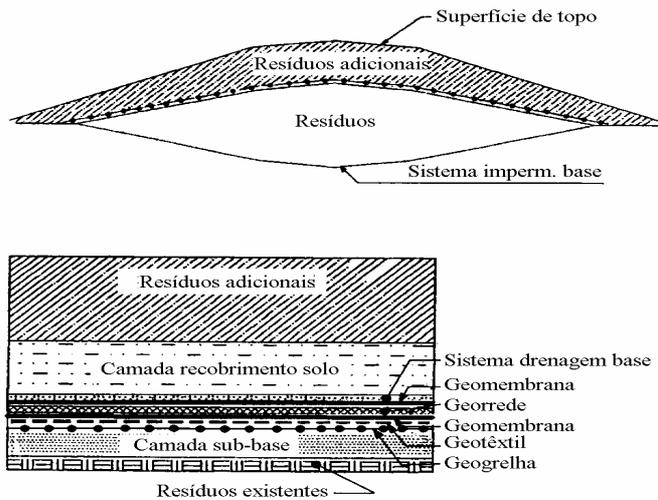


Fig. 9.6 - Expansão vertical de um aterro sanitário e pormenor esquemático do novo sistema de impermeabilização da base reforçado com geossintéticos (adaptado de Chouery-Curtis e Butchko,1991).

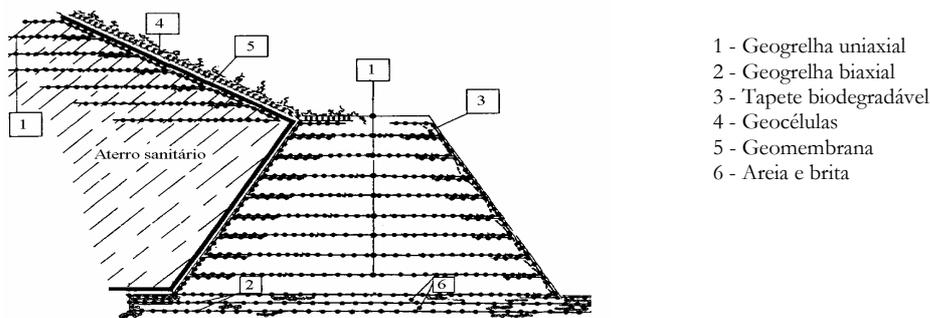


Fig. 9.7 - Exemplo de aterros de solo e taludes de aterros sanitários reforçados com geossintéticos (adaptado de Rimoldi e Togni, 1991).

No segundo caso (Fig.9.7), o reforço do talude do aterro sanitário tem por objectivo o aumento da sua inclinação mantendo-o estável. No final a superfície exterior foi revestida por geocélulas para controlo da erosão (Rimoldi e Togni, 1991).

Os critérios de dimensionamento de reforço de solos e reforço de resíduos baseiam-se nos mesmos princípios, havendo que considerar as diferenças óbvias existentes nos parâmetros de resistência e deformabilidade dos diferentes materiais (solo e resíduos).

Os dois exemplos apresentados são paradigmáticos dos impactos ambientais positivos relacionados com a utilização de geossintéticos no corpo de resíduos. Com efeito, o volume total disponível para depósito no mesmo local aumenta sem consequências negativas para a estabilidade do aterro.

Aterros reforçados

A construção de aterros reforçados no pé do corpo de resíduos é uma solução muitas vezes adoptada para aumento da capacidade de depósito do aterro sanitário. Um exemplo deste tipo de solução pode ser visto na Fig. 9.7 (ao lado direito) que representa um aterro de 5,4m de altura reforçado com nove níveis de geogrelhas uniaxiais, estando a fundação reforçada com dois níveis de geogrelhas biaxiais espaçadas de 0,25m. No revestimento exterior do talude colocou-se um tapete biodegradável para favorecer o crescimento da vegetação (Rimoldi e Togni, 1991).

Capecimento de topo

Na Fig. 9.8 representa-se uma secção de um sistema de capecimento de topo típico de um aterro sanitário.

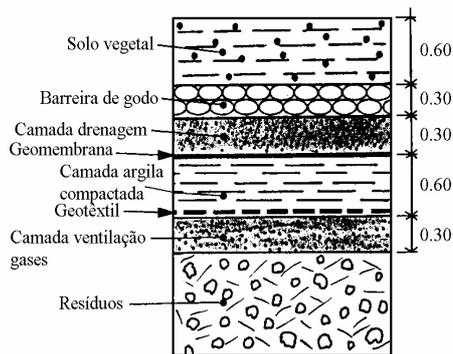


Fig. 9.8 - Representação esquemática de uma secção de um sistema de capecimento de topo típico (adaptado de Wallace, 1993).

Como este sistema deve exercer adequadamente a função de barreira de fluidos, quer do interior para o exterior do aterro, quer no sentido inverso, o sistema de impermeabilização propriamente dito (na figura, sistema composto geomembrana/argila com 0,60m de espessura) está limitado acima e abaixo por dois tapetes de drenantes. O inferior funciona como ventilador do biogás produzido pelos resíduos e o superior como camada de drenagem das águas infiltradas. O sistema é completado com solos de recobrimento que podem variar em composição e espessura de país para país em função do regime climático e da legislação do país.

Os requerimentos principais a considerar incluem a análise da estabilidade externa do corpo de resíduos, a análise da estabilidade do próprio sistema de recobrimento, a qual deve incluir o estudo da resistência das interfaces entre as várias camadas e entre o sistema de impermeabilização e os materiais adjacentes, a estabilidade em relação à erosão dos solos de recobrimento e, naturalmente, o comportamento hidráulico do sistema de impermeabilização.

Nos sistemas de impermeabilização constituídos por geossintéticos os ensaios sobre geomembranas a realizar são os mesmos referidos em 9.3.4, os ensaios hidráulicos avaliar a permeabilidade destes materiais ao vapor de água e ao metano.

A substituição de solos por um sistema de várias camadas de geossintéticos (incluindo a combinação de geomembranas, georredes e geotêxteis com diferentes funções) aumenta a capacidade de armazenagem do aterro sanitário (ver Fig. 9.9), sendo este um dos aspectos positivos, em termos de impacto ambiental, que pode ser imputado à utilização de geossintéticos nas camadas de recobrimento de topo.

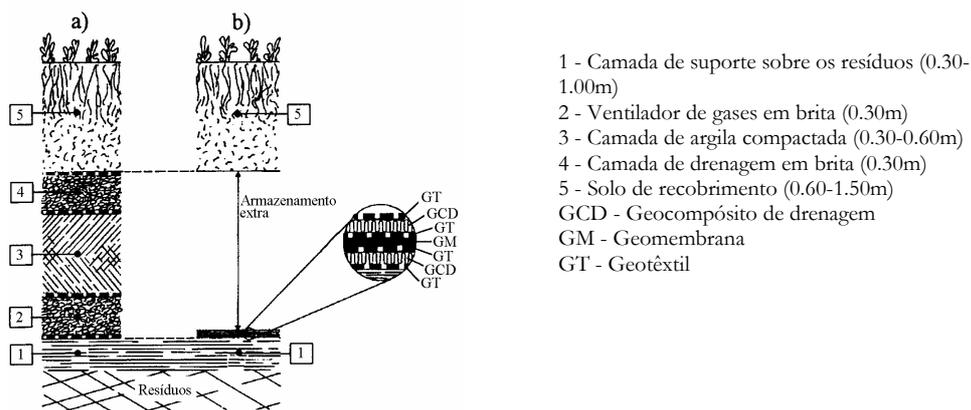


Fig. 9.9 - Comparação de dois sistemas de recobrimento: armazenamento extra resultante da substituição dos solos por geossintéticos (adaptado de Hoekstra e Berkhout, 1990).

Superfície de topo

Até à data, pouca atenção tem sido dada ao elemento estrutural designado por superfície de topo. A maioria das descrições e regulamentos incorpora a superfície de topo no capeamento de topo, embora, tal como mostra a Fig. 9.10, desempenhe funções distintas.

Na maioria das situações a superfície de topo necessita da incorporação de solos com características agrícolas. O principal problema a considerar tem a ver com a estabilidade superficial, que deve ser analisada, quer do ponto de vista da estabilidade de taludes, quer do ponto de vista do controlo de erosão pela água e pelo vento. A estabilidade superficial pode ser assegurada através da aplicação de geossintéticos apropriados. A selecção do geossintético adequado depende dos parâmetros de pluviosidade e escoamento, da permeabilidade dos solos, inclinação e comprimento dos taludes e utilização futura dos solos.

9.3.5 Considerações Finais

Ao longo de 9.3.4 pôs-se em destaque as vantagens, em termos ambientais, da aplicação de geossintéticos nos diversos elementos estruturais de um aterro sanitário.

Como se pode verificar da leitura do texto os benefícios são muitos e diversificados. É, no entanto, de realçar que esses benefícios só são efectivos se os geossintéticos exercerem cabalmente as funções que lhe são exigidas, o que só é possível se forem convenientemente dimensionados para tal.

O controlo da qualidade dos materiais antes da sua aplicação em obra é outro aspecto de primordial importância a considerar. Com efeito, sendo materiais cujo comportamento é dependente de um largo número de factores e cuja susceptibilidade a agentes físicos e químicos pode ser significativa é importante comprovar se os valores das propriedades do material recebido são idênticos aos valores das especificações do mesmo.

O progresso dos conhecimentos acerca do comportamento a longo prazo destes materiais é outro aspecto importante, não esquecendo o controlo e observação das obras, aspecto este que em muito beneficiaria o completo entendimento do funcionamento destes materiais *in situ*.

Nota: recomenda-se a leitura de “Aplicação de geossintéticos em obras de ambiente”, da autoria da Prof. Doutora Maria de Lurdes Lopes, FEUP, donde foi extraído este capítulo, com a devida autorização.

10. ENCERRAMENTO E RECUPERAÇÃO DE ATERROS

10.1 RECUPERAÇÃO DE LIXEIRAS

As lixeiras são locais insalubres onde são geralmente depositados os lixos de comunidades ou de entidades privadas ou públicas, sem controlo ambiental e muitas vezes clandestinamente. Os resíduos são espalhados sem critério de ordenamento e muitas vezes permanecem em combustão espontânea devido à emissão de metano, ou propositada, para melhor retirada de metais por parte dos catadores.

Na recuperação e encerramento de uma lixeira é necessário uma avaliação ambiental da área e o estabelecimento de uma estratégia a seguir. Geralmente é conveniente o confinamento de todo este lixo de modo a que se apliquem as etapas de encerramento. Deve ser feita uma sondagem local para determinar o alcance dos lixiviados no solo. Se as características do solo forem permeáveis e o local uma recarga de um aquífero importante, cuidados extras deverão ser tidos, como a transferência de todos os resíduos para alvéolos impermeabilizados. No caso em que tal não acontece, as etapas de encerramento são as seguintes, apresentando-se como exemplo dimensões típicas de tubagens a serem usadas na maior parte dos casos em Portugal. Para cada caso deve haver uma avaliação dimensional e ter em conta as realidades concretas:

- Extinção do fogo, se existir, com auxílio de máquinas pesadas, tipo “bulldozer” e cobrir com terras.
- Compactação e recobrimento dos resíduos, conformando-o de acordo com as cotas de projecto.
- abertura de poços de desgaseificação e instalação de drenos em estrela de 3 ramos a 120°, sendo contabilizados um poço e uma estrela com área de influência circular com raio de 25m.
- compactação dos resíduos seguido de espalhamento e compactação de uma camada de 60 cm de terras do local, modelando de acordo com o plano de recuperação.
- colocação de uma manta de geotêxtil e de uma geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) sobre esta área, com as devidas ancoragens, por forma a evitar que os lixiviados se possam formar com a entrada de águas das chuvas ao percolarem a massa de resíduos.
- fechamento das cabeças dos poços de biogás e interligação dos mesmos com tubagem de PEAD nos diâmetros recomendáveis (experiência portuguesa $\Phi 174\text{mm}$ em grande parte).
- montagem das ventilações.
- colocação de uma manta geotextil sobre a geomembrana e de uma camada de 40 cm em média de terras de granulometria adequada como protecção mecânica da tela.
- colocação de uma camada de terras do local com espessura de cerca de 80 cm sobre a camada de protecção mecânica, de forma a que a espessura total de terras seja de 1.20m. Procurar-se-á

colocar nas camadas superficiais terras pretas, mais ricas em matéria orgânica, para potenciar a cobertura vegetal.

- plantação de um coberto vegetal autóctone, resistente.

As especificações dos geossintéticos dependem de caso para caso, porém, a experiência aconselha-nos para a realidade portuguesa geomembranas de 1.5mm no mínimo e geotêxtil de 250 g/m² como mínimo.

10.2 ENCERRAMENTO DO ATERRO SANITÁRIO APÓS A EXPLORAÇÃO

Uma vez terminada a deposição de resíduos nos alvéolos, este espaço será integrado ao meio natural de acordo com a modulação prevista em projecto. Procurar-se-á atender à topografia da envolvente por forma a constituir uma paisagem agradável e integralmente recuperada e harmoniosa. Os projectos dos aterros sanitários devem contemplar o encerramento com um projecto parcelar de paisagismo, pois o compromisso do dono da obra ao construir um AS é devolvê-lo ao Ambiente sem o ferir, pondo-o ao serviço do Homem destinatário natural desse Ambiente.

10.2.1 Coberto vegetal

Alguns autores consideram esta operação como sendo de revegetalização. Com efeito, consiste na tentativa de reconstituição com remodelação do local de deposição, em função do seu destino final após encerramento. Nestes casos propõe-se a devolução daquele espaço à utilização pública, uma vez que existem estruturas construídas que podem ser adaptadas a novas funções, tais como:

- área de relvados;
- arranjo paisagístico e florestação;
- zona desportiva e/ou de recreio (campos desportivos ou apenas parque público).
- parque municipal.

A revegetação de um aterro, depende de princípios de agronomia simples, sem prejuízo de projecto específico, destacam-se os seguintes princípios:

- preparação de um solo favorável ao desenvolvimento da componente vegetal;
- plantação de espécies adaptáveis à região e ao meio.

10.2.2 A forma do aterro

A forma do aterro, acima das cotas do terreno, segue o formato de uma pequena elevação, ajustada à envolvente natural através das curvas de nível. A escorrência das águas pluviais é garantida pelos drenos de sopé do alvéolo e das banquetas com inclinação para dentro (2 a 4%) em direcção à valeta, que desviam as águas pluviais do contacto com a massa de resíduos.

Assim, as sucessivas camadas de resíduos são ligeiramente inclinadas para facilitar o escoamento casual das águas e formar uma espécie de cúpula que evita a estagnação à superfície. No encerramento de

qualquer alvéolo deve realizar-se um ligeiro relevo na plataforma de topo, para evitar a formação de uma depressão, quando aquela massa abater devido aos fenómenos bioquímicos ali operadas.

10.2.3 Características do solo de suporte

Estrutura e permeabilidade: O solo de suporte deve ser permeável à água e ao ar, logo, deve ser colocado sem compactação; uma estrutura fragmentária suficientemente fina é um importante factor de sucesso.

Textura: Uma textura muito argilosa ou muito arenosa pode causar problemas, sendo por isso preferível uma textura equilibrada.

Presença de elementos grosseiros e duros: são aceitáveis alguns elementos duros no solo a plantar árvores e arbustos, no entanto são de evitar quando o objectivo é a constituição de relvados, em que é necessário um material terroso sem pedras. Por outro lado, os solos para cultivo não devem conter elementos grosseiros e estranhos (plástico, madeira, tecido, etc.) que podem prejudicar o funcionamento das máquinas agrícolas.

Riqueza nutritiva: A riqueza nutritiva do solo de suporte é facilmente corrigida por adição de adubos minerais.

Fauna e flora: Mesmo uma terra sem organismos vivos serve perfeitamente pois os seres vivos surgem rapidamente com a vegetação.

Exemplos de solos de suporte:

- material proveniente da terraplanagem preliminar do local;
- material proveniente de escavações em obras nas redondezas;
- material proveniente de uma escavação feita para formação de alvéolos ou lagoas de tratamento de lixiviados;
- estrume;
- lamas secas de ETAR.

Estes materiais são usados, de preferência, misturados. No caso de não haver materiais terrosos em quantidade suficiente, poder-se-à, fazer uma mistura de terra e resíduos domésticos estabilizados (fim da actividade biológica e química da fracção orgânica), devidamente triturados, em que a terra deverá representar pelo menos 50% da mistura.

10.2.4 Espessura do material de cobertura

A espessura da camada de cobertura deverá ser de pelo menos 30 cm, no entanto preconiza-se uma camada média de 80 cm de solos locais, por cima da geomembrana de impermeabilização da cobertura por cima da qual se deposita uma camada de solos seleccionados para suporte da vegetação. Chama-se a atenção para a constituição de uma bolsa de "terras pretas", provenientes de qualquer escavação na ETRSU ou nas redondezas desde a abertura do aterro, os produtos da escavação devem ser depositados numa área anexa.

Para um revestimento florestal é aconselhável uma cobertura de solo de suporte com uma espessura de 2 m, no mínimo. Para um revestimento herbáceo, basta proceder à cobertura do aterro em duas etapas:

- em primeiro lugar, um material terroso não compactado, eventualmente com alguns elementos duros, até 30 cm abaixo do nível definitivo;
- depois, um material terroso fino, sem elementos duros, de textura equilibrada e estrutura fragmentária bastante fina, de modo a evitar a compactação do subsolo.

As duas espessuras em conjunto devem ultrapassar 60 cm.

10.2.5 Drenagem

Preconiza-se a execução de drenos superficiais para evitar a formação de toalhas de água, designadamente os drenos perimétricos, escavados no solo natural. Os drenos realizados com tubos de PVC têm tendência a deformar-se por acção de abatimentos diferenciais, o que merecerá sempre um redobrado cuidado na sua correcta aplicação em obra.

10.2.6 Irrigação

De acordo com as condições climáticas e o estado físico do solo no momento da plantação, pode ser interessante ou até mesmo indispensável irrigar o terreno para assegurar um bom desenvolvimento da vegetação. Estes aspectos são devidamente relatados no projecto da especialidade.

10.2.7 Cuidados com a colocação do solo de suporte vegetal

A colocação do solo de suporte requer cuidados especiais, devido à previsível compactação pela passagem de equipamento pesado sobre a obra. Com efeito, o material do solo de suporte deve ser colocado sem sofrer compactação operacional, devendo usar-se máquinas de lagartas, que exercem menor pressão no solo. Sem esta precaução, as raízes não poderão penetrar no solo em profundidade e após um bom desenvolvimento inicial, a árvore jovem murchará ou acabará por morrer; além disso a drenagem não será suficiente.

Durante as operações de cultivo relacionadas com a sementeira ou plantação, o solo torna-se compacto à superfície, se ocorrerem bastantes passagens dos veículos. Para a sementeira de erva, a compactação do solo em superfície cria um obstáculo físico que impede a germinação das sementes. Para as plantas jovens de espécies florestais o efeito de compactação é sentido ao nível das trocas gasosas: o oxigénio não se renova e o dióxido de carbono não é evacuado; o metabolismo cai a um nível baixo ou nulo, as raízes não absorvem água e nutrientes e as árvores morrem rapidamente.

10.3 ESPÉCIES A ESCOLHER

Nos primeiros anos, as espécies florestais e herbáceas devem ser espécies pioneiras susceptíveis de suportar condições difíceis ao mesmo tempo que melhoram a estrutura e a qualidade do solo. É apenas após este período, quando o solo estiver estabilizado e certas zonas se tiverem revelado mais interessantes, que poderá fixar-se um arranjo definitivo mais cuidado. Mas, desde o princípio, é útil prever no plano de encerramento a localização e a função dos diferentes espaços. A experiência entretanto adquirida com o

paisagismo de aterros sanitário já permite a prescrição de espécies resistentes a serem plantadas no início desta operação.

10.3.1 Espécies florestais

Tanto quanto for possível, devem ser escolhidas espécies indígenas. Quando o solo é carente em matéria orgânica deve-se corrigir com fertilizante orgânico (a utilização da fracção orgânica dos resíduos em compostagem resolveria o caso). As espécies autóctones de crescimento rápido criam em pouco tempo uma protecção às espécies frágeis de crescimento, frequentemente, mais lento.

Além disso, as espécies autóctones aceleram o regresso a um equilíbrio biológico, mais rico. Algumas unidades de espécies nobres, de crescimento mais lento e sob abrigo (freixo, faia, carvalho), podem ser distribuídas, desde o início, entre as espécies pioneiras que poderão progressivamente ser eliminadas num espaço de 20 anos.

No Quadro 10.1 apresentam-se espécies florestais comuns no nosso país, com as principais características e necessidades, a título de exemplificação global. O projecto de paisagismo faz a pormenorização das espécies que devem ser utilizadas.

Quadro 10.1 - Espécies florestais mais comuns, suas características e necessidades.

Espécies florestais		Nomes	Características	Necessidades
Espécies pioneiras		Amieiro viscoso	Resistência elevada Crescimento rápido	Água em quantidade suficiente
		Acácia-bastarda	Mesmas vantagens, mas invasor	
		Bétula	Bons resultados	
		Choupos brancos e negros	Bons resultados	
		Salgueiro arborescente	Frugais - crescimento rápido	
Outras espécies	Folhosas	Frutícolas (cerejeiras, pessegueiros, macieiras) Tílias Ulmeiros Freixos Bordos Carvalhos		Qualidade do aterro
	Resinosas	Pinheiros	Colonizam eficazmente	Cobertura de boa qualidade
		Coníferas	Espécies interessantes na montanha	

10.3.2 Espécies herbáceas

Estas espécies são menos adaptáveis que os vegetais lenhosos, porque têm um sistema radicular muito mais limitado. A sua escolha depende da natureza do material de cobertura. As misturas sensatas, oferecem maiores hipóteses de sucesso.

Algumas recomendações:

- Para estruturar o solo e fixar o azoto, as leguminosas são muito úteis:
- *Tremoceiro e serradela em solo arenoso, fracamente ácido; Luzerna, trevo "bokhera" em solo argiloso,*
- *Ervilhaça, trevo vermelho e trevo branco em solo calcário; Coroa-de-rei, sanfeno, aquileia e hipericão em escombros calcários.*
- Para o estabelecimento definitivo de espécies herbáceas, preferem-se geralmente as gramíneas: *ervilhaça perene, ervilhaça italiana, agróstide, pasto, e mesmo cevada, centeio ou aveia em culturas anuais.*

10.4 ASSENTAMENTOS NOS ATERROS

Já se referiu aos assentamentos verificados nos aterros, independentemente do tipo de compactação. A menos que seja numa área pobre em precipitação, onde ocorrerá uma deficiente “destruição” da matéria orgânica, em todos os aterros processar-se-á assentamentos mais ou menos visíveis em função da compactação e mensuráveis pela monitorização topográfica. As principais causas são as que se ilustram:

- **Acção da água:** o escoamento das águas através da massa de resíduos provoca a erosão e o deslocamento dos elementos finos que vão preencher os vazios maiores existentes entre os elementos grosseiros.
- **Alterações físico-químicas:** fenómenos de oxidação que podem conduzir ao desaparecimento completo de alguns elementos.
- **Acção bioquímica:** a fermentação anaeróbia de certos materiais traduz-se por uma perda importante de volume e é acompanhada por libertação do biogás.

11. METODOLOGIA DE OPERAÇÃO DO ATERRO

11.1 INTRODUÇÃO

As instalações de uma ETRSU devem estar devidamente sinalizadas desde a entrada por uma placa identificativa do aterro sanitário e um painel de informação (Figura 11.1), em material adequado, com resistência às intempéries e formato atractivo, terá as informações constantes do caderno de encargos fornecido pelo dono da obra, muitas vezes como parte de exigências da entidade financiadora, como é o caso dos fundos da U.E., a título de exemplo e para os casos em que não há indicações neste sentido, sugere-se que tenha pelo menos as seguintes informações:

ENTIDADE XY
Aterro Sanitário de -----
Autorização n.º.-----.
Horário de funcionamento:
dias de abertura do aterro
hora de abertura...
hora de encerramento...

Figura 11.1 - Modelo de placa a ser colocada na entrada de um aterro sanitário

11.2 PLANO DE OPERAÇÕES DIÁRIAS

O plano de operações diárias é um instrumento de base na formação dos operários e do pessoal que intervém no aterro, assim como é, também, um guia de procedimentos correntes (de rotina) e procedimentos excepcionais ou de emergência. Deverá constar o seguinte:

- horário de operação;
- procedimentos nas medições, descargas e pagamentos;
- orientação quanto a áreas de deposição de resíduos;
- métodos de manuseamento e compactação de resíduos,
- colocação do material de cobertura;
- medidas de emergência (chuvas, secas, falta de pessoal, não admissão de resíduos);
- controlo do biogás e de lixiviados;
- controlo de incêndios;
- controlo de poeiras e resíduos dispersos;

- operações com “monstros” e seu manuseamento e deposição no pátio de sucatas;
- operações de monitorização e sua periodicidade.

11.2.1 Horário de operação

O aterro sanitário deverá estar aberto 6 dias por semana em média 16 horas por dia. Este horário poderá sofrer alterações e ajustes em função das descargas a realizar. Há aterros cujo funcionamento é de 24 horas diárias.

O horário de operação estará afixado no painel colocado na entrada bem como os tipos de resíduos aceites, as taxas e o nome e endereço da empresa ou instituição que o gere.

11.2.2 Medições, descargas e pagamentos

A eficiência operacional do aterro, exige um controle rigoroso da quantidade de resíduos e de material de cobertura entrados no aterro. As operações de pesagem são simples, porém não isentas de alguns problemas.

As viaturas municipais ou de privados previamente cadastrados, ao chegarem nas instalações aguardam indicação da sala da balança atrás da cancela eléctrica. Após a abertura desta, encaminham-se para a balança, onde entregam o seu cartão magnético de controlo para registo e identificação do camião e peso total, após o que podem seguir para a descarga.

As taxas tabeladas serão praticadas para as entidades privadas que entretanto pediram autorização para depositar resíduos no aterro municipal, através de requerimento próprio, onde mencionam a quantidade de resíduos, as suas características, a declaração sob compromisso de honra de que se trata de resíduos não perigosos, equivalentes a urbanos (pois é de aterro sanitário a unidade sanitária em causa), e a estimativa de produção de resíduos mensal e sua periodicidade de descarga em aterro.

11.2.3 Cargas avulsas

São consideradas avulsas as cargas das viaturas com resíduos que não estejam cadastrados como utentes do AS, portanto sem autorização prévia. No entanto poderão descarregar seguindo os mesmos procedimentos das viaturas camarárias em termos de pesagem, quando o responsável pelo aterro fizer a verificação do tipo de resíduos e constatar que se tratam de equivalentes a urbanos. A descarga será realizada em parte do alvéolo separada da célula diária, para permitir uma melhor verificação após descarga. Pode acontecer que o dono da infraestrutura sanitária não autorize o operador do aterro a receber cargas avulsas.

Comentário: Sempre que equivalentes a urbanos ou resíduos inertes, estes devem ser autorizados, pois de contrário estar-se-á a fomentar o aparecimento de lixeiras clandestinas.

11.2.4 Lavagem dos rodados

Depois das descargas efectuadas as viaturas passarão obrigatoriamente no lava-rodas, para que nenhum resíduo agregado aos rodados possa contaminar (sujar) as vias de comunicação. Segue para a balança para completar a pesagem e recebimento da respectiva factura. Para tanto os arruamentos interiores devem contemplar um trajecto que facilite esta operação. Adicionalmente, serão colocadas placas de sinalização com os sentidos obrigatórios para os camiões que demandem a zona de descarga (com lixos, terras de cobertura ou outros materiais).

11.2.5 Admissibilidade

A admissibilidade de resíduos em aterro segue o preceituado no manual de admissibilidade de resíduos em aterro (tendo como base a legislação comunitária e portuguesa neste domínio, a ser aprovado pelo dono da obra), que estará à disposição do responsável pelo aterro, encarregado e pessoal da sala da balança. O conhecimento das características dos resíduos e procedimentos diversos em matéria de operacionalidade do aterro serão matérias de formação a todos os intervenientes da instalação.

11.2.6 Sinalização

O operador do aterro manterá uma correcta sinalética dentro do aterro de modo ao bom encaminhamento do trânsito para os vários órgãos da ETRSU.

Poderá haver descargas ditas manuais (a evitar), que serão realizadas em locais que não afectem o normal desenrolar das operações mecânicas.

Se aparecerem veículos de descarga manual em quantidade superior ao esperado, devem ser adoptados procedimentos especiais. Todos os veículos de descarga mecânica devem ser rapidamente encaminhados para a face de trabalho para realizarem a descarga.

Os resíduos serão descarregados na base da face de trabalho donde serão espalhados e compactados pelo compactador, sempre em rampa, como ilustram os desenhos com o princípio de operação. Um operário acompanhará as manobras das viaturas nas descargas.

11.2.7 Manuseamento e compactação dos resíduos

Os resíduos que chegam ao aterro são domésticos, de estabelecimentos comerciais, de instituições da administração central ou local, de limpezas públicas municipais, de certas indústrias e de explorações agrícolas. Não há um procedimento especial quanto ao manuseamento deste tipo de resíduos. Haveria um cuidado especial se se tratassem de resíduos industriais perigosos ou tóxicos. Nas figuras que se seguem pretende-se através de desenhos ilustrar procedimentos de espalhamento, compactação e recobrimento de resíduos em declive em aclave e em área. (Figuras 11.2 e 11.3).

Figura 11.2 - Espalhamento e compactação de resíduos com exploração inclinada (declive e aclave)

Figura 11.3 - Recobrimento dos resíduos com terras, exploração em área

As células de resíduos cobrem a superfície total do alvéolo por camadas sucessivas, reiniciando-se os procedimentos sobre a camada antecedente, como se pretende ilustrar no desenho a seguir (Figura 11.4).

Figura 11.4 - Aspecto das células de resíduos sucessivas

11.2.8 Medidas de emergência

É proibido proceder-se à queima de resíduos no aterro sanitário porque podem originar-se fogos por falhas humanas. Nestes casos há que actuar em conformidade. O uso de cobertura diária deve evitar que o fogo numa célula em construção se propague lateralmente. No caso, de um grande fogo, os resíduos na área de trabalho devem ser espalhados de modo a que se possa utilizar água. Esta operação é perigosa e a zona da máquina em contacto com o fogo deve estar debaixo de um spray de água. É conveniente que o pessoal do aterro esteja familiarizado com este tipo de procedimentos.

Quando os veículos de colecta chegam com os resíduos a arder, a regra neste caso é afastar o veículo o mais possível da área de trabalho e edifícios, descarregá-lo e apagar o fogo dos resíduos cobrindo-os com terras (abafando). Depois de garantido que está debelado o fogo, procede-se ao transporte para as células diárias.

Em relação aos incêndios, como medidas de prevenção, citam-se:

- boa cobertura dos resíduos;
- vigilância constante do aterro para se poder intervir assim que seja necessário;
- cuidada exploração do local, no caso particular do método em trincheira, pois podem-se formar clareiras mesmo no centro do aterro, que são eficazes na prevenção dos incêndios.

Nos aterros sanitários em que há compactação de resíduos com processos e máquinas adequadas, os incêndios são raros, pois é reduzido o contacto com o ar. De qualquer modo, para se evitar a formação de bolsas de gás em profundidade (principalmente metano), os alvéolos de resíduos são dotados de sistema de degaseificação (poços e drenos) para a libertação do gás através desses poços.

Para o caso de ocorrer um incêndio é necessário prever:

- reservas de água;
- reserva de terra, que é mais eficaz do que a água, para apagar o fogo;
- equipamentos para esse fim (extintores, mangueiras, fardas, etc.).

No caso dum incêndio em profundidade, é totalmente ineficaz o lançamento de água à superfície. Se o fogo não for muito importante, pode-se retirar a massa de resíduos inflamados, lançá-los num local seguro, passar-lhes por cima com as máquinas e se necessário recobrir com material de cobertura. No caso do fogo em profundidade ser importante, tem que isolar-se a zona através de trincheiras e esperar pela extinção natural, ou injectar água sobre pressão ou neve carbónica, na direcção em que se pensa estar o fogo. Deve-se tomar sempre precaução com a possível presença de metano.

11.3 EQUIPAMENTO

Faz-se aqui uma abordagem sobre equipamentos usuais a serviço de um aterro sanitário, em regime de dedicação ou pontual, consoante as necessidades. As máquinas em aterro realizam as seguintes tarefas:

- espalhamento e compactação de resíduos,
- colocação da cobertura diária ou definitiva de terras sobre os alvéolos;

- apoio à manutenção das infra-estruturas;
- serviços de emergência (nas vias de acesso interior e combate a fogos).

O manuseamento de resíduos é similar a operações de terraplanagens, no entanto, como os resíduos são menos densos e mais heterogêneos, a sua movimentação e deposição exige algum treino, especialmente para que os operadores espalhem os resíduos em rampa.

Os resíduos não podem ser compactados por vibração, somente por compressão. Para obtermos uma boa compactação é necessário que o compactador passe entre cinco a seis passagens sobre cada camada de resíduos espalhados. Mais do que 6 vezes é ineficaz, pois não aumenta a compactação.

Preconiza-se, para um aterro sanitário de pequena dimensão (até 200 ton/dia) o seguinte equipamento:

- 1 compactador para 200 toneladas/dia, modelo de acordo com a tonelagem;
- 1 pá de rastos tipo Cat 955 ou similar;
- 1 tractor bulldozer (lâmina frontal)
- 1 camião articulado tipo Dumper;
- 1 tractor tipo agrícola com pá e atrelado basculante;
- 1 tanque de água (rebocável).

Para aterros de maior dimensão é necessário o dimensionamento adequado das máquinas em função dos materiais a movimentar, dos respectivos rendimentos e horário de funcionamento. Resultará deste dimensionamento o número de operários do aterro necessários à operação do equipamento, tendo sempre em atenção que o turno de trabalho das máquinas poderá ser de 24 horas, porém o dos operadores é de 8 horas.

As máquinas que espalham e compactam os resíduos podem avariar devido, ao sobreaquecimento e rompimento de tubos hidráulicos, razão porque haverá nas oficinas de manutenção do aterro peças de reposição, nomeadamente as que o fabricante recomenda (tubos, filtros, vedantes, etc. ..).

A escavação, transporte, espalhamento e compactação do material de cobertura é similar a outras movimentações de terras (por exemplo, abertura de estradas). Na escavação de areias e gravilha para material de cobertura podem ser usados veículos sobre pneus; no entanto, no caso de solos mais densos devem-se utilizar veículos com rastos (lagartas).

O tractor agrícola dá apoio nas transferências de resíduos, nas actividades diárias de manutenção das instalações, nos recobrimentos com terras e serve para rebocar o depósito de água que, entre outras coisas dará apoio às seguintes actividades:

- manutenção, em boas condições as vias de acesso ao aterro e à face de trabalho;
- combate e prevenção de incêndios;

Pá carregadora de rastos "loader"

Esta máquina usada em obras de escavações é dotada de rastos (lagartas) e tem uma pá que assegura o carregamento de terras e de resíduos (o modelo muito divulgado é o Cat 955). É uma máquina indispensável nos pequenos aterros, visto que é polivalente. A sua potência permite-lhe não só espalhar os resíduos como colocar o material de cobertura. Como a pressão exercida no solo pelo tractor é pequena (0.5 a 0.7 Kg/cm²), ele efectua um esmagamento e uma compactação moderados dos resíduos enterrados.

Tractor de rastos "bulldozer"

Esta máquina é muito utilizada na construção de estradas no rompimento da plataforma. Possui esteira de rastos e é equipada com uma lâmina frontal que assegura a função de espalhamento dos resíduos. Como a sua potência é totalmente aproveitada para empurrar os resíduos, pode espalhar várias centenas de toneladas de resíduos por dia. Tendo em conta a sua concepção estática devido à lâmina, é muito mais resistente que a pá-carregadora de braços articulados. Por outro lado, a largura da sua lâmina (que pode ser de 3 a 4 metros) permite efectuar o espalhamento dos resíduos em poucas passagens de curtas distâncias.

Compactador-espalhador

Esta máquina foi desenvolvida pelos fabricantes de equipamento para movimento de terras e estradas, tendo em atenção as características singulares dos resíduos, dotando-a de protecções especiais contra a corrosão dos ácidos que se formam nos aterros, um torque cerca de 13% superior no eixo traseiro para compactação por encosto e maior massa global para aumentar o grau de compactação. Com esta máquina atinge-se uma taxa elevada de compactação dos resíduos e assegura-se, além disso, as funções de compactação e espalhamento por vezes combinadas com as operações de carregamento. Contudo, saliente-se que operam eficazmente tanto em superfícies planas como ligeiramente inclinadas, perdendo tracção quando utilizados em declives lamacentos ou quando usados para escavar..

Distinguem-se duas classes de compactador-espalhador:

- compactadores-espalhadores equipados com uma pá de carga.
- Compactadores-espalhadores equipados de uma lâmina de terraplanagem.

Os compactadores-espalhadores são máquinas articuladas, automotoras, derivadas do equipamento usado em construção civil. Estes veículos têm cilindros metálicos denteados que asseguram a compactação dos resíduos ao mesmo tempo que rasgam os sacos de plástico ou outros contentores do lixo. Actualmente, existem várias formas típicas de "dentes", sendo mais utilizados os cilindros munidos de lâminas e de "pés de carneiro", estes concebidos especialmente para compactação de resíduos.

Equipamento auxiliar e acessório

Um tanque de água sobre rodas, rebocado pelo tractor tipo agrícola para controlar o espalhamento dos detritos na face de trabalho, as poeiras e para combater incêndios.

Um camião articulado ou "dumper" é necessário para carregar terras para a cobertura dos resíduos. Como tem pneus muito largos, pode transitar por cima dos resíduos sem perigo de afundar ou desequilibrar-se.

Relativamente à eficácia do equipamento, salienta-se o uso do "ripper" hidráulico, quando se operar em solos relativamente duros.

Quadro 11.1 - Equipamento vulgarmente necessário num aterro

População	Tonelagem diária	nº	Equipamento		
			Tipo	Peso em ton.	Acessório *
até 20.000	até 20	1	Tractor de lagartas ou pneus	a 13,6	Vários tipos de pá (0,9 a 1,8)
a 50.000	a 55	1	Tractor de lagartas ou pneus	a 17,2	Vários tipos de pá (1,8 a 3,7) Pá polivalente
a 100.000	a 100	1 ou 2	Tractor de lagartas ou pneus "Scraper", Grua de pá de arrasto, Cilindro e Autotanque	ou mais	Vários tipos de pá (1,8 a 4,6) Pá polivalente

* Optativo, dependendo das necessidades individuais.

11.4 PESSOAL

Deve prever-se a afectação de pessoal necessário à boa operacionalidade do aterro, desde o pessoal administrativo, ao pessoal da operação de máquinas e da vigilância, em função dos resíduos operados na estação. O pessoal é dirigido por um engenheiro. Como exemplo para um aterro similar ao exemplo apresentado, necessita-se do seguinte pessoal:

- 1 encarregado geral/capataz;
- 3 operadores de máquinas;
- 1 mecânicos;
- 4 operários;
- 1 administrativo.

Acções de rotina diária no aterro:

Manter o aterro limpo e arrumado é uma das rotinas diárias, que inclui a limpeza das edificações e arruamentos. Outras tarefas de rotina diária ou regular são:

- Verificação e anotação dos valores de queima, volume e composição do biogás ;
- Verificação e anotação dos caudais de lixiviados à entrada e saída do sistema de tratamento dos mesmos;
- Vigilância do estado da rede de drenagem de águas pluviais;
- Observação do estado da vedação;
- Observação dos níveis do lixiviado nos poços do biogás não encerrados e nas caixas de visita, para prevenir eventuais obstruções dos colectores ou má evacuação do gás produzido.

- Execução de banquetas perimétricas para confinamento lateral dos resíduos ao atingir-se a altura da última banqueta.

Apenas será permitido o acesso ao aterro de pessoas interessadas na compra de salvados, bem como de visitantes, especialmente de estabelecimentos de ensino, aos quais será dada uma atenção muito especial e acompanhamento adequado;

Reparar imediatamente, quaisquer danos provocados pela erosão hídrica ou eólica nas zonas terminadas do aterro ou em utilização (banquetas ou diques perimétricos), transportando terra para o local danificado e repará-lo convenientemente, antes que se atinjam situações graves.

11.5 MANUTENÇÃO DA ETRSU

Controle de vectores

O aparecimento de vectores contaminantes não deverão ser problema em aterros sanitários correctamente operados. Com efeito, os insectos e roedores não encontram um ambiente propício num alvéolo, que é um bioreactor anaeróbio essencialmente termofílico, ou seja, sem oxigénio e com temperaturas no interior da massa de resíduos variando de 40 a 70 °C não podem proliferar estes vectores. Uma correcta compactação dos resíduos e uma aplicação do material de cobertura (terras) no topo da célula de trabalho, diariamente, são factores importantes. Estas tarefas de rotina são importantes, porém, em alturas do ano com forte pluviosidade pode ser difícil os recobrimentos com terras e aparecerem aves (gaivotas ou abutres) a vasculharem a zona de deposição à procura de alimento. No entanto, haverá tanto mais aves quanto maior for a área exposta sem recobrimento.

A cobertura do topo da célula com cerca de 30 cm de terras também evita o aparecimento de insectos. Deve referir-se que muitas vezes os roedores entram no aterro junto com os resíduos, porém terão combate no próprio local, face às condições ali encontradas.

Não se aconselha a fazer a cobertura de toda a face do trabalho porque a face inclinada da célula vai ser coberta no dia seguinte com resíduos. Assim, só o topo é coberto, reduzindo-se o consumo de terras, aumentando a capacidade de carga do aterro.

De vez em quando é necessário fazer-se um controle de pragas, como rotina em instalações industriais, como o combate anti murina.

Controle de poeiras

Quando as vias não são pavimentadas (acessos provisórios ou intermédios) podem aparecer problemas de levantamento de poeiras, colmatados com as seguintes medidas preventivas:

- regar o solo com um dispersor de água (tanque de água com tubo transversal perfurado);
- regar o solo com um dispersor de óleo usado (só aconselhado em casos extremos de carência de água);

Como solução definitiva deve pavimentar-se com betão betuminoso ou outro pavimento definitivo corrente, tanto a via de acesso ao AS, como a via de acesso aos alvéolos.

Material de cobertura

O material de cobertura (Quadro 11.2) tem diversas funções de que destacamos:

- evitar a presença de roedores,
- impedir a entrada e saída de insectos,
- minimizar a entrada de águas;
- minimizar a passagem de gases pela cobertura final;
- promover um bom aspecto e controlar a dispersão dos resíduos;
- permitir o crescimento de vegetação (na última camada);
- permeável à ventilação dos gases de decomposição nas coberturas intermédias.

Quadro 11.2 - Características de tipos de solo como material de cobertura

Função	Cascalho	Cascalho argiloso	Areia	Areia argilosa	Silte	Argila
Evitar a presença de roedores	B	R - B	B	M	M	M
Impedir a entrada e saída de insectos	M	R	M	B	B	>
Minimizar a entrada de humidade	M	R - B	M	B - E	B - E	>
Minimizar a entrada de gases pela cobertura final	M	R - B	M	B - E	B - E	>
Promover um bom aspecto, controlar a dispersão de resíduos	E	-	E	E	E	E
Permitir o crescimento de vegetação	M	B	M - R	E	B - E	R - B
Coberturas intermédias permeáveis para ventilação dos gases ^o	E	M	B	M	M	M

* Classificação: E - excelente; B - bom; R - razoável; M - má.

<> Excepto quando as fissuras se estendem por toda a cobertura.

^o Apenas se for bem drenado.

Solos argilosos:

Os solos argilosos têm uma textura muito fina. As suas propriedades físicas variam grandemente em função do tamanho das partículas, tipo de argilas que o formam e o teor de humidade. Quando seco, um solo argiloso fica quase tão duro como uma rocha e pode suportar elevadas cargas. Quando na presença de água, torna-se pastoso e muito escorregadio.

Os solos argilosos podem ser usados nos aterros para construir barreiras impermeáveis de modo a controlar gases e lixiviados; no entanto, uma vez colocada a cobertura de solo argiloso, deve dar-se especial atenção ao grau de humidade destes solos, para que não desidratem, quando gretam e deixam de ter a função impermeabilizante desejada.

Cascalho e areia

A capacidade dos solos de grão grosso (tipo cascalho e areia) para serem utilizados como material de cobertura depende da distribuição dimensional dos grãos, do seu formato e da percentagem dos materiais finos que possuem.

O cascalho tem uma fraca distribuição dimensional de grão e é quase isento de materiais finos, logo, não é adequado para o controle de lixiviados e gases. A sua compactação é difícil, quando praticada sobre resíduos, daí manter-se altamente permeável. É um bom material para reconstrução de vias auxiliares no aterro.

No caso do cascalho ter uma boa distribuição dimensional do grão, contiver cerca de 10 a 15% de areia e 5% ou mais de materiais finos pode ser um excelente material de cobertura. Quando bem compactado, as partículas de maiores dimensões mantêm-se em contacto, ligadas pela acção de coesão das areias e dos materiais finos. Este tipo de solos não abre fendas nem perde volume e, serve de controle a insectos e roedores; além disso, pode ser usado em quaisquer condições atmosféricas.

Turfas

Os únicos tipos de solo que por regra devem ser excluídos do uso como material de cobertura, são os solos de turfa e os de alto teor em matéria orgânica. A turfa possui muitos vazios e uma grande quantidade de água. São, virtualmente, impossíveis de compactar. No entanto, estes solos são usados como última camada de cobertura para fazer relvados.

11.6 TÉCNICAS DE DEPOSIÇÃO

A descarga das viaturas de recolha deve ser feita tão próximo quanto possível da face de trabalho, com as seguintes vantagens:

- maior facilidade de compactação,
- maior protecção dos ventos e escorrências,
- maior facilidade em controlar o lugar exacto de descarga.

Uma célula diária quando completa deverá estar devidamente compactada e alisada para promover uma boa drenagem. Isto consegue-se começando com um declive de, aproximadamente, 3:1 ao longo da célula do dia anterior em que os resíduos devem ser espalhados em camadas sucessivas para permitirem uma boa compactação, fazendo-se no mínimo 4 a 6 passagens com o compactador, de baixo para cima da rampa de resíduos.

Após compactação da primeira camada de resíduos, uma outra pode ser espalhada e compactada até ficar com cerca de 50 cm aproximadamente, e assim sucessivamente até à última camada do dia, ficando a célula, aproximadamente, com a mesma altura das células dos dias anteriores. Nesta altura, os restos de resíduos espalhados no local devem ser recolhidos e depositados na face de trabalho, procedendo-se à operação final de cobertura dos resíduos no topo da célula (não cobrindo-se o plano inclinado formado), terminando-se a execução da célula.

Quando se proceder ao recobrimento da face rampeada da célula (caso da última célula de uma camada do alvéolo e na parte superior (topo da célula do dia) a espessura deverá ser de cerca de 30 cm. Isto, porque a colocação de uma nova camada poderá só ocorrer muitos meses depois.

A inclinação dos taludes deverá ser preferencialmente de 3:1 para melhor compactação e economia do material de cobertura.

Declives maiores gastam menos material de cobertura, mas, podem causar problemas aos veículos de compactação; por outro lado, declives menores implicam um consumo maior de material de cobertura e maior área de trabalho.

A frente de trabalho deve ser reduzida ao mínimo em função das descargas simultâneas, para um melhor controle das operações e para evitar-se mais facilmente a dispersão de papéis e plásticos pelo vento. Numa face de trabalho deste tipo tem-se:

- menor consumo de material de cobertura;
- menos vedações móveis à volta da face de trabalho;
- compactação mais rápida e económica;
- minimização da produção de lixiviados.

Movimento dos lixiviados

A permeabilidade define-se como a velocidade de descarga através de uma área unitária quando existe um gradiente hidráulico unitário, definida pela lei de Darcy ($Q = -C i A$). A gama de valores referida para solos é consideravelmente grande, variando desde 30 cm/s para cascalho limpo até 10^{-9} cm/s para algumas argilas. A estratificação dos depósitos do solo natural também pode afectar consideravelmente a permeabilidade. Muitos depósitos são 100 a 1000 vezes mais permeáveis quando são paralelos a planos estratificados do que quando são perpendiculares. Outros factores que afectam a permeabilidade são a densidade, as bolsas de ar retidas e o conteúdo de sal dissolvido da água percolada.

Uma vez que a permeabilidade dos solos pode variar consideravelmente em diferentes direcções, devido à estratificação dos depósitos, é importante a obtenção de amostras sem prejuízo para a estrutura do solo, de modo que seja possível determinar a sua permeabilidade com precisão. Têm sido desenvolvidos um largo número de métodos, alguns dos quais são apropriados a uma investigação *in loco*. Uma investigação bem planeada inclui furos de tal modo colocados que são apropriados para a determinação das condições do solo, testes de permeabilidade e servem como futuros poços de monitorização desde que sejam instaladas coberturas permanentes.

A presença de uma cobertura vegetal no aterro pode influir consideravelmente na produção de lixiviados, principalmente pelo modo como pode interceptar e captar parte da precipitação. Através da evapotranspiração pode evaporar, para a atmosfera, de 20 a 100% da precipitação, dependendo das condições climáticas (radiação e ventilação) e do tipo de vegetação.

Odores nauseabundos

A fermentação dos resíduos orgânicos produz pequenas quantidades de gases como o gás sulfídrico (H_2S), os mercaptanos e os vinilos. Estes gases geralmente bastante mais densos que o ar, chegam à superfície do aterro por arraste com o metano, provocando mau cheiro. A solução é a sua drenagem e queima.

A dispersão do metano dá-se facilmente e sem riscos de maior nos aterros pouco compactados, de pequena espessura, ou nos aterros antigos. Nos aterros compactados ou de grande profundidade em que os processos de fermentação anaeróbia são preponderantes, prevê-se a drenagem dos gases através da

instalação de poços verticais de paredes perfuradas, rede de drenos em estrela a cada 5.00m de altura de aterro e concorrente ao poço.

Para além das vantagens económicas, a captação do biogás permite evitar os riscos provocados pelas emanações gasosas nocivas.

O biogás é ventilado na vertical ou canalizado em tubos estrategicamente localizados, para um ponto de recolha na superfície. Neste último caso o gás é queimado numa tocha (queimador) ou aproveitado para exploração comercial exigindo um sistema de recolha um pouco mais sofisticado.

Os tubos de drenagem de gases são interligados ao sistema de drenagem de lixiviados, de forma a permitirem a monitorização simultânea de ambos os fluidos.

Controle de lixiviados

O controle de lixiviados passa por dois vectores: o da minimização da sua produção e da sua recolha e tratamento. No segundo caso procede-se à impermeabilização do fundo e paredes dos alvéolos seguido dos respectivos drenos. Esta impermeabilização deverá ser assegurada por qualquer dos meios técnicos disponíveis (barreiras geológicas isoladas ou reforçadas com geossintéticos ou ainda apenas com estes últimos materiais sintéticos. Deverá seguir-se o prescrito nas normas regulamentares. Poderá passar pelas seguintes etapas:

- regularização do terreno com as conformações dadas no projecto, drenos e inclinações.
- espalhamento de uma camada de areia ou material do local que assegure um assentamento suave do geotêxtil e da geomembrana;
- colocação da geomembrana e procedimentos de soldadura dupla a quente;
- colocação dos drenos conforme projecto;
- cobrir totalmente com uma camada de geotêxtil de protecção e uma camada drenante de 50 cm de godo seguida de uma camada de geotêxtil de separação.

Os lixiviados drenados são encaminhados para o sistema de tratamento (lagunagem ou recirculação com inoculação nos alvéolos, ou outro método prescrito no projecto correspondente).

Monitorização

A monitorização de um aterro sanitário é peça fundamental da boa operacionalidade desta infraestrutura sanitária e uma exigência prevista na proposta de directiva da U.E. para os aterros sanitários. Um dos aspectos da monitorização é o da poluição das águas, nomeadamente:

- água do lençol freático;
- da água de percolação;
- águas naturais superficiais e de escorrências;
- lixiviados.

Tanto a monitorização da poluição das águas subterrâneas como das águas de percolação é feita através da implantação e exploração de poços de controle, enquanto que a monitorização da poluição das

águas naturais superficiais e das águas de escorrência é feito usando pontos especificamente marcados para o efeito e denominados pontos de controle superficiais.

Controle da água do lençol freático

As águas dos lençóis freáticos constituem água de abastecimento para muitas populações, devendo-se pois, velar para que não seja afectada a sua qualidade, vigiando-se para que os parâmetros de qualidade sejam respeitados.

Para proteger um lençol freático é necessário seguir a qualidade da água que existe sob o aterro (caso exista). O meio mais utilizado para controlar a evolução da qualidade desta água é a implantação de um ou mais poços de controle (piezómetros), e cujo número e local de implantação deverá ser determinado por um hidrogeólogo, em função do sentido da corrente do lençol freático.

A implantação de um poço de controle a montante do aterro fornecerá as amostras para análises de referência da qualidade da água do lençol após a entrada em funcionamento do aterro, enquanto que a implantação de poços de controle na vertical do depósito fornecerá as amostras para análises periódicas.

Antes do aterro entrar em funcionamento é necessário proceder a uma análise completa da água do lençol freático, obtendo amostras de fundo para cada um dos poços de controle implantados. Estas amostras são a situação de referência, tanto quanto possível representam as condições do lençol freático antes do aterro sanitário entrar em funcionamento e servirão para detectar uma eventual degradação da qualidade da água.

Posteriormente deve-se proceder às análises periódicas e frequentes do estado da água do lençol freático, durante a exploração do aterro. As análises são as constantes no capítulo referente à admissibilidade de resíduos e monitorização.

Parâmetros que deverão ser analisados:

	Análises Físico-químicas	Análises Bioquímicas	Análises microbiológicas
Análises de fundo	-pH - Condutância específica - Dureza total - Medição dos principais aniões e catiões: NO ₃ ⁻ ; NO ₂ ⁻ ; Cl ⁻ ; SO ₄ ²⁻ ; NH ₄ ⁺ ; K ⁺ ; Na ⁺ - Metais pesados - Ácidos voláteis e fenóis	- CQO - CBO ₅	- Coliformes
Análises periódicas	-pH - Condutância específica - Medição dos principais aniões e catiões: NO ₃ ⁻ ; NO ₂ ⁻ ; Cl ⁻ ; NH ₄ ⁺	- CQO - CBO ₅	

Constituem análises imprescindíveis as que se indicam no Quadro a seguir reproduzida:

Análises de fundo	-pH - Condutância específica - Cloretos e sulfatos - Ferro e zinco CQO
Análises periódicas	- pH - Condutância específica - Cloretos

Controle da água de percolação

Uma vez que o fundo do aterro deve ser impermeável, então ele tem que ser preparado de modo a recolher os efluentes de percolação (lixiviados). Para isso, é criado na base do aterro num ponto de cota baixa, para onde se dirigem os lixiviados, e sobre o qual se empilham as manilhas perfuradas para o sistema de tratamento. Podem ser feitas recolhas de lixiviados deste local para análise.

Nas amostras de lixiviados recolhidas é necessário determinar: pH, condutividade, cor, SS, CBO₅ e CQO. Outros parâmetros também deverão ser analisados, designadamente quando os referidos tiverem valores muito altos, como seja, o N orgânico, aniões e catiões específicos (Cl⁻; NH₄⁺), COT (carbono orgânico total) e ácidos voláteis.

12. ADMISSÃO DE RESÍDUOS A ATERRO E MONITORIZAÇÃO

12.1 INTRODUÇÃO

A admissão de resíduos sólidos num aterro sanitário deve levar em consideração o tipo de resíduos (urbanos, inertes ou perigosos) porque a cada tipo de resíduo corresponde um aterro com características bem definidas e um controlo diferenciado. Portanto deve harmonizar-se as características técnicas do aterro sanitário por forma que sejam adoptados os mesmos critérios de admissão de resíduos. Significa isto que é preciso critérios homogéneos de amostragem e de controlo para aplicação a todos os resíduos.

Com base na mais recente proposta de legislação comunitária, apresenta-se neste capítulo os princípios gerais por que se rege a admissibilidade de resíduos num aterro sanitário, com a ressalva de que é uma proposta de admissibilidade ainda sem a correspondente vinculação legal. Com a aprovação de legislação portuguesa, haverá que adequar-se a admissibilidade ao que for prescrito na legislação.

Quaisquer que sejam os métodos de amostragem e análises seleccionadas e os parâmetros a medir, os ensaios em que se baseiam, os critérios de admissão não conseguirão nunca reproduzir com exactidão o comportamento dos resíduos em aterro, constituindo apenas uma bitola para testar as características dos resíduos, ou seja, apesar de existirem diferentes parâmetros, é fundamental estabelecer-se um método comum de referência.

12.2 PRINCÍPIO GERAL

Os resíduos em aterros sanitários devem ser previamente caracterizados.

Relativamente aos resíduos, cuja origem é conhecida e cujas características e composição estão definidas, as amostragens e análises obrigatórias podem ser substituídas por um programa de amostragem e análises aleatórias e periódicas.

12.3 AMOSTRAGEM

Definições:

- **Resíduos homogéneos:** todos os tipos de resíduos que, ao tempo da colheita da amostra, se apresentem em estado líquido ou possam ser bombeadas e cujas características sejam idênticas em toda a massa, bem como os resíduos cuja homogeneidade possa ser comprovada por um exame visual.
- **Resíduos heterogéneos:** todos os outros resíduos.
- **Amostra representativa:** uma amostra é considerada representativa quando a pequena quantidade seleccionada para a análise tem a mesma composição média que a massa de onde foi extraída.

Número de amostras e quantidades a recolher:

Para resíduos não entregues em contentores		Para resíduos entregues em contentores	
Resíduos homogéneos	Resíduos heterogéneos	Contentor com - de 5 Kg	Contentor com + de 5 Kg
1 amostra de 1 Kg ou 1 litro por remessa	1 amostra representativa de 1 Kg ou 1 litro, por 5 t de resíduos ou parte deles.	Proceder conforme Quadro 12.1	

Para os resíduos entregues em contentores, os valores são válidos quando os contentores têm idêntico conteúdo. Os resíduos são considerados homogéneos ao tempo da colheita da amostra. Se os contentores forem despejados para um tanque colector, a amostra cumulativa pode ser retirada do tanque.

Quadro 12.1 - Amostragem de resíduos entregues em contentores

Peso por contentor	Peso e número de contentores de onde será seleccionada a amostra de laboratório
menos de 5 Kg	Suficiente para uma amostra cumulativa final de um mínimo de 1 Kg retirada de pelo menos x^1 contentores.
Mais de 5 Kg	Suficiente para uma amostra cumulativa final de 1 a 2.5 Kg retirada de pelo menos x^1 contentores.

$$x = \sqrt{n} + 1, \text{ sendo } n \text{ o número total de contentores}$$

12.3.1 Resíduos Urbanos

Considera-se necessário analisar regularmente amostras destes resíduos para avaliar as alterações da sua composição, por forma a possibilitar uma acção adequada anterior ou alternativa à deposição em aterro, nomeadamente: prevenção da contaminação, recolha selectiva, reciclagem, compostagem, etc.

Resíduos domésticos: amostragem aleatória a partir de todos os tipos possíveis de origens dos resíduos para determinação da composição percentual (compostos orgânicos, metais, vidro, etc.), valor calorífico, resíduo de combustão, etc.

Se os contentores contiverem tipos desconhecidos de resíduos, estes deverão ser objecto de uma amostragem autónoma.

Os resíduos provenientes de estabelecimentos comerciais, escritórios e instituições públicas *serão descritos pelo produtor*. Proceder-se-á a análises apenas para permitir uma completa avaliação ou caso a declaração não seja exacta.

No capítulo seguinte apresenta-se o teor de realização de campanhas de caracterização de resíduos, que serão realizadas e cujos resultados fornecidos ao dono da obra.

12.3.2 Características do eluato.

Em geral, a composição dos lixiviados será função dos tipos e idade dos resíduos depositados, das condições físico-químicas prevalentes, da microbiologia e do balanço hídrico do aterro. Deve ser prevenida a potencial contaminação de aquíferos por lixiviados. Os ensaios de eluato, que adiante se propõem, têm o

¹ em que n é o número total de contentores.

objectivo de fornecer uma informação qualitativa sobre a composição das águas de percolação e a natureza das substâncias potencialmente tóxicas mobilizadas.

Tratamento das amostras: *a estrutura original da amostra utilizada deve ser mantida* na medida do possível, ou elementos de maior dimensão devem ser triturados. Propõe-se a utilização do método proposto pela DIN.

12.3.3 Valores atribuídos

O quadro 12.2 fixa, para efeitos da deposição em aterro, as gamas de caracterização dos resíduos segundo a composição dos respectivos eluatos:

Os resíduos em que a concentração de eluato se situa na gama fixada para os resíduos perigosos devem ser considerados como *resíduos perigosos* para efeitos da deposição em aterro. *Quando as concentrações de eluato são superiores aos valores máximos fixados, os resíduos perigosos devem ser tratados antes da deposição*, excepto se forem compatíveis para deposição conjunta com resíduos urbanos, ou encaminhados para um mono-aterro se não for possível trata-los.

Os resíduos em que a concentração de eluato não ultrapassa os valores máximos fixados para os resíduos inertes são considerados resíduos inertes.

Os resíduos em que a concentração de eluato se situa numa gama entre os resíduos inertes e o valor mínimo fixado para os resíduos perigosos são considerados resíduos não-perigosos.

Quadro 12.2 - caracterização dos resíduos segundo a composição dos respectivos eluatos:

	Resíduos perigosos (intervalo de var.)	Resíduos inertes	
valor de pH	4 -13	4 - 13	
COT	40 - 200 mg/l	< 200 mg/l	
arsénio III	0.2 -1.0 mg/l	< 0.1 mg/l	
chumbo	0.4 - 2.0 mg/l	total destes metais < 5 mg/l ²	
cádmio	0.1 - 0.5 mg/l		
crómio VI	0.1 - 0.5 mg/l		
cobre	2 - 10 mg/l		
níquel	0.4 - 2.0 mg/l		
mercúrio	0.02 - 0.1 mg/l		
zinco	2 - 10 mg/l		
fenóis	20 - 100 mg/l		< 10 mg/l
fluoretos	10 -50 mg/l		< 5 mg/l
	Resíduos perigosos (variação)		Resíduos inertes
amónio	0.2 - 1.0 g N/l	< 50 mg/l	
cloretos	1.2 - 6.0 g/l	< 0.5 g/l	
cianetos ³	0.2 - 1.0 mg/l	< 0.1 mg/l	
sulfatos ⁴	0.2 - 1.0 g/l	< 1.0 g/l	
nitritos	6 - 30 mg/l	< 3 mg/l	
AOX ⁵	0.6 - 3.0 mg/l	< 0.3 mg/l	
solventes ⁶	0.02 - 0.10 mg/l	< 10 mg/l	

² Nenhum valor individual acima do mínimo fixado para os resíduos perigosos.

³ Libertados rapidamente.

⁴ Se possível, < 500 mg/l.

⁵ Compostos organohalogenados adsorvidos.

⁶ Clorados.

pesticidas ⁶	1 - 5	m Cl/l	< 0.3	mg Cl/l
sub. Lipófilas	0.4 - 2.0	mg/l	< 1	mg/l

Notas: Para efeitos de caracterização, os componentes a analisar nos eluatos devem ser seleccionados em função da composição qualitativa dos resíduos.

Adicionalmente a estas características do eluato, deve ser determinado o teor de asbesto numa amostra representativa de resíduos inertes não tratados.

12.4 MÉTODOS ANALÍTICOS

Os métodos propostos como métodos de referência são os ISO ou DIN. É aceitável *qualquer outro método equivalente* após um procedimento de certificação baseado na utilização de um material de referência certificado. Em caso de discrepância dos resultados serão utilizados como referência os métodos propostos.

12.5 PROCESSOS DE CONTROLO: CRITÉRIOS DE COMPATIBILIDADE

A deposição conjunta de resíduos utiliza as propriedades dos resíduos urbanos para atenuar os efeitos dos constituintes poluentes e potencialmente perigosos dos resíduos problemáticos, tornando aceitável o seu impacto no ambiente (co-deposição). Os resíduos destinados a *deposição conjunta* devem ser analisados e só devem ser aceites para este tipo de deposição os que sejam compatíveis com os resíduos urbanos.

12.5.1 Controlo dos lixiviados - Condições prévias

O número de pontos de controlo no caso de ser permitida a deposição conjunta deve ser, uma função da área da zona de exploração. No caso presente, esse número é dado pela expressão:

$$n = 10 + \sqrt{A}$$

onde: n é o número de pontos de controlo no aterro

A é a área da zona de exploração, em hectares.

Apenas se procederá à deposição conjunta se o controlo indicar que existem *condições metanogénicas estáveis* e que se mantém um nível de actividade suficientemente elevado. Estes parâmetros serão determinados em relação à qualidade de lixiviados e à taxa de produção de gases, devendo manter-se as seguintes condições:

- temperatura média dos lixiviados: $\geq 25^{\circ}\text{C}$
- pH médio dos lixiviados: > 6.8
- valor médio da razão CBO/CQO dos lixiviados: ≤ 0.3
- taxa de produção de gases: $> 5 \text{ m}^3/\text{t.a.}$

12.5.2 Resíduos admissíveis e não admissíveis

Os inertes podem ser co-depositados sem problemas em aterros sanitários. São resíduos que podem servir para recobrimento, para lastro de acessos provisórios nos alvéolos, etc. Além de se ter a certeza que não farão parte de uma lixeira particular, ou despejado numa qualquer beira de estrada.

12.5.2.1 Não devem ser depositados conjuntamente os seguintes resíduos:

- a) Resíduos em estado líquido, à excepção dos compatíveis com o tipo de resíduos admissíveis em cada aterro e com o modo de exploração da instalação;
- b) Resíduos que, em condições de aterro, sejam explosivos, oxidantes, muito inflamáveis ou inflamáveis;
- c) Resíduos infecciosos provenientes de estabelecimentos médicos ou veterinários;
- d) Os resíduos perigosos que não correspondam as características do eluato atrás definidas e não puderem ser tratados nem depositados conjuntamente com resíduos urbanos por razões de incompatibilidade, ou quaisquer outros resíduos de tipo, origem ou composição determinados, possam ser encaminhados para mono-aterros;
- e) Não é autorizada, nem antes nem durante as operações de deposição, a diluição de resíduos que tenha por objectivo conforma-los com as normas de admissão;
- f) Alcatrões ácidos;
- g) Solventes orgânicos imiscíveis ou resíduos aquosos com > 1% de compostos orgânicos imiscíveis;
- h) Solventes orgânicos miscíveis em água com concentrações > 10% ;
- i) Resíduos que reagem violentamente com água ou matéria orgânica;
- j) Amianto (excluído devido aos riscos causados pela escavação durante a deposição conjunta);
- k) Resíduos com concentrações importantes ⁷ de:
 - PCB (bifenilos policlorados) > 50 ppb ⁸ ;
 - PCT (trifenilos policlorados) > 50 ppb;
 - TCDD (tetraclorodibenzodioxina) > 10 ppb para o isómero 2, 3, 7, 8;
 - PCN (policianetos) > 50 ppm total ⁹ ;
 - PAH (hidrocarbonetos poliaromáticos) > 20 ppm;

⁷ Os valores de "concentração importante" são extraídos das directivas CEE para os PCB e PCT; das propostas da CMS para os TCDD e compostos organometálicos; da legislação holandesa para os PCN, PAH, hidrocarbonetos clorados, pesticidas e cianetos livres. Estes valores devem ser revistos por um comité especial.

⁸ Parte por "bilião", ou µg/Kg de extracto seco, etc.

⁹ Parte por milhão, ou mg/Kg de extracto seco, etc.

- Compostos organometálicos (totalmente excluídos);
- Hidrocarbonetos clorados (incluindo clorofenóis) > 1 ppm;
- Pesticidas > 2 ppm;
- Cianetos livres > 10 ppm.

12.5.2.2 *Os resíduos a seguir designados¹⁰ podem ser depositados conjuntamente,*

O aterro sanitário pode receber lamas de ETAR, no entanto podem igualmente ser depositadas outras lamas, porém devem estar *sujeitos a uma análise individual e a eventuais restrições da taxa de deposição de componentes específicos as seguintes:*

- a) Lamas de tratamento de efluentes industriais;
- b) Lamas de tratamento biológico;
- c) Lamas ácidas;
- d) Resíduos de filtração e lamas de decantação;
- e) Resíduos de tintas e efluentes de câmaras de pintura por aspersão;
- f) Desengordurantes alcalinos;
- g) Detergentes, gorduras e lubrificantes presentes na água;
- h) Resíduos adesivos;
- i) Resíduos das indústrias de peles e curtumes;
- j) Resíduos da indústrias de cervejaria;
- k) Resíduos da indústria pecuária e alimentar;
- l) Resíduos de acabamentos de peças metálicas;
- m) Ácidos / bases;
- n) Óleos de corte / óleos de arrefecimento.

¹⁰ Esta lista não é exaustiva, baseia-se em tipos de resíduos cuja deposição conjunta foi bem sucedida em vários aterros (excepto soluções aquosas).

Quadro 12.3 Critérios para o cálculo do potencial de deposição em aterro

Componentes dos resíduos	Valores assumidos
ácidos	100 eq/t de resíduos urbanos (1)
metais pesados : Zn, Cu, Ni, Cr, Pb	100 g/t de resíduos urbanos (2,3)
Cd	10 g/t de resíduos urbanos
Hg	2 g/t de resíduos urbanos
As, Se	1 g/t de resíduos urbanos
cianetos (expressos em CN)	1 g/m ³ de res. urba. por dia (5)
fenóis	5 g/m ³ de res. urba. por dia (6)
petróleo / hidrocarbonetos	2.5 Kg/t de resíduos urbanos
COT	10 g/m ³ de res. urba. por dia (7)
comp. orgã. especificados (4)	10 g/m ³ de res. urba. por dia

Comentário: Página: 11

Comentário: Página: 11

Comentário: Página: 11

Comentário: Página: 11

(1) Deposições a calcular na base de "uma só vez", excepto se o controlo do aterro na zona de reacção demonstrar a regeneração da capacidade de retenção. Os ácidos devem ser depositados numa zona separada dos resíduos que contenham cianetos ou sulfuretos.

(2) Deposições a calcular na base de "uma só vez", Deve ser efectuado um *ensaio prévio de precipitação* dos resíduos que contenham > 100 mg/l de metais pesados solúveis.

(3) O valor máximo assumido para o total dos metais pesados não deve exceder 100 g/t de resíduos urbanos.

(4) Os compostos orgânicos da lista 1 da Directiva 80/68/CEE relativa à protecção das águas subterrâneas.

(5) Excepto se os dados concretos aterro/resíduos relativos a resíduos específicos indicarem que se degradam totalmente. Não devem ser depositados conjuntamente quaisquer resíduos que contenham > 100 mg/l de cianetos solúveis (expressos em CN).

(6) Excepto se o *controlo do aterro* indicar a capacidade da zona de reacção de degradar totalmente os fenóis.

(7) Excepto se os dados concretos sobre resíduos específicos indicarem que estes são altamente degradáveis.

12.6 PROCESSOS DE CONTROLO NAS FASES DE EXPLORAÇÃO E DE MANUTENÇÃO APÓS ENCERRAMENTO

12.6.1 Programa de medições

Este programa mínimo deverá realizar-se durante a fase de exploração como elemento auxiliar da gestão geral do aterro e, durante a fase de manutenção após o encerramento e por um período de 30 anos após o encerramento definitivo, para prevenir danos no aterro ou no ambiente e assegurar que a instalação se mantém segura.

12.6.1.1 Dados meteorológicos

In situ ou da estação mais próxima que forneça dados representativos do local (1).

Quadro 12.4 parâmetros meteorológicos de monitorização

	Fase de exploração	Fase manutenção após encerramento
Volume e quantidade de precipitação		
Temperatura (min., máx., 14.00 h TEC)		mensalmente
Direcção, velocidade do vento dominante	Diariamente	no mesmo dia

Evaporação (lisímetro) (2)		do mês
Humidade atmosférica (14.00 h TEC)		

(1) Os parâmetros anteriores podem ser substituídos pela "precipitação efectiva" indicada por uma rede local (Serviço de Meteorologia).

(2) Ou medindo o parâmetro da humidade atmosférica e calculando a evaporação segundo HAUDE.

12.6.1.2 Dados sobre emissões: controlo das águas. Lixiviados e gases.

Amostragem

Para os lixiviados e águas de escorrência, uma amostra global de 10 litros, representativa da composição média.

Quadro 12.5 monitorização do aterro - emissões

	Fase exploração	Fase de manutenção após encerramento
Volume dos lixiviados	Val. Tot. dia	mensalmente no mesmo dia do mês
Composição dos lixiviados (1)	mensal (2)	
Comp. das águas de escorrência superficiais.	mensal (2)	
Emissão gases (CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S, H ₂ ,...)	mensal (2)(3)	

(1) Os parâmetros a medir e as substâncias a analisar variam de acordo com a composição dos resíduos depositados; devem ser mencionados na licença de exploração e correlacionados com as características do eluato dos resíduos depositados. Os parâmetros a seleccionar para os lixiviados deverão possibilitar estimativas, a partir das avaliações anuais, da influência dos lixiviados na camada impermeável da base do aterro.

(2) As medições e análises devem ser feitas no mínimo mensalmente durante o primeiro ano de exploração. Se a avaliação dos dados indicar que intervalos mais longos são igualmente eficazes, esse intervalo deve ser aumentado para um máximo de três meses. A condutividade deve ser medida pelo menos uma vez por mês.

(3) CH₄, CO₂, O₂ regularmente; outros gases segundo as necessidades, de acordo com a composição dos resíduos depositados.

(4) A eficiência da camada de drenagem dos gases deve ser verificada regularmente.

12.6.1.3 Protecção das águas subterrâneas

Amostragem

O número e os pontos de medição das águas subterrâneas deve ser mencionado na licença de exploração; um desses pontos deve estar localizado na região de infiltração das águas subterrâneas (nível O) e

dois na região de escoamento. Valor de referência anterior ao início da exploração: deve ser realizada, no mínimo em três locais distintos, uma análise completa a utilizar como *valor de referência inicial*.

Controlo

As substâncias a analisar devem ser definidas com base na composição dos lixiviados determinada na fase de exploração. Devem ser fiscalizadas, especialmente, as concentrações consideradas no anexo (listas 1 e 2) da Directiva 80/68/CEE do Conselho relativa à protecção das águas subterrâneas contra a poluição provocada por substâncias perigosas.

Para as substâncias constantes da lista 2 da directiva 80/68/CEE do Conselho e para as águas subterrâneas utilizadas ou utilizáveis como fontes de água de beber, os valores CMA devem ser os definidos na Directiva 80/778/CEE do Conselho relativa à qualidade da água destinada ao consumo humano e os métodos de análise os propostos na mesma directiva.

Quadro 12.6 Monitorização das águas subterrâneas (quando existem)

	Fase de exploração	Fase manutenção após encerramento
Níveis das águas subterrâneas	6 em 6 meses (1)	de 6 em 6 meses
Composição das águas subterrâneas	6 em 6 meses	de 6 em 6 meses

(1) Se houver níveis freáticos variáveis os intervalos devem ser diminuídos.

Para um controlo permanente poderão ser utilizados parâmetros ou componentes indicadores, seleccionados em função das características originais das águas subterrâneas (nível O) e da composição dos lixiviados.

12.6.2 Balanço hídrico

Embora tenha apenas valor teórico, o cálculo do balanço hídrico constitui frequentemente um parâmetro útil em aspectos concretos de gestão, durante a fase de exploração. Frequência: duas vezes por ano (Abril - Outubro). A medição dos parâmetros citados no quadro IV conjugada com a medição do volume dos lixiviados, em dados sobre emissões, permite estimar o balanço hídrico anual no aterro. Um método conveniente de cálculo para o aterro em fase de exploração seria dado pela expressão:

$$L_0 = i - E - aW$$

em que:

L_0 = lixiviados livres retidos no aterro (equivalente à produção de lixiviados menos os lixiviados que efluem do aterro), em m³/ano;

i = "input" líquido total (precipitação+ resíduos líquidos+eventuais infiltrações de águas superficiais), em m³/ano;

E = perdas por evapotranspiração (evaporação+transpiração mínima), em m³/ano;

a = capacidade absorvente ⁸ dos resíduos admitidos

W = massa dos resíduos depositados, em t/ano

a eficácia dos mecanismos atenuadores na redução, a níveis aceitáveis, dos riscos de poluição no aterro e nas camadas subjacentes implica, teoricamente, que o aterro seja explorado de tal forma que L_0 seja sempre negativo ou zero. Um crescente valor positivo de L_0 implica formação de lixiviados no aterro.

$L_0 \leq 0$ - não há lixiviados

12.6.3 Topografia da instalação: dados sobre o aterro

Quadro 12.7 Monitorização - topografia dos alvéolos

	Fase de exploração	Fase manutenção após encerramento
Estrutura e composição do aterro (1)	anualmente	leitura anual
Comportamento do aterro relativamente a eventuais assentamentos	anualmente	

(1) Dados para avaliar o estado do aterro; superfície ocupada pelos resíduos, volume e composição dos resíduos, métodos de deposição, início e duração da deposição, prova da estabilidade do aterro, cálculo da capacidade de deposição ainda disponível do aterro.

⁸Capacidade absorvente : a máxima quantidade de líquido absorvida e retida por unidade de massa de sólidos em condições determinadas; normalmente trata-se a quantidade de líquido retida por unidade de massa dos resíduos em aterro *antes da emissão de lixiviados* (ou seja, praticamente a humidade residual ao tempo da colheita da amostra)

13. METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS

13.1 INTRODUÇÃO

O objectivo duma campanha de caracterização de resíduos sólidos urbanos é estimar os valores médios de massa volúmica (peso específico) e da composição física dos resíduos recolhidos, dados fundamentais para o equacionamento do processo e do método de tratamento e destino final dos mesmos. A determinação da composição física dos RSU faz-se com base na separação dos diversos componentes, nomeadamente: vidro, papel e cartão, materiais plásticos, metais ferrosos e não ferrosos, têxteis, materiais fermentáveis e finos (resíduos de dimensões inferiores a 20 mm).

13.2 METODOLOGIA DE CARACTERIZAÇÃO DE RESÍDUOS

O objectivo duma campanha de caracterização de resíduos sólidos urbanos é estimar os valores médios de massa volúmica (peso específico) e da composição física dos resíduos recolhidos, dados fundamentais para o equacionamento do processo e do método de tratamento e destino final dos mesmos. A determinação da composição física dos RSU faz-se com base na separação dos diversos componentes, nomeadamente: vidro, papel e cartão, materiais plásticos, metais ferrosos e não ferrosos, têxteis, materiais fermentáveis e finos (resíduos de dimensões inferiores a 20 mm).

A composição física e o peso específico dos resíduos recolhidos variam com o tipo de ocupação dominante na zona de origem e dentro de cada zona, conforme o período do ano (estação do ano, épocas festivas, época de maior actividade para certas indústrias, etc.).

Estes factores são tomados em conta no planeamento de uma campanha de caracterização. Assim, a recolha de resíduos pode ser feita de duas formas:

directamente percorrendo o circuito de colecta de resíduos e recolhendo para um carro de apoio determinados sacos de resíduos;

directamente do camião de colecta utilizando toda a sua massa de resíduos.

Em qualquer dos casos procede-se do seguinte modo:

Proceder a uma descrição dos circuitos de recolha do município em estudo de acordo com o tipo de ocupação das zonas percorridas e constituir grupos de circuitos similares de acordo com esta descrição; deste modo procura-se que os circuitos de cada grupo sejam semelhantes relativamente às características dos resíduos recolhidos.

Colher resíduos para amostra em cada um destes grupos e em diferentes períodos do ano.

13.2.1 Recursos necessários

Um conjunto de meios materiais e humanos são necessários para a realização da campanha de caracterização física dos RSU.

Recursos humanos

Uma breve prelação aos operários que vão participar da campanha é extremamente importante, para que saibam quais os objectivos da campanha e a sua importância no moderno equacionamento dos resíduos sólidos. Deste modo não se sentirão a realizar um trabalho inócuo e até estranho (na sua óptica), contribuindo-se para evitar erros próprios da indiferença.

Assim, são necessários os seguintes meios humanos para qualquer das formas de aquisição das amostras:

1 gestor da campanha com funções que incluem a preparação e organização da campanha, a coordenação dos meios materiais e humanos e a formação do pessoal disponível. Após receber as fichas de campo calcula a massa volúmica e a composição física dos resíduos.

1 encarregado da campanha, que acompanha todo o processo, controla o pessoal operário, realiza as pesagens e preenche as fichas.

Para a *metodologia de recolha de amostras de resíduos directamente dos circuitos*, são necessários mais os seguintes recursos humanos:

1 motorista e 2 funcionários para a colheita das amostras de resíduos directamente dos circuitos;

4 operários para identificação dos componentes da amostra e posterior separação;

Para o caso das *amostras serem preparadas directamente dos camiões de colecta*, são necessários mais os seguintes meios humanos:

1 operador de máquinas para manobrar uma pá carregadora ou rectro-escavadora para misturar os resíduos;

4 ou 5 operários para separar os resíduos e colocá-los nos recipientes para pesagem;

Recursos materiais

- um veículo sem compactação, para a colheita de resíduos para amostra;
- uma rectro-escavadora ou uma pá carregadora para mistura dos resíduos;
- local pavimentado, amplo e arejado de modo a possibilitar a mistura dos resíduos, assim como permitir a separação dos vários componentes;
- pás suficientes para manuseio dos resíduos;
- recipientes de capacidade conhecida (15 contentores de 100 ou 110 litros) ou um número que no mínimo tenha cerca de 1m^3 , para determinação do peso específico;
- uma rede metálica com dimensões de 2 m x 1 m, com uma malha de 20 mm x 20 mm;

- um oleado resistente de 4mx3m;
- balança com estrado com capacidade de cerca de 250 Kg;
- equipamento de higiene e protecção pessoal, tais como fatos-macacos, luvas, máscaras e botas de borracha com ponta metálica;
- boletim de análise (ficha), para utilização ao longo da campanha.

No caso da campanha ser feita com a massa de resíduos de um camião, dum dado circuito, são precisos os meios atrás descritos com excepção do nº1 (viatura):

13.2.2 Preparação da campanha

Identificação dos circuitos de recolha

Identificar cada circuito de recolha de acordo com uma análise sumária do tipo de ocupação das zonas percorridas. Ter em conta a frequência da recolha e os dias da semana em que se realiza.

Identificar cada circuito por zonas, conforme se indica:

- zonas residenciais (que podem incluir pequeno comércio habitualmente frequentado apenas pelos moradores)
- zonas urbanas
- zonas comerciais (que podem incluir zonas habitacionais)
- zonas industriais
- zonas rurais
- outras zonas com significado no município
- Definir o menor número possível de grupos de circuitos que sejam semelhantes de acordo com a descrição efectuada; seguidamente, em cada grupo constituído seleccionar um circuito que se considere representativo do conjunto, para neste se realizar a colheita de resíduos para amostra.

Frequência de recolha de resíduos para amostra

Considera-se suficiente a colheita de resíduos para amostra 4 vezes por ano.

A colheita de resíduos para amostra, é feita à vez em cada um dos grupos de circuitos definidos. O número de colheitas de resíduos para amostra a realizar anualmente é distribuído pelos vários grupos de circuitos, proporcionalmente à contribuição de cada um para a quantidade de resíduos recolhidos.

É pois necessário dispor de dados que permitam uma comparação entre a quantidade de resíduos recolhidos nos vários grupos de circuitos. Estes dados podem ser obtidos por pesagens anteriormente efectuadas. No caso de não haver informação disponível, é necessário proceder à pesagem, pelo menos durante uma semana, dos resíduos recolhidos em cada circuito.

Faz-se uma estimativa aproximada da quantidade de resíduos recolhidos, para cada grupo de circuitos, em percentagem da quantidade total recolhida no município; determina-se então proporcionalmente, o número de vezes em que se deve colher resíduos para amostra em cada um dos grupos. O número total de colheitas a efectuar nos vários grupos deverá ser igual ao número total de colheitas a realizar anualmente no município.

Calendarização da campanha

Para uma caracterização qualitativa física completa dos resíduos produzidos num município urbano deve-se realizar a colheita de resíduos para amostra durante as 3 primeiras semanas de Janeiro, Abril, Julho e Outubro. No caso dum município rural, apenas durante as 3 primeiras semanas de Janeiro e Julho. Para um município em que, num dado ano, alguma destas semanas incluir dias feriados deve-se optar por realizar a colheita na semana imediatamente anterior ou seguinte (ou seja, respectivamente na 2ª ou 4ª semana do mês). Pode-se agora proceder à calendarização da campanha: seleccionam-se as semanas em que se vai realizar a colheita de resíduos para amostra de acordo com os critérios acima indicados e, em seguida, destina-se cada dia destas semanas à colheita num dado grupo de circuitos.

Ao calendarizar a campanha de caracterização qualitativa física para um dado ano deve-se ter em consideração:

o número de vezes em que se vai colher resíduos para amostragem em cada grupo de circuitos

verificar os dias da semana em que se efectuam a recolha dos lixos nos circuitos representativos de cada um dos grupos, a fim de não marcar a colheita das amostras num dia da semana em que esta não se realize

procurar que em cada grupo se realize a colheita de resíduos para amostra em dias e em semanas diferentes

evitar marcar mais do que uma colheita de resíduos no mesmo dia.

13.3 PROCEDIMENTOS

Identificar os recipientes a utilizar na determinação do peso específico, numerando-os e registando em cada um a respectiva tara. Identificar os recipientes para colocação dos componentes separados dos resíduos, registando em cada um a respectiva tara e o nome do componente a que se destina. Para os componentes materiais fermentáveis, plástico e papel e cartão, é aconselhável reservar mais do que um recipiente, atendendo às quantidades significativas normalmente previstas; esta medida evita interromper a operação de separação dos componentes, para efectuar a pesagem e despejo dos recipientes com capacidade esgotada.

A colheita de resíduos para amostra num grupo de circuitos, realizada ao longo do circuito seleccionado como representativo e nos dias que lhe foram destinados na calendarização realiza-se antes da passagem de rotina do veículo de recolha e mediante o despejo de uma série de recipientes depositados ao longo do circuito, para o veículo destinado previamente a esta operação.

A quantidade de resíduos colhidos para amostra pode variar entre 2 a 3,5 toneladas; esta quantidade deve ser obtida ao longo de toda a extensão do circuito de modo a ter-se uma amostra o mais possível representativa dos resíduos depositados no circuito nesse dia.

Para assegurar estes objectivos procede-se do seguinte modo:

se para a recolha de resíduos está prevista a realização de apenas uma volta⁹ no circuito, colher o conteúdo de recipientes alternados (ou seja, recipiente sim, recipiente não, despejado para o veículo);

se está prevista a realização de duas voltas, colher o conteúdo de um recipiente por cada quatro recipientes depositados ao longo do circuito (ou seja, um recipiente sim, três recipientes não);

se está prevista a realização de três voltas colher o conteúdo de um recipiente por cada seis recipientes depositados ao longo do circuito (ou seja, aproximadamente, um recipiente sim, cinco recipientes não).

Recomenda-se a pesagem do veículo antes e depois da colheita dos resíduos, de modo a verificar se a quantidade obtida se afasta ou mantém no intervalo indicado de 2 a 3 toneladas. Deve-se proceder à análise da amostra logo que possível. Caso se trate de um circuito nocturno, deixar os resíduos no veículo até ao momento da análise, ou descarregar o veículo no local destinado à mistura dos resíduos e tapá-los com uma cobertura plástica.

Se a metodologia é a da obtenção da amostra directamente do camião de colecta, os procedimentos anteriores não são aplicados, como é óbvio.

13.3.1 Obtenção das amostras

As operações seguidamente descritas são importantes, tendo como objectivo reduzir as diferenças de composição entre a pilha de resíduos (recolhidos em separado no circuito, ou toda a massa de resíduos do camião de colecta) e a amostra a retirar.

1º- Misturar os resíduos com a pá carregadora ou “rectro”, efectuando diversos revolvimentos;

2º- Espalhar os resíduos de forma a constituir um “disco” grosseiro com espessura até 50 centímetros;

3º- Dividir este “disco” em quatro partes, sensivelmente iguais e rejeitar dois quartos opostos;

4º- Misturar os quartos restantes;

5º- Repetir uma vez esta sequência de operações.

Da restante quantidade de resíduos, encher sem transbordar os recipientes destinados à determinação da massa volúmica (recipientes numerados), não comprimindo e agitando de vez em quando. O conteúdo destes recipientes representa a amostra de resíduos a analisar.

13.3.2 Análise das amostras de resíduos

A separação dos componentes dos resíduos é uma operação demorada e cansativa, pelo que deve ser efectuada num local abrigado, arejado e com boa iluminação; deve-se insistir na necessidade do uso do material de protecção pelos trabalhadores, nomeadamente os fato-macaco, as máscaras, as luvas grossas e as botas de borracha.

⁹ - Diz-se que um veículo completa uma volta quando após proceder à recolha de resíduos dirige-se ao local de deposição para descarregar. Quando num circuito a quantidade ultrapassa a capacidade do veículo, este tem que realizar mais do que uma volta até abranger o circuito todo

1º- Pesagem da amostra;

2º- Pesar os recipientes numerados que contêm a amostra. Anotar os valores no boletim de análise;

3º- Separação e pesagem por componentes;

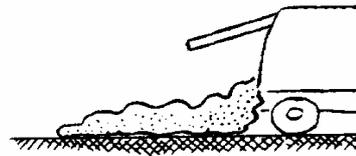
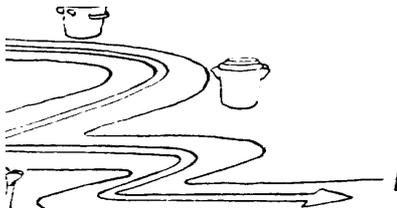
4º- Colocar o crivo sobre o oleado a cerca de 80 cm de altura. Despejar aos poucos o conteúdo dos recipientes sobre o crivo. Separar os resíduos da amostra segundo os vários componentes e colocá-los nos recipientes marcados com a sua designação. Sacudir de vez em quando, o crivo para facilitar a passagem dos finos (resíduos com dimensões inferiores a 20 mm) através da malha;

5º- Quando terminada a separação, colocar a fracção finos no respectivo recipiente;

6º- Pesar os vários recipientes e anotar os valores no boletim de análise.

Durante a separação dos componentes dos resíduos põem-se por vezes dúvidas relativamente à classe a que pertencem determinados elementos. Assim, sugere-se a colocação das fraldas descartáveis e das embalagens constituídas por folhas de plástico, cartolina e alumínio (embalagens tipo Tetra Pak) na classe de papel e cartão, os poliestirenos (esferovite) no plástico, os animais mortos na classe dos materiais fermentáveis e a utilização de um íman para distinguir um metal ferroso de um não ferroso. Nos casos em que as quantidades das embalagens de materiais mistos (tipo Tetra Pak) se for tornando significativa, sugere-se que estas sejam separadas para um recipiente próprio e feita a sua quantificação.

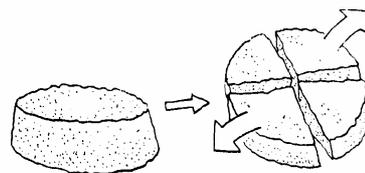
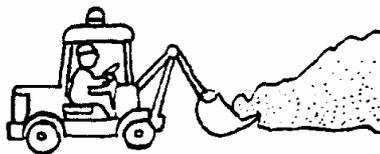
COLHEITA DE RESÍDUOS PARA AMOSTRA



2 a 3 toneladas de resíduos

descarga em local apropriado

HOMOGENIZAÇÃO E OBTENÇÃO DA AMOSTRA



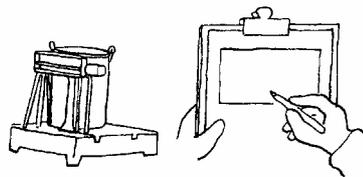
misturar os resíduos com pó carregadora

formar um disco com 50 cm de altura
dividir em 4 partes e rejeitar 2/4 opostos

CÁLCULO DO PESO ESPECÍFICO



encher os recipientes com volume conhecido

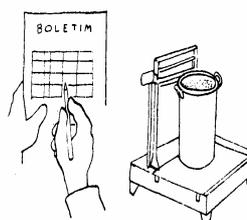


pesar os recipientes e registrar no boletim

CÁLCULO DA COMPOSIÇÃO QUALITATIVA DOS RESÍDUOS



separar os resíduos segundo os materiais



pesar cada material e registrar os valores

13.3.3 Resultados da análise

13.3.3.1 Peso específico

Calcular o peso específico da amostra pela expressão:

$$\gamma = PL/V$$

onde:

$$PL = PC - PV$$

em que:

γ - peso específico dos resíduos (Kg/m^3)

V - soma dos volumes dos recipientes (m^3)

P_L - soma do peso líquido das amostras (Kg)

P_C - soma dos pesos dos recipientes cheios (kg)

P_V - Soma dos volumes dos recipientes vazios (kg)

13.3.3.2 Análise quantitativa física

Calcular a composição física da amostra, por componente, em percentagem do peso total, através da expressão

Para cada componente

$$K_i = \frac{P_{L(i)}}{P_L} \times 100$$

onde:

$$P_{L(i)} = (P_{C(i)} - P_{V(i)})$$

e:

$$P_L = (P_C - P_V)$$

em que:

$$P_C = \sum P_{C(i)}$$

$$P_V = \sum P_{V(i)}$$

onde:

$P_{L(i)}$ - peso total do componente i

P_L - somatório dos pesos de todos os componentes da amostra

$P_{C(i)}$ - peso total dos recipientes cheios do componente i (Kg)

$P_{V(i)}$ - peso total dos recipientes vazios do componente i (Kg)

K_i - percentagem em peso total do componente i na amostra

P_C - somatório dos pesos dos recipientes cheios para todos os compostos

P_V - somatório dos pesos dos recipientes vazios para todos os componentes

13.4 RESULTADOS DA CAMPANHA

Estimar o valor médio do peso específico dos resíduos sólidos urbanos recolhidos no município (ver Registo em anexo) pela expressão:

$$\gamma_m = \sum \frac{\gamma_i}{n}$$

onde:

γ_m - valor médio de peso específico dos resíduos sólidos

urbanos recolhidos no município (Kg/m³)

γ_i - valores de peso específico obtidos nas várias amostras

n - número de amostras analisadas na campanha

Estimar a composição física média dos resíduos sólidos urbanos recolhidos no município (ver Registo em anexo), segundo os vários componentes em percentagem do peso total, pela expressão:

Para cada componente:

$$K = \sum \frac{K_i}{n}$$

onde:

K - percentagem média do componente nos resíduos (%)

K_i - soma das percentagens em que ocorreu esse componente

nas várias amostras

n - número de amostras analisadas no ano da campanha

BIBLIOGRAFIA

1. Bonaparte, R.; Williams, N.; e Giroud, J. P. (1985). Innovative leachate collection systems for hazardous waste containment facilities, *Proc. of Geotechnical Fabrics*, Cincinnati, 9 - 34.
2. Cancelli, A. (1989). Soil and refuse stability in sanitary landfills, *Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact*, Academic Press Ltd., London, 483 - 507.
3. Cancelli, A. e Cazzuffi D. (1994). Environmental aspects of geosynthetic application in landfills and dams, *Proc. 5th Int. Conf. on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, Keynote lectures, Singapore, 57 - 95.
4. Cancelli, A.; Cossu, R.; Malpei, F. e Pessina, D. (1988). Permeability of different materials to landfill leachate, *Proc. of I.S.W.A. 88 - 5th Int. Solid Wastes Conference*, Copenhagen, Vol. 1, 115 - 122.
5. Cazzuffi D. e Cossu, R. (1993). Experimental evaluation of the filter performance for geotextiles in landfills, *Geotextiles in Filtration and Drainage*, Thomas Telford, London, 78 - 94.
6. Chouery-Curtis, V. E. e Butchko, S. T. (1991). Innovative use of structural geogrids in waste containment applications, *Proc. of Sardinia 91 - 3rd Int. Landfill Symposium*, Cagliari, Vol. 1, 547 - 561.
7. Collins, H. J. (1993). Impact of the temperature inside the landfill on the behaviour of barrier systems, *Proc. of Sardinia 93 - 4th Int. Landfill Symposium*, Cagliari, Vol. 1, 417 - 432.
8. Cossu, R. (1994). Engineering of landfill barrier systems, *Landfilling of Waste: Barriers*, E & FN Spon, London, 11 - 23.
9. Daniel, D. E. e Shackelford, Ch. D. (1989). Containment of landfill leachate with clay liners, *Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact*, Academic Press Ltd., London, 323 - 341.
10. Davis M. L. & Cornwell D.A. (1991) Introduction to Environmental Engineering McGraw-Hill International Editions, Singapore.
11. DGRN: Anuários.
12. Environmental Protection Agency (1991) Solid Waste Disposal Facility Criteria, 40 CFR Part 258, Federal Register.
13. Ferreira, Francisco C. (1996) - "A Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos em Portugal" - Instit. Politécnico de Viana do Castelo - 1º Simpósio Internacional Sobre Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos.
14. Giroud, J. P. (1986). From geotextiles to geosynthetics: a revolution in geotechnical engineering, *Proc. 3rd Int. Conf. on Geotextiles*, Vienna, Vol. 1, 1 - 18.
15. Giroud, J. P. e Bonaparte, R. (1989). Leakage through liners constructed with geomembranes, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 8, 27 - 67 (Part I) e 71 - 111 (Part II).
16. Giroud, J. P.; Arman, A. e Bell, J. R. (1985). Geotextiles in geotechnical engineering practice and research. Report of the ISSMFE Technical Committee on Geotextiles, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 2, 179 - 242.
17. Giroud, J. P.; Bonaparte, R.; Beech, J. F. e Gross, B. A. (1990). Design of soil layer - geosynthetic systems overlying voids, *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 9, 11 - 50.

18. Haxo, H. E. (1989). Compatibility of flexible membrane liners and municipal solid waste leachate, *Proc. of 15th Annual Res. Symp. on Remedial Action, Treatment and Disposal of Hazardous Wastes*, Cincinnati, 350 - 368.
19. Haxo, H. E. e Haxo, P. D. (1994). Basic composition and properties of synthetic materials in lining systems, *Landfilling of Waste: Barriers*, E & FN Spon, London, 317 - 343.
20. Hoeks, J. e Ryhiner, A. H. (1989). Surface capping with natural liner materials, *Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact*, Academic Press Ltd., London, 311 - 322.
21. Hoekstra, S. E. e Berkhout, H. C. (1990). Geosynthetics for safe waste disposal, *Proc. 4th Int. Conf. on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, The Hague, Vol. 2, 487 - 492.
22. Jessberger, H. L. e Kockel, R. (1993). Determination and assessment of the mechanical properties of waste materials, *Proc. of Sardinia 93 - 4th Int. Landfill Symposium*, Cagliari, Vol. 2, 1383 - 1392.
23. Kisskalt, J. e Gartung, E. (1990). Long term filter function of nonwoven geotextiles in landfills, *Proc. 4th Int. Conf. on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, The Hague, Vol. 2, 499 - 503.
24. Koerner, R. M. (1990). Preservation of the environment via geosynthetic containment system, *Proc. 4th Int. Conf. on Geotextiles, Geomembranes and Related Products*, The Hague, Vol. 3, 975 - 988.
25. Leach, A. (1991). A practical study of the performance of various gas cell designs and of the combined gas and leachate abstraction systems, *Proc. of Sardinia 91 - 3rd Int. Landfill Symposium*, Cagliari, Vol. 1, 285 - 300.
26. Legislação sobre RSU, (portuguesa e comunitária).
27. Lopes, M. L. C. (1992). Muros reforçados com geossintéticos, *Dissertação de Douturamento em Engenharia Civil*, FEUP, Porto.
28. Melchior, S.; Berger, K.; Vielhaber, B. e Miehlich, G. (1993). Comparison of the effectiveness of different liner systems for top cover, *Proc. of Sardinia 93 - 4th Int. Landfill Symposium*, Cagliari, Vol. 1, 225 - 234.
29. Mitchell, J. K. e Jaber, M. (1990). Factors controlling the long-term properties of clay liners, *Proc. of Symp. on Waste Containment Systems: Construction, Regulation and Performance*, San Francisco, ASCE Geot. Spec. Publ., N° 26, 84 - 105.
30. Quaresma, M. G. D. A. L. (1992). Comportement et modélisation d'un remblai sur sols mous renforcé par geotextile, *Dissertação de Douturamento em Geotecnia*, Université Joseph Fourier, Grenoble.
31. Quigley, R. M.; Fernandez, F. e Crooks, V. E. (1987). Engineered clay liners: a short review, *Environmental Geotechnics and Problematic Soils and Rocks*, Balkema, Rotterdam, 63 - 74.
32. Ramke, H. G. (1989). Leachate collection systems, *Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact*, Academic Press Ltd., London, 343 - 364.
33. Rimoldi, P. e Togni, S. (1991). Soil-geosynthetic interaction through direct shear and pull-out tests, *Proc. of Sardinia 91 - 3rd Int. Landfill Symposium*, Cagliari, Vol. 1, 605 - 624.
34. Rollin, A. L.; Mlynarek, J.; Lafleur, J. e Zanescu, A. (1991). The investigation of the seven year old HDPE geomembrane used in landfill, *Proc. of Sardinia 91 - 3rd Int. Landfill Symposium*, Cagliari, Vol. 1, 667 - 677.

35. Russo M.A.T., Vieira J.M.P (1995) Landscaping Recovery of Old Mines by Adequate Landfill Architecture. In *Proceedings Sardinia 95, Fifth International Landfill Symposium* (Edited by Christensen T.H., Cossu R. and Stegmann), Vol. 3 pp. 679-684. CISA Publisher, Cagliari.
36. Russo, M.A.T (Coord.) - Tratamento e Destino Final dos RSU do Alto Minho e Baixo Cávado (Tomo I) (1995).
37. Russo, M.A.T., “Gestão Integrada de Resíduos”, Lisboa, 1995 - Ambiforum.
38. Russo, M.A.T., “O aterro sanitário na base de uma gestão integrada de resíduos sólidos” VI SILUBESA, Florianópolis, Brasil, 1994.
39. Russo, M.A.T., “Resíduos Sólidos Industriais” - Citeve, V.N. Famalicão, 1995.
40. Tchobanoglous G. , Theisen H & Vigil S. A. (1993) Integrated Solid Waste Management. McGraw-Hill International Editions, Singapore.
41. Environmental Protection Agency (1989) Decision-Makers Guide to Solid Waste Management, EPA/530-SW-89-072, Washington, DC.
42. Vieira J.M.P, Russo M.A.T. (1995) Design of a Regional Solid Waste Management Program Based on Landfill Technology. In *Proceedings Sardinia 95, Fifth International Landfill Symposium* (Edited by Christensen T.H., Cossu R. and Stegmann R.), Vol. 3 pp. 127-132. CISA Publisher, Cagliari.
43. Wallace, R. B. (1993). The stability and integrity of landfill closure systems, *Proc. of Sardinia 93 - 4th Int. Landfill Symposium*, Cagliari, Vol. 1, 253 - 262.