



ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DOS RECURSOS HÍDRICOS



ABES ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

SIMPÓSIO LUSO BRASILEIRO DE
ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

PROCESSAMENTO DO LODO E DOS
RESÍDUOS SÓLIDOS

COMPOSTAGEM LENTA DE RESÍDUOS SÓLIDOS
VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÓMICA EM PORTUGAL

M. J. T. CARRONDO* e H. J. GOMES**

*Eng. Químico, Univ. Porto, Ph.D., M. Sc., D.I.C, Imperial College, Univ. Londres, Consultor PLANO, Empresa de Projectos Mecânicos, Lda e Prof. Aux. Fac. Ciências e Tecnologia. Univ. Nova, Lisboa, Portugal.

**Eng.º Mecânico I.S.T., Consultor PLANO, Empresa de Projectos Mecânicos, Lisboa, Portugal

RESUMO

Propõe-se a utilização de estações de tratamento de resíduos sólidos por compostagem lenta para Portugal, em situações de dimensão populacional variando de 100 a 400 mil habitantes desde que exista escoamento agrícola próximo.

Para uma dimensão da ordem das 100 toneladas de lixo bruto/dia apresentam-se os predimensionamentos e planeamentos operacionais e de mão de obra dos três subsistemas principais: pré-tratamento mecânico, fermentação, maturação e armazenagem e disposição a aterro dos produtos não recicláveis nem compostáveis. Considerando a situação técnica e economicamente viável de construir boa parte da instalação em Portugal apresenta-se uma análise de custos de investimento e de composto produzido que permita a uma autarquia ou grupo de autarquias contrapor esta solução a outras correntemente definidas por fabricantes de equipamento estrangeiro sofisticado.

Na actual conjuntura do mercado financeiro os custos de produção são fortemente onerados pelos encargos financeiros representando os juros um terço da estrutura de custos. Contribuindo a mão de obra com uma percentagem inferior a 10% nesta estrutura, utilização de dois turnos permitindo tratar até 200 toneladas/dia de resíduos sólidos acarreta economia substancial no preço de custo do composto.

1 - INTRODUÇÃO

As soluções de tratamento de resíduos sólidos domésticos por compostagem são sobretudo recomendáveis nas situações em que existem, num perímetro próximo, explorações agrícolas com capacidade de utilização do composto e em que os resíduos sólidos colectados apresentem percentagem razoável de matéria orgânica compostável. Esta é uma situação corrente em países em vias de desenvolvimento ou de médio desenvolvimento industrial ou em centros urbanos não excessivamente cosmopolitas.

Com o aumento do preço do petróleo, a utilização de adubos químicos tem vindo a ser progressivamente onerada justificando ainda melhor a utilização dos resíduos sólidos domésticos tratados na forma de composto. O composto apresenta características químicas e físicas próximas das de um estrume, conferindo boa estrutura ao solo (actua como condicionante) mercê do conteúdo de matéria orgânica que fornece (cerca de 200 Kg/tonelada) e contribuindo também com produtos fertilizantes inorgânicos, de que fornece, em média e por tonelada, 6 Kg de azoto, 4,5 Kg de ácido fosfórico e 5 Kg de potássio (contra 3, 4 e 6 Kg respectivamente para o estrume).

Embora o interesse pela obtenção de metano possa vir a arrastar maior utilização de compostagem anaeróbica, a maior parte das instalações existentes operam aerobicamente, permitindo mais rápida obtenção de um composto que é mais apropriado para utilização agrícola e melhor controlo sanitário da operação de compostagem.

Conquanto seja possível obter no mercado "digestores" para compostagem acelerada para dimensões inferiores a 100 toneladas de resíduos/dia, para esta dimensão (ou mesmo maior, dependendo da área disponível e da logística da exploração) a solução por compostagem lenta é certamente mais aconselhável (1, 2, 3). Os "digestores" operam normalmente em ciclos de 4 a 7 dias mas o seu custo pode tornar economicamente inviável a exploração de uma instalação, sendo também mais crítico obter-se um composto de boa qualidade e havendo a referir alguns desaires (1, 2, 3) ou sendo apenas aceite como solução a considerar excepcionalmente (4). Tendo em conta a situação portuguesa, a dimensão superior recomendável para uma estação de tratamento por compostagem lenta deverá corresponder a cerca de 400 000 habitantes (ou cerca de 200 toneladas resíduos/dia) com uma dimensão económica mínima rodando os 100 000 habitantes (cerca de 50 ton/dia); soluções de bastante mais baixa tecnologia admitem menor dimensão com maior área e mão de obra, talvez não aceitáveis em Portugal.

Consoante o composto é para utilização mecânica (vinhas, pomares, etc) ou horticultável, assim se torna necessário produzir um composto de grão grosso (passando em crivo de malha de 30mm) ou de grão fino (crivo de 10:15mm); normalmente esta segunda situação implica maiores custos de implantação e exploração, por exigir uma linha de afinação pelo que, tanto quanto possível deverá ser evitada.

As soluções especificamente referidas no corpo deste artigo referem-se a dimensão de cerca de 100 ton/dia e composto grosseiro resultante de estudos prévios realizados na PLANO.

2 - SISTEMAS DE TRATAMENTO

Numa instalação de tratamento de resíduos sólidos são possíveis várias combinações de sistemas mas, no essencial, pode dizer-se que há três sistemas principais :

- O sistema de separação e pre-tratamento, essencialmente mecânico;
- O sistema de tratamento propriamente dito, essencialmente biológico - químico, separação - crivagem mecânica, maturação e armazenamento;
- O sistema de deposição de resíduos não compostáveis nem doutra forma recicláveis, geralmente constituído por um aterro sanitário que é, ele próprio, tratamento de emergência aquando de eventual paragem por avaria ou para manutenção prolongada da instalação.

Para cada um destes sistemas há que planear a operação para que o projecto resultante seja funcionalmente exequível, para o que é ainda condição essencial que a integração dos três sistemas na estação global seja harmónica.

Por nos parecer mais pedagógico, avançaremos do particular para o geral, descrevendo alguns dos aspectos a considerar no planeamento de cada um dos sistemas e, finalmente, no sistema global. Tendo em conta a grande diversidade de situações possíveis, os exemplos apresentados são generalizações de casos particulares, apresentando-se pre-dimensionamentos que substanciam a análise de custos final.

2.1 - SEPARAÇÃO E PRÉ TRATAMENTO MECÂNICO

Estes são sistemas essencialmente mecânicos e resumem-se a uma sucessão lógica de operações de escolha, separação, trituração, transporte e armazenagem dos lixos. Pensamos que em países como o nosso a laboração deverá ser contínua com a maior mecanização possível limitando no entanto a utilização do equipamento a sistemas muito simples, robustos e fiáveis, sem sofisticções onerosas, desnecessárias e que podem comprometer a operacionalidade das instalações. Por outro lado, deverão ser de tal forma flexíveis que permitam facilmente as introduções adicionais que a prática posteriormente venha a justificar.

Assim, poderemos descrever os seguintes grandes pontos de tratamento; pela sua sequência mais usual (Fig. 1 - Flow sheet para 100 ton/dia)

Pesagem - Uma balança destinada à pesagem dos camiões deverá estar situada à entrada da central com eventual informatização de pesagens.

Posto de Recepção e Armazenamento - Desenvolvendo-se já no edifício de tratamento existe uma zona de construção aligeirada para recepção e armazenamento onde se farão as descargas, para uma fossa de armazenagem.

Esta fossa transformará as descargas das recolhas descontínuas e irregulares num abastecimento contínuo e regular da central, desfazendo os períodos de funcionamento desta pelo que a sua capacidade será de Ca. 250 m³.

1ª Escolha - Uma ponte rolante com cesto de garras de capacidade de 3 m³ despejará o lixo da fossa anteriormente referido numa treminha de alimentação de um tapete transportador plano de lamelas metálicas onde se fará uma primeira separação manual. Estes componentes separados serão classificados e descarregados

em condutas gravíticas. O restante lixo será enviado para a tremonha de alimentação do triturador (moinho de martelos).

Redução - Para o tipo de lixo a que estas centrais se destinam o sistema de redução mais versátil e robusto é a trituração por moinho de martelo. Este equipamento deverá ter fácil acesso à zona de trituração para substituição dos martelos e um dispositivo de segurança para ejeção dos "não trituráveis".

A fim de aumentar o rendimento energético e mecânico desta operação o crivo de saída do triturador não deverá ser muito apertado. Assim é aconselhável usar o moinho para partículas de tamanho médio de 70mm, sendo feita uma última redução/separação para 30mm após a compostagem.

Um separador balístico de materiais de baixa densidade poderá ser também adaptado a esta máquina.

Transferência, Separação Magnética, Balística e Peneiramento - Após a operação de redução tapetes transportadores asseguram a transferência do lixo triturado até à área de compostagem.

No seu percurso, se necessário, e de acordo com as características do lixo e possibilidade de aproveitamento de recicláveis, poderá ser introduzida uma peneira vibratória, separadores magnéticos para metais ferrosos e separadores balísticos.

Uma planta e um corte com lay-out da zona de pré-tratamento mecânico duma instalação deste tipo são apresentadas nas Fig. 2 e 3.

2. 2 - COMPOSTAGEM, MATURAÇÃO E ARMAZENAMENTO

Zona de Fermentação (Fig. 4)

A compostagem é o cerne da operação e, tendo em conta que a área ocupada pelas medas tem que ser pavimentada, drenada, com pontos de água para humidificação bem como coberta, pelo menos na fase inicial da fermentação, ainda que com estrutura aligeirada, o seu eficaz planeamento permite reduzir custos de investimento e de operação mecânica no revolvimento das medas.

Para além das sua função essencial de refazer os canais de arejamento na meda, o revolvimento deve ainda devolver ao interior da meda os elementos externos desta para, através da subida de temperatura no interior destruir patogêneos, larvas de insectos, nomeadamente moscas e expando ao exterior os elementos internos para evitar a anaerobiose e consequentes cheiros.

Existe uma relação positiva entre a frequência do revolvimento e a velocidade de decomposição; porque, no entanto, o custo do revolvimento é elevado, a sua optimização é necessária, apontando-se usualmente para ciclos de 20 dias com três revolvimentos, aos 5, 10 e 15 dias e remoção para maturação e armazenamento ao vigésimo. Conquanto não seja a máquina mais adequada, é corrente que o revolvimento seja feito com uma pá carregadora, pelo que normalmente a nova meda é construída paralelamente à primeira sendo a tarefa algo facilitada se se invertermos os topos

pelo que a base da meda deverá ser grande para diminuir o comprimento da meda e conseqüentemente os trajectos de deposição. Esta inversão de topos fica dispensada se dispuser de um veículo tipo limpa-neve, com ângulo de ataque do parafuso de Arquimedes adequado (3). Uma espécie de ponte sobre pneus com quatro estrados funcionando dois a dois em contrarotação, desenvolvido na Índia (2), permite também uma simples transposição longitudinal da meda.

Para a dimensão considerada e utilizando revolvimento por pá carregadora de rodas com medas trapézoidais de 2 metros de altura e 5 de largura na base, necessitaremos de uma área para compostagem de cerca de 5 000 m². Nesta área existirão três zonas : recepção do lixo pré-tratado, fermentação e peneiração. Nesta última, um sistema de trommel com tapetes transportadores asseguram a separação do composto e eventualmente um triturador de fim para a redução final do mesmo de 70 para 30 mm, ou 10/15 mm.

Zona de Maturação e Armazenagem

É previsível no nosso país que a saída do composto se faça concentrada em dois períodos curtos anuais ou separados de 180 dias.

A necessidade correspondente de uma área de armazenagem torna algo irrelevante o argumento utilizado pelos defensores da utilização de digestores de que o seu sistema reduz a área exigida por diminuir de poucos dias o período de fermentação.

Nestas condições, a necessidade de área para a zona de maturação e armazenagem é de cerca de 11 500 m² se continuarmos a admitir as mesmas dimensões para as medas.

2.3 - ATERRO SANITÁRIO

Tratando-se apenas de apoio à instalação e sua descarga de emergência, apresentaremos sumula mínima de planeamento.

Admitindo um período de operação da instalação de 20 anos com 20% de lixo bruto não compostável (Fig. 3 - Balanço Mássico) nem doutra forma reciclável a dispôr em aterro sanitário, bem como 5% de situações de paragem de instalações em que haverá que dispôr de todo o lixo a aterro, admitindo que este se explora em talude com células de 2,35 metros de altura, frente de pelo menos 6,5 metros, três plataformas com camadas superficiais e laterais de 0,15 m e de fecho final de 0,8 metros (ou seja, relação volumétrica terras de cobertura/lixo de cerca de 0,30) com terras obteníveis no próprio terreno de aterro, e não esquecendo que um aterro sanitário compacta ao longo do tempo, desde cerca de 20% ao fim de um ano até cerca de 30% a partir de cinco anos, podemos considerar que a área necessária para aterro é de cerca de 4 ha.

3 - DIMENSIONAMENTO E PRESSUPOSTOS DA ANÁLISE

3.1 - ÁREAS DE IMPLANTAÇÃO

Pelo que atrás foi exposto resulta que serão necessárias as seguintes áreas:

Área para compostagem	ca.	5 000 m ²
Área para maturação e armazenagem	ca.	11 500 m ²
Área para aterro sanitário	ca.	40 000 m ²

Além destas teremos ainda de considerar áreas para entrada e balsa, casa do guarda com chuveiro e WC, posto de transformação, tanque lava-rodas, serviços administrativos, oficina de reparações e zona para descarga, recolha e pré-tratamento mecânico. A área para o edifício administrativo é de ca. 150 m² e o destinado a descarga, recolha e pré-tratamento mecânico de ca. 800 m².

Acresce ainda a necessidade de áreas para circulação interna (variando com implantação) e espaços verdes.

Desta forma a área total é de ca. 6 ha, mas não será provavelmente aviado arrancar com menos de 7 ha.

3.2 - NECESSIDADES DE ABASTECIMENTOS E CONSUMOS

São significativos os consumos de exploração e manutenção numa instalação deste tipo. (ca. 12 000 contos/ano)

Para Portugal, nas condições actuais, estima-se a seguinte estrutura de custos :

1/3 para consumos águas, electricidade, gasóleo, lubrificantes, gastos administrativos e outros.

1/3 para peças de desgaste rápido - martelos dos moinhos, bandas transportadoras, pneus, etc.

1/3 para manutenção de edifícios e equipamentos - motores, motores-redutores, gruas, etc.

Como instalações de abastecimentos deverão as respectivas linhas ser dimensionadas da seguinte forma :

Energia Eléctrica : Posto de transformação de ca. 400 KVA com uma potência instalada de 210KW

Água : Linha de abastecimento ou captação para consumo de ca. 10 000 m³/ano.

3.3 - EQUIPAMENTO MÓVEL

A actividade de remoção do lixo para e da área de compostagem, revolvimento das medas, armazenagem e venda de composto, tornam necessária a existência de equipamento móvel numa estação de tratamento.

Como já atrás foi referido conquanto não seja a máquina mais adequada é corrente que o revolvimento seja feito com uma pá carregadora dada a sua versatilidade, pois também será utilizada para transporte e nos trabalhos do aterro.

Para uma estação de tratamento desta capacidade (100 Ton/dia de lixo) 2 pás carregadoras, com balde de 1,3 m³ podem assegurar, funcionando cada uma 9 h/dia, as actividades atrás descritas.

A fim de assegurar o cumprimento das actividades durante os períodos de avaria de qualquer destas máquinas e satisfazer as solicitações pontuais, é conveniente prever uma 3ª máquina como reserva, excepto se existir fácil acesso ao parque de máquinas.

Um camião de 6 Ton de carga útil, um tanque para águas de aspersão e um dumper completam o equipamento móvel indispensável.

3.4 - NECESSIDADES DE PESSOAL

Estima-se um mínimo de 18 pessoas necessárias (3, administrativos, 8 técnicos, 7 indiferenciados) para assegurar o normal funcionamento da instalação, atendendo ao número de operações manuais e mecânicas, à variedade do equipamento e à superfície coberta pelas actividades da central de tratamento.

4 - ANÁLISE ECONÓMICA

A presente análise económica tem por fim a determinação do custo médio da tonelada de composto ao posto da estação de tratamento e não contabilizando o custo da sua recolha.

4.1 - INVESTIMENTOS A REALIZAR

O valor do conjunto de investimentos a realizar é de ca. de 200 contos determinados com base nos preços actualmente em vigor no mercado.

A discriminação sucinta desses investimentos é exposta no Quadro Q.1, sendo os preços indicados para a generalidade dos equipamentos elaborados na base da aquisição destes ao mercado nacional.

De notar que a estrutura de investimentos é de : Construções e infraestruturas - 43%; Equipamentos - 38%; Montagem e arranque - 4%; Encargos bancários - 15%.

4.2 - PLANO DE EXPLORAÇÃO

O Quadro Q.2 resume o plano de exploração de um empreendimento deste tipo.

Os consumos anuais de água, electricidade, combustíveis, lubrificantes, manutenção e outros estimam-se em ca. 12 000 contos.

Os encargos anuais com mão-de-obra (18 funcionários), reflectindo um peso de 20% para funcionamento em horário extra são de 5 500 contos.

Para amortizações podemos considerar um período relativamente curto de vida útil para as Construções e Infraestruturas (20 anos), haja em vista o seu carácter relativamente ligeiro e as condições a que irão estar submetidas. Para os equipamentos e gastos de instalação podemos considerar as taxas de 10% e 5% respectivamente. Estes pressupostos levam-nos a um valor para amortizações de ca. 19 500.

Por fim a rubrica "juros sobre o capital fixo" com o valor de 22 000 contos comporta o cálculo técnico dos juros a pagar pelo capital ainda não amortizado; isto, do ponto de vista da colectividade, uma vez que, quer seja capital próprio quer seja capital emprestado, enquanto estiver aplicado neste empreendimento não pode estar a render noutra aplicação qualquer. Estes juros correspondem ao custo de oportunidade do capital cujo valor médio anual durante o período de vida da instalação foi estimado em 20%; não consideramos, assim, aspectos de índole social.

Em suma, os custos totais por ano do funcionamento da estação de tratamento ascendem a 59 000 contos.

4.3 - PREÇO MÉDIO DA TONELADA DE COMPOSTO

Uma vez que a produção técnica da instalação é de 100 Ton/dia x 300 dias/ano x 0,55 = 16 500 Ton/ano do composto, e que os custos totais de funcionamento ascendem na optica da colectividade ao valor de 59 000 contos, teremos um custo real de produção do composto de ca. 3 580\$00/Ton, não considerando crédito de recicláveis.

Q.1 - INVESTIMENTO A REALIZAR
(em milhares de escudos)

1. Construções e Infraestruturas

- Aquisição terrenos e custos iniciais	2 500	
- Infraestruturas	19 000	
- Edificações	49 000	
- Instalações especiais	8 500	
- Imprevistos	8 000	

SUB-TOTAL 87 000

2. Equipamentos

- Equipamento electromecânico	45 200	
- Material circulante	23 000	
- Imprevistos	6 800	

SUB-TOTAL 75 000

3. Montagem e Arranque

- Montagem estaleiro e custos adm. da obra	4 200	
- Arranque da exploração	3 800	

SUB-TOTAL 8 000

4. Outros gastos de Instalação

- Juros durante a fase de construção (18 meses)	30 000	
---	--------	--

TOTAL 200 000

Q.2 - PLANO DE EXPLORAÇÃO ANUAL
(em milhares de escudos)

ENCARGOS	VALOR	%
1. Consumos anuais	12 000	(20,3%)
2. Mão de obra	5 500	(9,3%)
3. Amortizações	19 500	(33,1%)
4. Juros sobre o capital fixo	22 000	(37,3%)
	59 000	(100,0%)

5 - CONCLUSÕES

1 -A estrutura de custos, empolada sobretudo pelos encargos financeiros, é fortemente capital intensiva.

2 -Tal constatação impõe duas formas de actuação :

2.1 - Obter comparticipação apreciável, a fundo perdido dado o carácter eminentemente social do processo.

Note-se que uma comparticipação de 45%, realista em termos da actual estrutura das obras intermunicipais, passaria o custo de produção da tonelada de composto para 2 300\$00, permitindo comparação com os 2 000\$00 da tonelada de estrume.

2.2 - Reduzir custos de investimento, através de cuidado estudo de circuitos que permita diminuir as áreas pavimentadas e cobertas ou construídas e de simplificação do processamento mecânico.

3 -Tendo em conta o pequeno peso de mão de obra, a operação em dois turnos deste tipo de instalação permitirá tratar 200 toneladas/dia de resíduos apenas com acréscimo de áreas de fermentação, armazenagem e aterro baixando o custo de produção para 1 900\$00 por tonelada de composto.

