

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

***GARFO AERADOR PARA AERAÇÃO EM LEIRAS DE
COMPOSTAGEM***

Franco Caldas Degrazia

Orientador: Prof. Vilson Batista

Coorientador: Darci Campani

Área de concentração: Área de projetos

Resumo

A prática da compostagem tem sido um método eficiente de tratamento de resíduos sólidos domiciliares e de resíduos provenientes de empreendimentos agrícolas. Porém, o tempo de maturação do composto orgânico é elevado, variando conforme o método de compostagem usado. A quantidade de oxigênio é que determina a velocidade de transformação da matéria orgânica em composto (adubo). O presente trabalho projeta um sistema novo para aeração em leiras, usando dois equipamentos mecânicos: compressor e carro transportador de carga, e a criação de um garfo aerador que permite introduzir ar na leira, para substituir o método de revolvimento.

Abstract

Nowadays, the garbage is the biggest problem in our society and the world today has to create new technologies to treat it. The composting is an efficient way, this work has new designed to project a new system to introduce air in mass compost by two mechanical equipments: air compressor and electric car, and the creation of a fork with airflow to accelerate the process of composting.

Palavras-chave: compostagem, aeração forçada, compressor, garfo aerador, composto orgânico.

Índice

1. Introdução	02
2. Compostagem	04
2.1 Classificação da compostagem	04
2.2 Composto	05

2.3 Princípios da compostagem	05
2.3.1 População microbiana	05
2.3.2 Temperatura	06
2.3.3 Umidade	07
2.3.4 Relação C/N	07
2.3.5 Influência do empilhamento no pátio de compostagem.	07
2.3.6 Aeração	07
3. Sistemas de compostagem.....	08
3.1 Sistema de leiras revolvidas	08
3.2 Sistemas de leiras estáticas aeradas	10
3.3 Sistemas de reatores biológicos	10
3.3.1 Reatores de fluxo vertical	11
3.3.2 Reatores de fluxo horizontal	11
3.3.3 Reatores de batelada	11
4. Processo atual realizado pelo DMLU de Porto Alegre	12
4.1 Processo	12
5. Vazão de ar necessária na leira	15
6. Seleção do compressor	16
7. Garfo aerador	17
7.1 Dimensionamento do garfo aerador.....	17
8. Perda de carga na leira.....	19
9. Tempo de operação	19
10 Conexões	20
11. Soldas	20
11.1 Exames não destrutivos da solda	20
11.2 Tratamento térmico de alívio de tensões após soldagem	21
12. Teste de pressão no garfo aerador	21
13. Furação	21
14. Carro transportador	21
15. Mudanças no pátio de compostagem	22
16. Custo do projeto	22
17. Retorno do investimento.....	22
18. Discussão.....	22
19. Conclusão	23
20. Referências bibliográficas	24

1. Introdução

O presente projeto tem como objetivo desenvolver um garfo aerador para aeração em leiras de compostagem, acelerando o processo de formação de composto orgânico para utilização na agricultura. A compostagem é definida como ato ou ação de transformar os resíduos orgânicos, através de processo físicos, químicos e biológicos, em uma matéria biogênica mais estável e resistente à ação das espécies consumidoras. O composto orgânico do lixo, não representa, necessariamente, uma solução para os problemas de escassez de alimentos

ou do saneamento ambiental, mas pode contribuir, significativamente, como um elemento redutor dos danos causados pela disposição desordenada do lixo no meio urbano, além de propiciar a recuperação de solos agrícolas exauridos pela ação de fertilizantes químicos aplicados indevidamente.(LIMA, 1995).

O compressor de ar e o garfo têm o objetivo de tornar o processo de compostagem mais eficiente e veloz, evitando a grande circulação de máquinas pesadas no revolvimento da leira. Assim, não será necessário revolver a leira, substituindo este método pela injeção que introduzirá ar diretamente na leira auxiliado pelo garfo aerador, economizando espaço no pátio e em gastos com transporte de máquinas utilizadas no revolvimento.

O lixo no meio urbano é sem dúvida um dos grandes problemas enfrentados pelas cidades no mundo inteiro, seu destino, sua disposição, sua inesgotabilidade acabam por agredir o meio ambiente, poluindo recursos hídricos, ar e solo. A compostagem do lixo domiciliar tem papel fundamental na utilização da parte orgânica do resíduo domiciliar e na economia de espaços em aterros sanitários. Na cidade de Porto Alegre se recolhe, diariamente, em torno de mil toneladas de lixo domiciliar (DMLU Porto Alegre), e em média do total recolhido de resíduo pelos órgãos públicos, 50% é constituído de matéria orgânica e a outra parcela é dividida em recicláveis e não recicláveis. A unidade de triagem e compostagem do departamento municipal de limpeza urbana de Porto Alegre, ver figura abaixo,



Figura 1: Esteira de catação.

recebe em sua esteira de separação de lixo, em torno de 60 toneladas diárias de lixo, das quais 58% é constituído de matéria orgânica. A matéria orgânica depois de triada na esteira é disposta no pátio de compostagem em forma de leiras e após 90 dias está pronto para o uso como composto orgânico. O garfo aerador para aeração forçada tem a finalidade de diminuir o tempo de digestão da matéria orgânica, aumentando a produção de composto e possibilitando aumento da quantidade de lixo separado, garantindo um menor volume de resíduos sólidos destinado aos aterros sanitários e um acréscimo de salário para os funcionários da associação que trabalham nesta unidade de triagem.

2. Compostagem

A compostagem é um método controlado de decomposição biológica de matérias orgânicas, desenvolvido pela ação de uma população mista de microorganismos, que transformam os resíduos orgânicos em um produto estável e com características completamente diferentes do material que lhe deu origem (FORTES NETO, 1992). Ou ainda é um processo biológico de tratamento de resíduos.

2.1 Classificação da compostagem

Segundo Lima (1995), a compostagem tem várias classificações e estas classificações estão descritas na tabela abaixo.

Tabela 1: Classificação da compostagem

CLASSIFICAÇÃO DA COMPOSTAGEM	Quanto à biologia	Aeróbio Anaeróbio Misto
	Quanto à temperatura	Criofilico Mesofilico Termofilico
	Quanto ao ambiente	Aberto Fechado
	Quanto ao processamento	Estático/Natural Dinâmico/Acelerado

FONTE: LIMA (1995)

Processo aeróbio: a fermentação ocorre com a presença de ar, temperatura da massa em decomposição é elevada, há desprendimento de CO₂ e água.

Processo anaeróbico: fermentação sem a presença de ar. Há desprendimento de gases CH₄ e H₂S e outros.

Processo misto: resulta na combinação dos dois processos descritos anteriormente.

Processo criofílico: matéria orgânica é digerida a uma temperatura próxima ou inferior à do ambiente.

Processo mesofílico: temperaturas variando de 40 a 55°C (FORTES NETO, 1992). Nesta fase observa-se que a temperatura varia em função da população de microorganismos; quanto maior o número populacional, mais elevada a temperatura.

Processo termofílico: a fermentação se processa em temperaturas superiores a 55°C (FORTES NETO, 1992) a temperatura deste processo pode chegar a 70°C, este estágio termofílico é preferido no processo de compostagem, pois permite a redução de formas vegetativas patogênicas.

Processos abertos: são aqueles em que a compostagem é realizada a céu aberto.

Processos fechados: são aqueles em que a compostagem é feita através de digestores, bioestabilizadores, torres e células de fermentação.

Processos estáticos: são aqueles em que o revolvimento da massa em fermentação é feita esporadicamente.

Processos dinâmicos: são aqueles em que a massa é revolvida continuamente, favorecendo a aeração, a atividade e o controle biológico.

Segundo Fortes Neto (1992), basicamente o processo pode ser dividido em três fases:

- 1) uma fase inicial de 1-2 dias, durante a qual lentamente os compostos solúveis (açúcares) são decompostos;
- 2) uma fase termófila, onde são degradados principalmente celulose e lipídios;
- 3) estabilização, um período durante o qual ocorre um declínio da temperatura, diminuição da taxa de decomposição e a recolonização do composto por outros microorganismos.

O período entre a decomposição e a estabilização do composto é de aproximadamente 120 dias. Porém este período é influenciado pelos seguintes fatores: presença de microorganismos, temperatura, umidade, relação carbono/nitrogênio e aeração (KIEHL, 1985). No DMLU de Porto Alegre o tempo médio é de 90 dias.

2.2 Composto

Composto é o produto final estabilizado, resultante da fermentação da fração orgânica do lixo urbano, livre das parcelas de inertes e em condições sanitárias favoráveis à aplicação no solo como fertilizante orgânico ou composto (KIEHL, 1985).

2.3 Princípios da compostagem

2.3.1 População microbiana

A conversão do resíduo orgânico em composto é um processo realizado, principalmente, por bactérias, fungos e actinomicetos.

Segundo Fortes Neto(1992), na decomposição de resíduos orgânicos, na fase mesófila, predominam bactérias e fungos mesófilos. Com a elevação da temperatura, na fase termófila, a população dominante será de actinomicetos, bactérias e fungos termófilos. Passada a fase termófila, retoma a fase mesófila com uma composição química diferente, pois os açúcares e amido já foram degradados. Fungos e bactérias termófilas realizam o seu principal papel decompondo açúcares, amido, proteínas e outros compostos orgânicos de fácil digestão. São muitas bactérias, fungos e actinomicetos que atacam a celulose, no final da compostagem, quando a temperatura começa a declinar (FORTES NETO, 1992).

2.3.2 Temperatura

Segundo Fortes Neto (1992), freqüentemente a temperatura tem sido utilizada na compostagem, como um parâmetro de monitoração, para avaliar a eficiência e o grau de estabilização do processo. Isto porque a temperatura é o resultado da ação do metabolismo exotérmico dos microorganismos, que liberam calor, proporcionando assim o rápido aquecimento da leira, podendo atingir temperaturas superiores a 60°C. A liberação e o acúmulo de calor, para proporcionar o aquecimento da pilha de compostagem, estão relacionados com os seguintes fatores: população microbiana, aeração, umidade, relação carbono/nitrogênio, tipo, quantidade e granulometria do resíduo (FORTES NETO, 1992).Segundo Lima (1995), apesar das divergências verificadas na literatura específica sobre a faixa de temperatura ótima para se processar a compostagem, pode-se estabelecer com segurança que esta é realizada entre 23 e 70°C. temperaturas inferiores a 37°C tornam o processo mais lento e não eliminam as sementes de ervas daninhas e microorganismos patogênicos presentes na massa. Temperaturas acima de 60°C podem inibir o processo ou cessá-lo rapidamente. Como a compostagem é um complexo de reações que requer a presença de enzimas, ela é limitada pela temperatura. As enzimas são suscetíveis à

inativação térmica, pois quanto mais alta a temperatura, mais rapidamente as enzimas perdem suas propriedades catalíticas segundo afirma (FORTES NETO, 1992).

2.3.3 Umidade

Segundo Lima (1995), os processos bioquímicos de decomposição exigem água. Assim, na compostagem, é mantida uma faixa de umidade que varia de 40% a 60% em peso seco da matéria orgânica decomponível. Teores de umidade abaixo de 40% retardam o processo por inibir a atividade biológica. Umidade acima de 60% torna o meio anaeróbico, por baixar o potencial de oxidação-redução, reduzindo a eficiência do processo. Quanto maior a quantidade de água presente, maior a produção de chorume e de líquidos. O composto com excesso de água perde seu valor comercial por encarecer o transporte, além de exigir secagem, além disso, quando armazenado, ele produz gases de odor desagradável e atrai moscas e mosquitos.

2.3.4 Relação C/N

Segundo Lima (1995), a relação carbono/nitrogênio serve como indicador de fases. Assim, no início da compostagem, a relação C/N deve ser da ordem de 30:1 e no final do processo, ou seja, na completa maturação, de 10:1. Na compostagem o carbono representa o material energético necessário para a ativação do processo da síntese celular e o nitrogênio, o material básico para a constituição da matéria celular sintética. Se o quociente C/N é grande, os microorganismos do composto aplicado no solo, entrarão em competição com as plantas, resultando em fenômenos depressivos na vegetação.

2.3.5 Influência do empilhamento no pátio de compostagem

A forma pela qual o composto é disposto nos pátios tem influência na qualidade final do produto e no tempo para atingir a humificação. A prática recomenda que as leiras tenham de 3 a 4 metros de largura, 1,5 a 2 metros de altura e comprimento indeterminado.

2.3.6 Aeração

A aeração proporciona o suprimento de oxigênio para favorecer a atividade microbiana no trabalho de decomposição de matéria orgânica existente no resíduo (KIEHL,1985). Modernamente os sistemas de compostagem são aeróbios por diversas razões: 1) a decomposição dos resíduos orgânicos é mais rápida; 2) eliminação de organismos patogênicos devido ao aumento de temperatura; 3) evita a produção de mau cheiro; 4) remove a umidade da leira; 5) controla a temperatura do processo (FORTES NETO,

1992).A quantidade de oxigênio necessário para uma correta decomposição varia grandemente com os tamanhos das partículas, temperatura e umidade (FORTES NETO, 1992).Sob condições controladas a taxa máxima de decomposição é encontrada em níveis de 5 a 12% de oxigênio. Segundo LIMA (1995), na digestão aeróbia em sistemas fechados, a vazão mínima de ar necessária varia de 0,30 a 0,60 m³ por dia.

O consumo de oxigênio é elevado no início do processo de compostagem, depois, com o passar do tempo, vai diminuindo indicando o grau de estabilização e o ponto de cura do composto (FORTES NETO, 1992).

A aeração do composto é função do tamanho das leiras em altura e largura. Como a troca gasosa é mais eficiente na periferia da leira, o interior desta apresenta atividade menor, predominando atividade anaeróbia. Para se obter um composto estável é sempre aconselhável garantir a digestão aeróbia através do revolvimento da massa em fermentação ou por insuflação/sucção de ar no interior das leiras, via compressores (KIEHL, 1985).

3. Sistemas de compostagem

A compostagem, atualmente, é realizada, basicamente, de três formas distintas, desde sistemas de baixa complexidade até sistemas bem complexos. Os processos de compostagem são os seguintes: sistemas de leiras revolvidas (windrow), sistemas de leiras estáticas aeradas (static pile) e sistemas de reatores biológicos (In-vessel).

3.1 Sistema de leiras revolvidas

Dentre todos os métodos de compostagem, este é o mais simples. A aeração é feita pela difusão e convecção do ar na massa do composto. No momento do revolvimento o oxigênio entra em contato com o composto suprimindo a necessidade de aeração do processo biológico. O revolvimento pode ser realizado por intermédio de uma simples enxada, para leiras pequenas de compostagem domiciliar, ou até por equipamentos específicos desenvolvidos para esta finalidade. Abaixo se encontram dois tipos de máquinas específicas para aeração via revolvimento, a primeira é um implemento tracionado por tratores agrícolas e a segunda é um equipamento autopropelido que deixam as leiras com dimensões padronizadas.



Fig.2 Implemento tracionado por trator agrícola.

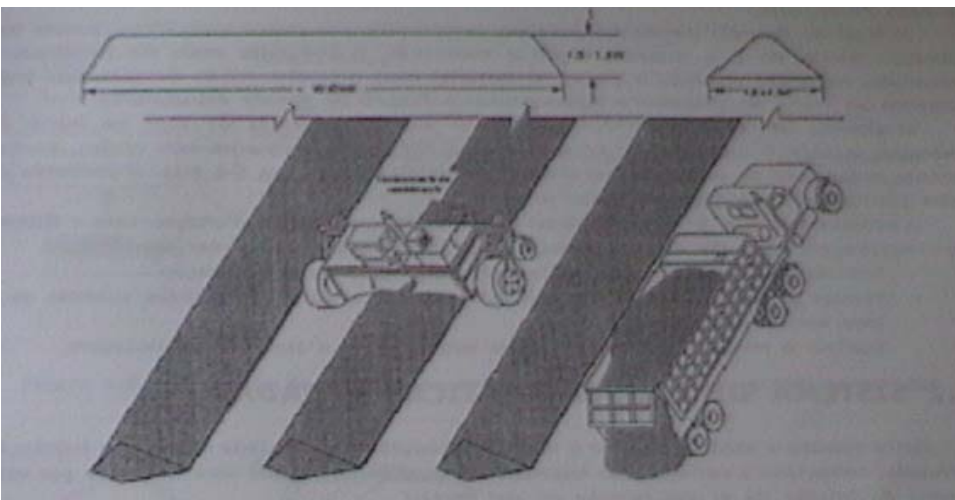


Fig.3 Equipamento autopropelido.

Também podem ser usadas pás carregadeiras para revolver e é, atualmente, o método usado pelo DMLU de Porto Alegre.

As leiras devem ser revolvidas no mínimo três vezes por semana sendo que esta operação tem vários objetivos:

- Aerar a massa de resíduos em compostagem.
- Aumentar a porosidade do meio, que sofre uma compactação natural devido ao peso próprio.
- Homogeneizar a mistura.
- Expor as camadas externas às temperaturas mais elevadas do interior da leira, melhorando a eficiência da desinfecção.
- Diminuir o teor de umidade do composto.

3.2 Sistemas de leiras estáticas aeradas

Neste sistema os resíduos são colocados sobre uma tubulação perfurada, conectada a um soprador industrial. A aeração necessária será fornecida por este sistema de injeção de ar sob pressão ou por sucção. Neste sistema a massa de resíduos permanece sobre a tubulação até a maturação final do composto, sendo retirado para comercialização. Nos Estados Unidos onde este sistema é bastante utilizado, os sopradores mais empregados tem potência de 1 a 5 HP, de acordo com as características e volume dos resíduos, sendo ligados e desligados de maneira intermitente. Estes sopradores trabalham a pressões internas de 600 a 1000 mm de coluna d'água.

A aeração tem o objetivo de:

- Satisfazer as demandas de oxigênio do processo.
- Remover o excesso de umidade.
- Remover o excesso de calor para manter a temperatura em torno de 60°C.

Abaixo pode ser visto uma figura ilustrativa do sistema de aeração estática.

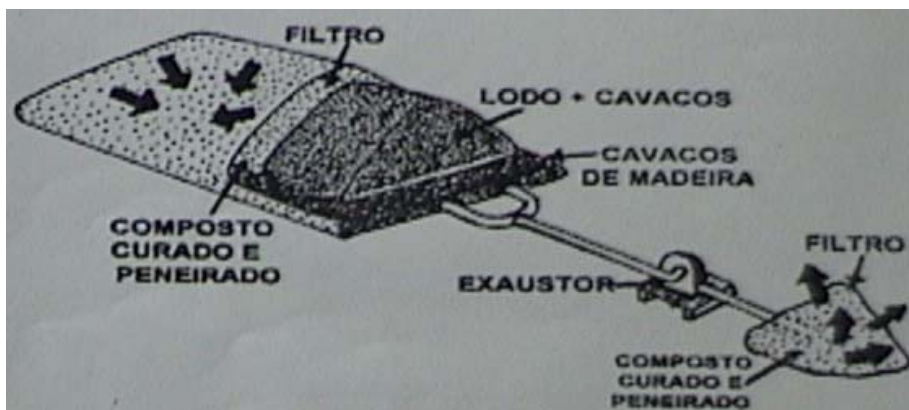


Figura 4: Aeração estática.

Quanto ao sentido da aeração, injeção ou aspiração, segundo (PROSAB, 1999), vários autores defendem o ponto de vista de que a aspiração diminui os caminhos preferenciais de passagem do ar na massa do resíduo, diminuindo as microzonas de anaerobiose. A sucção do ar também tem a vantagem de permitir melhor controle de odores, pois o ar que percorre a massa de resíduo é captado pelas tubulações e pode passar posteriormente por um sistema de tratamento de odores.

3.3 Sistemas de reatores biológicos

A compostagem em reatores biológicos oferece a possibilidade de maior controle sobre todos os parâmetros importantes para processo de compostagem. Devido à homogeneidade,

de todos os fatores, inclusive a temperatura, a compostagem em reatores é mais eficiente no controle dos patogênicos. Outra característica deste sistema é a maior facilidade de controle de odores, pois o sistema é fechado e a aeração é controlada.

De acordo com as características dos resíduos e do tipo de equipamento, o tempo de retenção no reator biológico pode variar de 7 a 20 dias, o que faz com que o sistema demande menor espaço para sua implantação.

No reator é mais fácil monitorar a taxa de aeração e adequá-la as necessidades do processo, pois se pode medir o teor de oxigênio dos gases de saída do reator e quando a porcentagem de oxigênio estiver próxima a 2%, aumenta-se a vazão para não permitir anaerobiose na massa do composto (PROSAB, 1999).

Um reator piloto foi desenvolvido na Universidade Federal de Londrina, dotado de mecanismo de retroalimentação, que em função do teor de oxigênio dos gases de escape, realiza automaticamente a variação de vazão de ar para a compostagem (PROSAB, 1999).

Porém, a massa de composto, após a fase termófila, ainda deve ser depositada em local apropriado para maturação por 60 dias, tornando o processo tão demorado como os anteriores. A compostagem via reatores biológicos é a que apresenta o maior custo inicial e de manutenção de seus equipamentos mecânicos.

3.3.1 Reatores de fluxo vertical

Assemelha-se a silos verticais, onde os resíduos são depositados pela parte superior e percorrem o reator no sentido descendente. O ar é introduzido em vários níveis do reator ou somente no final. O reator é dimensionado em função do tempo da fase termófila, para que composto chegue no final do reator no final da fase termófila.

3.3.2 Reatores de fluxo horizontal

São dispostos horizontalmente, em forma cilíndrica, também conhecidos como túneis. Os resíduos são introduzidos por um lado e saem pelo outro ao final da fase termófila. O ar é introduzido no decorrer do túnel.

3.3.3 Reatores de batelada

No reator de batelada, o composto fica retido no mesmo local, diferindo dos dois reatores anteriores. Os resíduos são agitados por um sistema mecânico, que pode ser por rotação lenta em torno de seu próprio eixo, ou por um misturador interno. A agitação é necessária para evitar caminhos preferenciais da passagem do ar.

4. Processo atual realizado pelo DMLU de Porto Alegre

Atualmente a unidade de triagem e compostagem do DMLU de Porto Alegre, tria em sua esteira em torno de 60 toneladas diárias de lixo domiciliar que é constituído em geral de sobras de alimentos, papéis, papelões, plásticos e vidros, deste total, aproximadamente, 58% é de matéria orgânica e a outra parcela é dividida em produtos recicláveis e rejeito. Os recicláveis são vendidos para fábricas, enquanto o rejeito é encaminhado para disposição final em aterros sanitários. A matéria prima do processo de compostagem é matéria orgânica proveniente do lixo domiciliar que depois de passar pela esteira e disposta no pátio de compostagem, ver figura abaixo,



Figura 2: Vista geral do pátio de compostagem.

em forma de leiras (pilhas), por aproximadamente 90 dias até se obter o composto pronto. O pátio de compostagem é constituído de camadas impermeáveis de argila, para evitar a contaminação do solo e de saibro, para possibilitar a circulação de máquinas utilizadas no revolvimento e deposição da matéria orgânica.

4.1 Processo

- a) Deposição da matéria orgânica no pátio de compostagem

A deposição é feita por trator com caçamba ver figura a seguir, logo após a saída da matéria orgânica da esteira.



Figura 3: Trator e caçamba na saída da esteira.

b) Aeração via revolvimento

A aeração na UTC do DMLU de Porto Alegre é feita através do revolvimento das leiras por intermédio de retroscavadeira. As leiras são revolvidas três vezes por semana até a completa maturação do composto.

O revolvimento acaba por ser bastante dispendioso. Segundo dados do DMLU, gasta-se em média, cerca de 5,2 horas/dia, com retroscavadeira para revolver as leiras. Estima-se que o custo de utilização das retroscavadeiras seja de R\$30,00/hora.

Outro problema da aeração via revolvimento, é o estrago que as retroscavadeiras fazem no pátio de compostagem, dificultando a circulação dos tratores que depositam e montam as leiras no pátio. A seguir são mostradas duas figuras que mostram os estragos no pátio.



Figura 4: Estragos na pátio de compostagem.



Figura 5: Estragos no pátio de compostagem.

c) Secagem natural

Segundo PROSAB (1999), o composto não deve ser extremamente seco, pois neste caso haverá eliminação dos microorganismos e insolubilização de alguns nutrientes minerais. Também não é bom que o composto apresente alto teor de umidade, pois isto implica no transporte de grande quantidade de água, o que encarece o produto final para o consumidor. Pela legislação brasileira, o máximo teor de umidade permitido é 40%, o que é um bom valor, conciliando a garantia de suas propriedades biológicas e químicas com compatibilidade dos custos de transportes.

A secagem é feita naturalmente, com o espalhamento do composto em um local determinado para secar ao sol, conforme a figura a seguir mostra:



Figura 6: Local de secagem

d) Peneiramento mecânico

Segundo Kiehl (1998), esta operação tem por finalidade uniformizar a granulometria do composto. Um composto com granulometria entre 6mm e 12mm é muito atrativo aos agricultores.

O peneiramento separa o composto de restos de rejeitos ainda presentes, como restos de plásticos, vidros e pedaços de madeira. Abaixo figura que mostra peneira mecânica da UTC do DMLU.



Figura 7: Peneira mecânica.

PROJETO

5. Vazão de ar necessária na leira

A determinação da quantidade de oxigênio necessário em uma leira é complexa. Visualizada em corte, a leira apresenta variável percentual de oxigênio nos seus espaços vazios, a camada externa que reveste a leira, geralmente, contém de 18 a 20% de oxigênio, quase tanto quanto o ar atmosférico, cujo conteúdo, em média, é em torno de 21% em volume.

Introduzindo-se internamente à leira, o teor de oxigênio vai diminuindo e o de gás carbônico se elevando, assim, a partir de uma profundidade de 60 cm, o teor de oxigênio baixa de 2 até 0,5%, base e no centro da leira. Considera-se que na fase termófila o conteúdo mínimo de oxigênio deve ser de 0,5% para garantir a decomposição aeróbia (KIEHL, 1985).

O consumo de oxigênio é variável durante a compostagem, no início a demanda por oxigênio é mais elevada e no decorrer do processo, vai diminuindo. Devido à variação de utilização do oxigênio pelos microorganismos, passou-se a determinar o total de carbono a ser oxidado, para, então, calcular a partir dele o volume de oxigênio necessário à decomposição. Pode-se, também, colocar na massa da composto uma sonda de oxigênio para ver a quantidade de do gás presente.

Outra forma de verificação do teor de oxigênio é determinar a quantidade de gás carbônico presente na leira e subtrair o valor do teor de oxigênio no ar atmosférico. Por exemplo, uma concentração de 3% de gás carbônico no ar do composto, indica existir 18% de oxigênio nos espaços vazios da leira (KIEHL, 1985).

Os teores de oxigênio recomendados tem sido de 0,3 a 0,6 m³ de ar por quilo de sólido volátil, por dia (Pereira Neto, 1996). Segundo Kiehl, para aeração de leiras de lodo de esgoto, o ideal estabelece-se em torno de 14 m³ por hora por tonelada de composto.

A massa média de uma leira, da unidade de triagem e compostagem é de 16.760 Kg, e a massa específica é de 300 Kg/m³. O garfo aerador apresenta uma superfície de atuação de 1,5 m de largura, seu volume de atuação será o volume do prisma fixados em 1,5 m de comprimento, 3 m de altura e 3 m de largura (medida média das leiras da UTC). O volume calculado é de 11,25 m³, logo a massa de composto deste volume é de 3312 Kg.

Tratando a leira como lodo de esgoto, a vazão necessária é de 46,36 m³/hora. Pelo método de Pereira Neto, o teor recomendável é de 0,3 m³/Kg/dia de oxigênio. Portanto, a vazão é de 41,4 m³/hora. Ambos valores apresentam-se próximos, mas o valor eleito será o de 41,4 m³/hora para a seleção do compressor e dimensionamento do garfo aerador.

6. Seleção do compressor

O compressor adequado para a aeração forçada é da marca Schulz, modelo MSWV 80max/425, com pressão máxima de 1,2 MPa, 910 rpm, 15 KW de potência, trifásico de 220 ou 380V, tanque de 450 litros e massa com motor de 660 Kg. Sua largura é de 675 mm, altura de 1460 mm, comprimento de 1990 mm e vazão de 136 m³ por hora, disponibilizando, 34 m³ por hora para cada braço do garfo aerador. O compressor após ser ligado leva 2 minutos e 45 segundos para encher o reservatório. O compressor é fixado no carro transportador por parafusos presos no tampo de madeira da caçamba deste.

7. Garfo aerador

O garfo aerador é formado por tubulações de aço carbono ASTM A-53, de 1" de diâmetro nominal, conexões como, joelho, cruzeta, tê e tampões. O garfo tem a como função introduzir ar por intermédios de furos de 1,6mm, espaçados por 2mm, ao longo do comprimento de seus quatro braços. O garfo aerador é conectado na saída da válvula do compressor e a injeção de ar é feita através da abertura da válvula. Há a presença de um suporte de madeira na forma de um prisma retangular, fixado na chapa de madeira da caçamba , onde o garfo aerador é apoiado. A seguir é mostrado uma figura ilustrativa do garfo aerador.

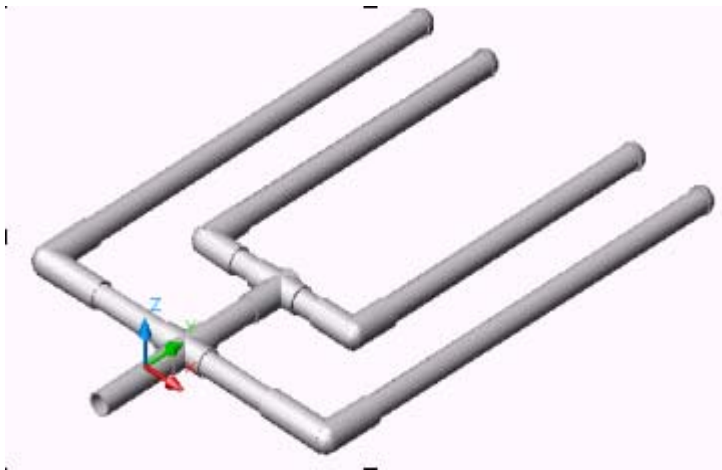


Figura 8: Garfo aerador

7.1 Dimensionamento do garfo aerador

Segundo Teles (1989), o cálculo do diâmetro para tubulações de pequeno comprimento, é feito em função da velocidade, principalmente quando em ocorrência de acidentes no percurso da tubulação, causadores de perdas secundárias. Como a perda de carga total depende, basicamente, do comprimento. Pode-se admitir, para tubulações curtas, que não seja o fator preponderante. Nesses casos, o dimensionamento em se tratando de perda de carga, resultaria em um diâmetro muito pequeno e uma velocidade muita elevada, não desejada para o projeto.

Com o auxílio da equação abaixo,

$$V = 4.Q/\pi.d^2 \quad (1)$$

onde

V velocidade do escoamento

Q vazão

d diâmetro interno

Determina-se o diâmetro, não esquecendo que a velocidade deve ficar de 15 a 20 m/s, valores de velocidades econômicas para ar comprimido (Telles, 1989). Havendo velocidades elevadas, podem causar erosão e abrasão dos tubos, ruídos e vibrações. Por outro lado, as velocidades muito baixas, também devem ser evitadas, porque podem causar depósitos de materiais sólidos na tubulação.

Como a vazão em cada ramificação é de 20 pés³/min., o diâmetro interno apropriado é de 28 mm. O tubo adequado é o aço carbono ASTM A-53, com diâmetro nominal de 33,40 mm, série 40, e com diâmetro interno de 26,7 mm. Com o auxílio da equação (1), verifica-se que a velocidade do escoamento é de 18,85 m/s, perfeitamente aceita entre os valores de velocidades econômicas para ar comprimido.

Para constatar se a espessura da parede está apropriada para a pressão de trabalho no garfo aerador, usa-se o cálculo da mesma de acordo com a norma ANSI.B.31, com o auxílio da seguinte fórmula:

$$t = (P.d/2 (sh.E + P.y - P)) + c \quad (2)$$

onde

t espessura mínima de tubos sujeitos a pressão interna.

P pressão interna de projeto.

d diâmetro interno.

sh tensão admissível do material na temperatura do projeto.

E eficiência da solda, E= 1 para tubos sem costura

y coeficiente de acordo com o material e a temperatura do tubo para aço carbono na temperatura de 485°C, y = 0,4

c soma da sobresspessura para corrosão.

Obteve-se uma espessura de um 1,58 mm para a pressão de trabalho de 1,2 MPa. O garfo aerador está bem dimensionado por apresentar espessura de parede de 3,35 mm.

8. Perda de carga na leira

Como os sopradores industriais utilizados na aeração estática trabalham com uma pressão interna de trabalho de 5880 Pa a 9800 Pa, o compressor que tem pressão de trabalho de 1,2 MPa não terá problema para dispor pressão suficiente para aerar a leira. Fica portanto, desnecessário o cálculo da perda de carga que a leira impõe sobre o garfo aerador.

9. Tempo de operação

No processo de aeração deve-se ter o cuidado da relação ar X umidade, para se obter o processo com êxito. Segundo Kiehl, a água é imprescindível na compostagem, para as necessidades fisiológicas dos organismos, cujos não vivem na ausência de umidade. Estima-se um teor ótimo de umidade em torno de 50%, sendo os limites máximos e mínimos, igual a 60 e 40%. Saturando-se uma massa orgânica, todos os espaços vazios serão tomados pela água, não restando lugar para o ar. Inversamente, insuflando, a massa se desidrata, sendo os espaços vazios tomados pelo ar.

Em processos de compostagem de leiras estáticas aeradas, os sopradores têm um ciclo típico de funcionamento, de 2,5 minutos ligado e a cada 25 minutos desligado (Pereira Neto, 1996).

O projeto do garfo aerador/compressor tem a finalidade de substituir o processo de revolvimento. Neste processo são realizados três revolvimentos semanais, via retroescavadeira. No projeto do compressor via garfo aerador serão realizadas cinco injeções de ar por semana, para acelerar o processo de compostagem.

Como tempo de injeção de ar vai depender do comprimento da leira, deve-se padronizar as dimensões destas em 7,5 m de comprimento, 3 m de altura e 3 m de largura, para permitir 6 minutos de injeção de ar ao longo do comprimento, intercalando com 4 minutos de parada para encher o reservatório do compressor. O compressor deve trabalhar toda a fase termófila (bioestabilização), que é a fase de maior demanda de oxigênio.

Serão feitas cinco injeções de ar na leira em uma hora de funcionamento, totalmente de acordo com a especificação do fabricante do compressor que estabelece que não se deve exceder a seis partidas por hora.

Como a temperatura da leira indica mais sobre o processo que qualquer outro parâmetro, quando forem registradas temperaturas em torno de 40 °C, a leira deverá ser desmontada e posta para maturação (Pereira Neto, 1996).

10. Conexões

As conexões do garfo aerador são para solda de encaixe, com o mesmo material dos tubos (aço ASTM A-53). As conexões para a solda de encaixe são as peças empregadas, na prática industrial corrente, na maioria das tubulações de pequeno diâmetro, até 1 ½” (Silva Telles, 1996).

11. Soldas

Antes de soldar deve-se limpar completamente o material, removendo ferrugem e carepas. Essa limpeza deve ser feita em uma faixa de pelo menos 13 mm de largura a partir da solda para metais ferrosos.

Conforme a norma ANSI/ASME B.31 é mostrada a seguir as exigências dimensionais da solda de encaixe empregadas no garfo aerador, conforme figura abaixo:

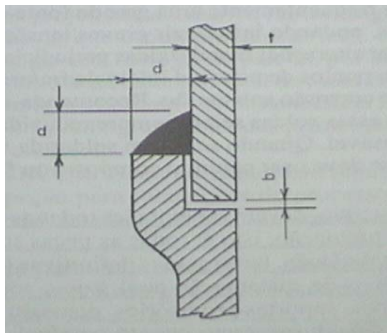


Figura 9: solda de encaixe

d 1,25t, mas não menos de 3,2mm (MÍNIMO)

b 1,6mm (ANTES DA SOLDAGEM)

t espessura calculada para a pressão

O valor de d apropriado é de 4,2 mm e b = 1,6 mm, antes da soldagem.

O eletrodo revestido utilizado para a solda é AWS E7018, de 2,5 mm de espessura.

11.1 Exames não destrutivos da solda

Segundo Telles, todas as soldas de tubulação devem ser submetidas a exames não destrutivos para a pesquisa de possíveis defeitos. A inspeção visual é sempre exigida e deve ser feita obrigatoriamente em todas as soldas. Se for necessário, em locais de prováveis defeitos internos, detectados pela inspeção visual. Deve-se realizar exames adicionais com radiografia, ultra-som ou outros processos.

11.2 Tratamento térmico de alívio de tensões após soldagem

Segundo a norma ANSI/ASME B.31.3. para qualquer aço carbono, a temperatura de tratamento é de 595 a 650°C, com duração do tratamento de 1,68 horas.

12. Teste de pressão no garfo aerador

Depois de montado o sistema de tubulações, deve ser feito, obrigatoriamente, um teste de pressão para verificação de possíveis vazamentos (Telles, 1996). Como o teste de ar comprimido é desaconselhado por ser bastante perigoso, aplica-se o teste hidrostático para tubulações cuja temperatura de projeto for inferior a 340°C, e a pressão de teste será de acordo com a norma ANSI/ASME B.31.3:

$$P_t = 1,5.P \quad (3)$$

onde

P_t pressão de teste

P pressão de trabalho.

Logo, a pressão de teste é de 1,8 MPa.

13. Furação

Para fazer os furos nos braços do garfo aerador que introduzirá ar na leira, será utilizado um broca do tipo ‘ N ‘, de diâmetro de 1,6 mm. O teste hidrostático deve ser realizado antes do processo de furação. Serão feitos quatro furos ao longo do diâmetro, e espaçamento de 2cm ao longo comprimento do braço do garfo.

14. Carro transportador

O carro selecionado para transportar o compressor e o garfo aerador, e o Eletro 900TB, do grupo Jacto. Este é movido a eletricidade, com sistema elétrico de 36V, motor elétrico de 3hp a 2800 rpm, velocidade máxima de 22 Km/h, comprimento total de 3,20m, largura total de 1,20m, capacidade de tração de 1400 Kg, com tração traseira diferencial Dana Spicer, freios a tambor, com sistema hidráulico atuando nas quatro rodas, suspensão de feixes de molas e amortecedores telescópicos, carroceria laminada em fibra de vidro, compartimento de carga com tampo em madeira e grades de proteção articuladas, baterias Trojan tipo tracionárias, 6x6V (36V), usado para transporte de carga, com capacidade máxima de carga de 900 Kg. Tem autonomia de 8 horas, se trabalhar no plano. Consome, aproximadamente, 1 KW por carga de trabalho, devendo ficar 8 horas carregando suas baterias.

15. Mudanças no pátio de compostagem

Para uma melhor circulação do carro elétrico, é necessário pavimentar os vãos entre as leiras. Os vãos devem variar de 4 a 5 metros para permitir a melhor movimentação do carro com o garfo aerador. Também deve-se disponibilizar instalação elétrica trifásica de 220 V e fiação para acionamento do compressor.

16. Custo do projeto

A seguir está uma estimativa de custo total do projeto:

Tabela 2: Custo do projeto.

Componente	Preço unitário	Quantidade	Preço total
Eletro 900 TB	26710,00	1	26710,00
Frete eletro 900 TB	980,00	1	980,00
Capota completa do eletro	922,00	1	922,00
Parabrisa em vidro	197,00	1	197,00
Compressor	8675,00	1	8675,00
8,92 m de tubo aço carbono ASTM-A53	39,58/6m	1	58,84
Tê SW	36,00	1	36,00
Joelho 90° SW	4,28	4	17,12
Cruzeta SW	74,00	1	74,00
Tampão	3,00	4	12,00
Eletrodo AWS 7018	5,90/Kg	1Kg	5,90
Total			R\$37613,00

Tab.2 custo do projeto.

17. Retorno do investimento

O retorno do investimento nos equipamentos mecânicos, desconsiderando o custo necessário para modificar o pátio de compostagem, é de em 10 meses.

18. Discussão

A compostagem é um excelente meio de tratamento do lixo domiciliar, pois permite inclusão social através da remuneração das pessoas que selecionam o lixo domiciliar, produz composto orgânico de boa qualidade e consegue-se obter economia de espaços em

aterros sanitários. Segundo Reichert e dos Reis (1998), o custo de operação e implantação do aterro sanitário da extrema é de U\$ 9,74/tonelada. Somente com as 1200 toneladas de lixo domiciliar e comercial que a região metropolitana de Porto Alegre produz diariamente, o custo fica em torno de U\$ 11688 por dia. A prática da compostagem é um modo eficiente de tratamento do lixo e uma maneira segura de diminuir o custo dos aterros sanitários. A Unidade de Triagem e Compostagem, tria em torno de 50 a 60 toneladas diárias de lixo domiciliar, deixando de dispor em aterro de 25 a 30 toneladas por dia de matéria orgânica, permitindo uma economia de U\$ 350 por dia aos cofres públicos. Logo, deve-se difundir esta prática de tratamento de resíduos sólidos, e criar projetos que auxiliem o processo, como o compressor/garfo aerador que tem a finalidade de tornar ainda mais eficiente a compostagem.

A injeção de ar via compressor/garfo aerador tem a intenção de substituir o processo de compostagem por revolvimento, por este ter um custo bastante elevado, em torno de R\$ 30,0/hora de serviço. Com o compressor e o garfo aerador, o custo cai para R\$ 4,96/hora, seis vezes menor que o processo atualmente utilizado. Também, pretende-se economizar espaços no pátio de compostagem, facilitar acesso dos tratores para deposição da matéria orgânica selecionada e retirada do composto. Além disso, este novo método não consome combustível fóssil, pois o compressor e o carro elétrico são movidos à eletricidade.

Nos sistema de leiras estáticas aeradas há a formação de caminhos preferenciais para a passagem de ar. No sistema de aeração via garfo aerador isto não acontece, pois o ponto de introdução do garfo nunca é o mesmo, não apresentando, portanto, as microzonas de anaerobiose existentes no sistema de leiras estáticas aeradas.

19. Conclusão

Segundo o DMLU de Porto Alegre, o custo de triagem e compostagem fica em torno de R\$70,00 a tonelada de composto. Com a utilização do compressor e o garfo aerador este custo deve baixar sensivelmente, tornando o composto mais competitivo e estimulando a produção de mais composto através da compostagem via garfo aerador.

O garfo aerador tem um custo de implantação bem menor que os três métodos até agora utilizados e, possivelmente, o de menor custo de operação.

Posteriormente, deve-se realizar estudo para testar a eficácia do método, analisando os seguintes fatores: tempo de compostagem, qualidade do composto e se a porcentagem de oxigênio está entre 10 e 17%, durante a fase de bioestabilização.

20. Referências bibliográficas

- 1- PROSAB, **Manual prático para a compostagem de bio sólidos**, ABES, Rio de Janeiro, 1999.
- 2- FORTES NETO, PAULO, **Compostagem natural do lixo domiciliar urbano através de leiras estáticas e revolvidas**, Faculdade de Agronomia UFRGS, Dissertação de Mestrado, 1992.
- 3- KIEHL, EDMAR JOSÉ, **Fertilizantes Orgânicos**, Editora Agronômica Ceres Ltda., São Paulo, 1985
- 4- LIMA, LUIZ MÁRIO QUEIROZ, **Lixo Tratamento e Biorremediação**, Hemus, São Paulo, 1995, 3ª ed.
- 5- PEREIRA NETO, JOÃO TINOCO, **Tratamento e destinação de resíduos provenientes de empreendimentos agrícolas**, Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior, Brasília, 1996.
- 6- ANTÔNIO REICHERT , GERALDO; FERREIRA DOS SANTOS, JOSÉ GERALDO CARLOS, **Custos de implantação e de operação de aterro sanitário – Estudo de caso: Aterro sanitário da extrema, Porto Alegre, RS**, II simpósio Internacional de Qualidade Ambiental – Gerenciamento de Resíduos e Certificação Ambiental, 1998.
- 7- SILVA TELLES, PEDRO C., **Tubulações industriais, Materiais, Projeto, Montagem**, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 9ª edição, 1996.
- 8- SILVA TELLES, PEDRO C., **Tubulações industriais, Calculo**, , Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 7ª edição, 1989.