

Manual de dimensionamento e manejo de unidades de compostagem de animais mortos para granjas de suínos e aves



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Suínos e Aves
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

DOCUMENTOS 203

Manual de dimensionamento e manejo de unidades de compostagem de animais mortos para granjas de suínos e aves

*Rodrigo da Silveira Nicoloso
Evandro Carlos Barros*

Embrapa Suínos e Aves
Concórdia, SC
2019

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Suínos e Aves
Rodovia BR 153 - KM 110
Caixa Postal 321
89.715-899, Concórdia, SC
Fone: (49) 3441 0400
Fax: (49) 3441 0497
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Suínos e Aves

Presidente
Marcelo Miele

Secretária-Executiva
Tânia Maria Biavatti Celant

Membros
Airton Kunz, Ana Paula Almeida Bastos, Gilberto Silber Schmidt, Gustavo Julio Mello Monteiro de Lima, Monalisa Leal Pereira

Supervisão editorial
Tânia Maria Biavatti Celant

Revisão técnica
Martha Mayumi Higarashi e Paulo Giovanni de Abreu

Revisão de texto
Lucas Scherer Cardoso

Normalização bibliográfica
Claudia Antunes Arrieche

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Vivian Fracasso

Fotos da capa
Monalisa Leal Pereira

1ª edição
Versão eletrônica (2019)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Suínos e Aves

Nicoloso, Rodrigo da Silveira

Manual de dimensionamento e manejo de unidades de compostagem de animais mortos para granjas de suínos e aves / Rodrigo da Silveira Nicoloso e Evandro Carlos Barros. - Concórdia : Embrapa Suínos e Aves, 2019.

77 p.; 21 cm. (Documentos / Embrapa Suínos e Aves, ISSN 01016245; 203).

1. Sistema de produção. 2. Suíno. 3. Ave. 4. Carcaça. 5. Tratamento de dejetos orgânicos. 6. Compostagem. 7. Fertilizante. 8. Boas práticas. 9. Sustentabilidade. I. Título. II. Série. III. Barros, Evandro Carlos.

CDD. 636.40838

Autores

Rodrigo da Silveira Nicoloso

Engenheiro agrônomo, D.Sc. em Engenharia Agrícola, pesquisador da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC

Evandro Carlos Barros

Engenheiro agrônomo, M.Sc. em Fisiologia Vegetal, analista da Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, SC

Apresentação

O Brasil é o maior exportador mundial de carne de frango e o quarto maior produtor e exportador de carne suína, o que nos orgulha e ao mesmo tempo nos desafia, não só a melhorar ainda mais os indicadores de desempenho, mas zelar pela qualidade e pela sustentabilidade econômica e ambiental de toda a cadeia produtiva.

Nesse contexto um dos fatores que geram muitas preocupações está ligado ao adequado descarte de carcaças de aves e suínos que morrem ao longo do seu ciclo produtivo, seja por morte natural ou catastrófica.

Embrapa Suínos e Aves tem atuado na avaliação de algumas práticas e tecnologias apontadas como rotas tecnológicas, como a compostagem acelerada, a biodigestão anaeróbia, a desidratação, a incineração e a reciclagem industrial de carcaças para a produção de farinhas, gorduras, fertilizantes e outros coprodutos de valor agregado.

A compostagem tradicional ainda é um meio de descarte muito utilizado em função de seu baixo custo de implantação e de sua reconhecida eficiência, mas que se não realizado de modo adequado pode gerar problemas ambientais, além do aumento dos riscos de contaminação dos rebanhos por doenças contagiosas.

Contudo, com base em atividades de campo, tem sido observado que produtores tem enfrentado dificuldades com esta prática. A compostagem, apesar de simples, demanda por parte do usuário atenção a alguns aspectos importantes, desde sua construção e dimensionamento, adequado preenchimento e manutenção das condições ideais para a fermentação ideal.

Esse documento foi elaborado para orientar produtores, fiscais e técnicos projetistas visando o correto dimensionamento do sistema de compostagem de carcaças de aves e suínos em diversas modalidades (células, leiras e sistemas aceleradores).

Trata-se de mais uma ação da Embrapa Suínos e Aves, que disponibiliza a cadeia produtiva importantes subsídios técnicos gerados a partir do projeto TECDAM – Tecnologia para Destinação de Animais Mortos.

Everton Luis Krabbe

Pesquisador da Embrapa Suínos e Aves

Líder do projeto Tecnologias para Destinação de Animais Mortos (TEC-DAM)

Sumário

| | |
|---|----|
| Introdução..... | 11 |
| Estimativa da mortalidade de animais nos sistemas de produção | 12 |
| Sistemas de produção em lotes | 14 |
| Sistemas de produção contínuos | 16 |
| Estimativa da massa e volume de substrato para compostagem | 20 |
| Escolha do substrato..... | 20 |
| Formulação da mistura de compostagem | 21 |
| Caracterização do resíduo a ser compostado..... | 24 |
| Massa e volume de substrato necessária | 27 |
| Verificando necessidade de ajuste na formulação | 29 |
| Dimensionamento da unidade de compostagem | 31 |
| Compostagem tradicional..... | 31 |
| Tipo e formato da composteira..... | 33 |
| Tempo de uso da composteira | 36 |
| Intervalo entre usos da composteira | 38 |
| Número de composteiras | 38 |

| | |
|--|----|
| Critérios para avaliação do dimensionamento de composteiras..... | 40 |
| Fontes de erro associadas ao método e critérios para 42 | 42 |
| tomada de decisão | 42 |
| Armazenamento de substrato e do composto pronto | 45 |
| Armazenamento de substrato | 45 |
| Armazenamento do composto pronto | 46 |
| Compostagem acelerada | 49 |
| Volume útil e tempo de retenção do cilindro de compostagem..... | 50 |
| Capacidade de tratamento do cilindro de compostagem..... | 51 |
| Coleta e maturação do material após compostagem acelerada | 55 |
| Armazenamento de substrato e do composto pronto em | 56 |
| compostagem acelerada | 56 |
| Localização, montagem e manejo das unidades de compostagem..... | 58 |
| Localização da unidade de compostagem | 58 |
| Remoção das carcaças do local de criação e recepção na unidade de compostagem..... | 58 |
| Unidades de compostagem tradicional | 59 |
| Aspectos construtivos das composteiras do tipo célula | 59 |
| Montagem das composteiras do tipo célula | 60 |
| Montagem das composteiras do tipo leira..... | 63 |
| Correção inicial da umidade da mistura de substrato e resíduo | 64 |
| Manejo das composteiras | 66 |

| | |
|--|----|
| Fase de compostagem termofílica | 66 |
| Fase de maturação do composto..... | 70 |
| Unidades de compostagem acelerada..... | 72 |
| Trituração das carcaças e operação do cilindro de compostagem | 72 |
| Coleta e maturação do composto | 75 |
| Agradecimentos..... | 75 |
| Referências | 76 |

Introdução

As carcaças de suínos e aves mortos nas granjas são resíduos que apresentam elevado risco sanitário e ambiental. A putrefação das carcaças gera gases, forte mau odor e resíduos tóxicos, além da proliferação de microrganismos patogênicos. A compostagem é uma técnica há tempos validada para o tratamento destes resíduos que, se bem executada, promove a sanitização das carcaças e a produção de um composto orgânico que pode ser utilizado como fertilizante na agricultura.

Este manual tem por objetivo fornecer subsídio para técnicos e produtores rurais quanto ao dimensionamento e manejo de unidades de compostagem para o tratamento de carcaças de animais mortos e resíduos de parição (placenta, sangue, etc.) gerados rotineiramente nas granjas de suínos e aves. Destaca-se que esta metodologia de dimensionamento de unidades de compostagem não se aplica às mortalidades catastróficas de origem sanitária ou acidental, devido à impossibilidade de prever este tipo de ocorrência. No entanto, a compostagem de carcaças em leiras, especificamente, pode ser uma alternativa viável para o tratamento dos resíduos gerados neste tipo de mortalidade se realizada sob supervisão e orientação técnica de Serviço Veterinário e/ou Ambiental Oficial, seguindo os critérios de dimensionamento e manejo aqui expostos.

Neste documento, reunimos valores de referência e detalhamos as etapas de cálculo necessárias para a estimativa do número de animais mortos e caracterização deste resíduo nos diferentes sistemas de produção. Também demonstramos como formular a mistura de resíduos e substrato para otimização do processo de compostagem. A metodologia para dimensionamento das leiras ou células de compostagem, assim como os equipamentos de compostagem acelerada, também são detalhados com foco no projeto de unidades de compostagem que tenham capacidade de tratar, com o mínimo de ociosidade, a mortalidade rotineira de animais e demais resíduos gerados nas granjas. As boas práticas para montagem e manejo das unidades de compostagem estão revistas e ilustradas, incluindo um guia prático para a identificação de problemas comuns oriundos de falhas no manejo das unidades de compostagem, com a indicação das possíveis causas e suas soluções. Estas

informações poderão também subsidiar a análise dos processos de licenciamento ambiental de unidades de compostagem pelos órgãos competentes.

Estimativa da mortalidade de animais nos sistemas de produção

O dimensionamento de unidades de compostagem para tratamento de carcaças de animais mortos exige, em primeiro lugar, que seja estimada a quantidade de resíduo gerado anualmente nas granjas. Assim, os dados necessários e também as etapas de cálculo da quantidade, massa e volume de animais mortos e restos de parição em granjas de suínos e aves variam conforme o sistema de produção empregado e as categorias de animais alojadas em cada granja (Tabelas 1 e 2). Na Tabela 3, constam valores indicativos de peso médio de carcaça e taxas de mortalidade por categoria animal que poderão ser utilizados para a estimativa da mortalidade em granjas de suínos e aves quando estes dados não puderem ser determinados *in loco* ou obtidos com base em estatísticas fornecidas por empresas ou cooperativas integradoras de suínos e aves.

Tabela 1. Dados necessários para estimativa da quantidade, massa e volume de carcaças de animais mortos e resíduos de parição em granjas de suínos.

| Granjas de terminação, creche e <i>wean-to-finish</i> | Granjas de ciclo completo, UPLD ¹ e UPL ² |
|---|--|
| Número de animais alojados | Número de matrizes (fêmeas) |
| Tempo de alojamento do lote (dias) | Número de reprodutores (machos) |
| Intervalo entre lotes (dias) | Tempo de alojamento por fase (dias) |
| Peso médio da carcaça (kg) | Número de partos por matriz por ano |
| Densidade da carcaça (kg/m ³) | Número de leitões por parto |
| Taxa média de mortalidade (%) | Peso médio da carcaça por fase/ categoria (kg) |
| | Densidade da carcaça por fase/ categoria (kg/m ³) |
| | Taxa média de mortalidade por fase/ categoria (%) |

¹Unidade produtora de leitão desmamado (8 kg); ²Unidade produtora de leitões (25 kg).

Tabela 2. Dados necessários para estimativa da quantidade, massa e volume de carcaças de animais mortos em granjas de aves.

| Frangos de corte | Poedeiras |
|---|---|
| Número de animais alojados | Número de animais alojados |
| Tempo de alojamento do lote (dias) | Peso médio da carcaça (kg) |
| Intervalo entre lotes (dias) | Densidade da carcaça (kg/m ³) |
| Peso médio da carcaça (kg) | Taxa média de mortalidade (%) |
| Densidade da carcaça (kg/m ³) | |
| Taxa média de mortalidade (%) | |

Tabela 3. Taxas de mortalidade rotineira, massa (peso médio) e densidade de carcaças de suínos, aves e resíduos de parição de suínos.

| Categoria animal | Peso médio (kg) | Densidade (kg/m ³) | Mortalidade (%) | |
|---|-----------------|--------------------------------|-----------------|----------------------------|
| | | | Meta | Valor crítico ¹ |
| Suínos, leitões na maternidade | 3 | 1.052 | 6 | 10 |
| Suínos, leitões na creche | 15 | 1.052 | 1 | 2,5 |
| Suínos, crescimento e terminação | 75 | 1.005 | 0,6 | 1,0 |
| Suínos, matrizes e reprodutores | 250 | 1.050 | 5 | 7 |
| Suínos, resíduos de parição (kg/parto) | 4 | 1.008 | - | - |
| Aves, frango de corte, griller (1,5 kg) | 1,0 | 475 | 2,5 | 4 |
| Aves, frango de corte, padrão (2,5 kg) | 2,0 | 475 | 2,5 | 4 |
| Aves, frango de corte, pesado (4,0 kg) | 3,5 | 475 | 2,5 | 4 |
| Aves, poedeiras, branca | 1,5 | 475 | 5 | 10 |
| Aves, poedeiras, vermelha | 2,0 | 475 | 5 | 10 |

¹Identificar causas e adotar medidas corretivas.

Sistemas de produção em lotes

Aplica-se às granjas de frangos de corte e granjas de suínos do tipo terminação, creche e *wean-to-finish*. Nestas granjas, é aplicado o conceito all-in/all-out com intervalo entre lotes para limpeza e desinfecção das instalações. Para estes sistemas de produção, deve-se determinar o número de lotes e de animais mortos por ano, além da massa e volume de animais mortos por ano na granja, conforme descrito a seguir. A mortalidade em granjas *wean-to-finish* pode ser calculada pelo somatório da mortalidade nas fases de creche e terminação.

$$L_a = 365 / (D_L + I_L) \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

L_a : é o número de lotes por ano.

D_L : é a duração do lote (dias/lote).

I_L : é o intervalo entre lotes (dias).

365: é o número de dias por ano (dias/ano).

$$N_m = N_L \times L_a \times T_m \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

N_m : é o número de animais mortos por ano.

N_L : é o número de animais por lote.

L_a : é o número de lotes por ano.

T_m : é a taxa de mortalidade (%).

$$M_m = N_m \times M_c \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

M_m : é a massa de animais mortos por ano (kg/ano).

N_m : é o número de animais mortos por ano.

M_c : é a massa (peso) média dos animais (kg).

$$V_m = N_m / D_c \quad (\text{Equação 4})$$

Onde:

V_m: é o volume de animais mortos por ano (m³/ano).

M_m: é a massa de animais mortos por ano.

DC: é a densidade média das carcaças (kg/m³).

Exemplo de cálculo

O exemplo a seguir descreve os cálculos para se determinar o número, massa e volume de animais mortos por ano em uma granja de crescimento e terminação com 1.000 suínos alojados em lotes de 105 dias e intervalo entre lotes de sete dias.

$$L_a = 365 / (D_L + I_L)$$

$$L_a = 365 \text{ dias/ano} / (105 \text{ dias/lote} + 7 \text{ dias})$$

$$L_a = 365 \text{ dias/ano} / 112 \text{ dias/lote}$$

$$L_a = 3,26 \text{ lotes/ano}$$

$$N_m = N_L \times L_a \times T_m$$

$$N_m = 1.000 \text{ suínos} \times 3,26 \text{ lotes/ano} \times 1/100 \text{ mortos}$$

$$N_m = 32,6 \text{ suínos mortos/ano}$$

$$M_m = N_m \times M_c$$

$$M_m = 32,6 \text{ suínos mortos/ano} \times 75 \text{ kg/carcaça}$$

$$M_m = 2.445 \text{ kg de carcaça de suínos mortos/ano}$$

$$V_m = N_m / D_c$$

$$V_m = 2.445 \text{ kg de suínos mortos/ano} / 1.005 \text{ kg/m}^3 \text{ de carcaça}$$

$$V_m = 2,4 \text{ m}^3 \text{ de carcaças de suínos mortos/ano}$$

Conforme o exemplo dado, a granja aloja 3,26 lotes por ano com uma taxa de mortalidade anual de 32,6 animais. A estimativa de massa e volume de suínos mortos é de 2.445 kg de carcaças e de 2,4 m³ de carcaças por ano.

Sistemas de produção contínuos

Aplica-se às granjas de galinhas poedeiras e granjas de suínos operando em ciclo completo de produção, unidades produtoras de leitões desmamados (UPLD com leitões de 8 kg) e unidades produtoras de leitões (UPL com leitões de 25 kg).

Para granjas de galinhas poedeiras, o número de animais mortos é calculado conforme:

$$N_m = N_L \times T_m \quad (\text{Equação 5})$$

Onde:

N_m : é o número de animais mortos por ano.

N_L : é o número de animais alojados.

T_m : é a taxa de mortalidade (%).

Para granjas de suínos, o número de animais mortos é calculado por categoria animal e fase do sistema de produção, conforme o tipo de granja:

$$N_{Rm} = N_R \times T_{mf} \quad (\text{Equação 6})$$

$$N_{Mm} = N_M \times T_{mf} \quad (\text{Equação 7})$$

$$N_{LM} = N_M \times P_M \times L_P \quad (\text{Equação 8})$$

$$N_{LMm} = N_{LM} \times T_{mf} \quad (\text{Equação 9})$$

$$N_{LC} = N_{LM} - N_{LMm} \quad (\text{Equação 10})$$

$$N_{LCm} = N_{LC} \times T_{mf} \quad (\text{Equação 11})$$

$$N_{LT} = N_{LC} - N_{LCm} \quad (\text{Equação 12})$$

$$N_{LTm} = N_{LT} \times T_{mf} \quad (\text{Equação 13})$$

Onde, N_{Rm} é o número de reprodutores mortos por ano, N_R é o número de reprodutores alojados, T_{mf} é a taxa de mortalidade da fase/categoria animal (% por ano para reprodutores e matrizes e % por fase para demais categorias), N_{Mm} é o número de matrizes mortas por ano, N_M é o número de matrizes alojadas, N_{LM} é o número de leitões na maternidade por ano, P_M é o número de partos por matriz por ano, L_p é o número de leitões nascidos por parto, N_{LMm} é o número de leitões mortos na maternidade por ano, N_{LC} é o número de leitões na creche por ano, N_{LCm} é o número de leitões mortos na creche por ano, N_{LT} é o número de leitões na terminação por ano e N_{LTm} é o número de leitões mortos na terminação por ano.

Tanto para granjas de galinhas poedeiras, como para granjas de suínos em sistema de produção contínuo, a massa e o volume de animais mortos por ano é calculado conforme as Equações 3 e 4, agora considerando cada categoria animal alojada e fase do sistema de produção, conforme o tipo de granja.

Para granjas de suínos do tipo ciclo completo, UPLD e UPL, também deve-se estimar a massa e volume dos restos de parição, conforme descrito a seguir:

$$M_R = N_M \times P_M \times M_{rp} \quad (\text{Equação 14})$$

Onde, M_R é a massa de resíduo de parição gerada na granja por ano (kg/ano), N_M é o número de matrizes alojadas, P_M é o número de partos por matriz por ano e M_{rp} é a massa média de resíduos gerados por matriz por parto (kg/parto).

O volume de resíduo de parição gerado na granja por ano pode ser calculado pela relação entre massa e densidade deste resíduo, utilizando a Equação 4.

Exemplo de cálculo

Considerando que o cálculo da mortalidade para galinhas poedeiras é mais simples por consistir de apenas uma categoria animal em alojamento contínuo, o exemplo a seguir tem por objetivo determinar o número, massa e volume de animais mortos por ano e restos de parição em uma granja de suínos do tipo ciclo completo com 20 machos reprodutores e 1.000 matrizes alojadas, 2,4 partos por matriz por ano e 14 leitões nascidos por parto.

Número de animais mortos por fase/categoria por ano

$$N_{Rm} = N_R \times T_{mf}$$

$$N_{Rm} = 20 \text{ reprodutores} \times 5/100 \text{ mortos/ano}$$

$$N_{Rm} = 1 \text{ reprodutor morto/ano}$$

$$N_{Mm} = N_M \times T_{mf}$$

$$N_{Mm} = 1.000 \text{ matrizes} \times 5/100 \text{ mortos/ano}$$

$$N_{Mm} = 50 \text{ matrizes mortas/ano}$$

$$N_{LM} = N_M \times PM \times LP$$

$$N_{LM} = 1.000 \text{ matrizes} \times 2,4 \text{ partos/matriz/ano} \times 14 \text{ leitões/parto}$$

$$N_{LM} = 33.600 \text{ leitões nascidos/ano}$$

$$N_{LMm} = N_{LM} \times T_{mf}$$

$$N_{LMm} = 33.600 \text{ leitões nascidos/ano} \times 6/100 \text{ mortos/ano}$$

$$N_{LMm} = 2.016 \text{ leitões mortos na maternidade/ano}$$

$$N_{LC} = N_{LM} - N_{LMm}$$

$$N_{LC} = 33.600 \text{ leitões nascidos/ano} - 2.016 \text{ leitões mortos na maternidade/ano}$$

$$N_{LC} = 31.584 \text{ leitões na creche/ano}$$

$$N_{LCm} = N_{LC} \times T_{mf}$$

$$N_{LCm} = 31.584 \text{ leitões na creche/ano} \times 1/100 \text{ mortos/ano}$$

$$N_{LCm} = 316 \text{ leitões mortos na creche/ano}$$

$$N_{LT} = N_{LC} - N_{LCm}$$

$$N_{LT} = 31.584 \text{ leitões na creche/ano} - 316 \text{ leitões mortos na creche/ano}$$

$$N_{LT} = 31.268 \text{ leitões na terminação/ano}$$

$$N_{LTm} = N_{LT} \times T_{mf}$$

$$N_{LTm} = 31.268 \text{ leitões na terminação/ano} \times 0,6/100 \text{ mortos/ano}$$

$$N_{LTm} = 188 \text{ leitões mortos na terminação/ano}$$

Massa de animais mortos e resíduo de parição por ano

$$M_{mf} = N_{mf} \times M_{Cf}$$

$$M_{mR} = 1 \text{ reprodutor morto/ano} \times 250 \text{ kg/carcaça} = 250 \text{ kg/ano}$$

$$M_{mM} = 50 \text{ matrizes mortas/ano} \times 250 \text{ kg/carcaça} = 12.500 \text{ kg/ano}$$

$$M_{mLM} = 2.016 \text{ leitões mortos na maternidade/ano} \times 3 \text{ kg/carcaça} = 6.048 \text{ kg/ano}$$

$$M_{mLC} = 316 \text{ leitões mortos na creche/ano} \times 13 \text{ kg/carcaça} = 4.740 \text{ kg/ano}$$

$$M_{mLT} = 188 \text{ leitões mortos na terminação/ano} \times 75 \text{ kg/carcaça} = 14.100 \text{ kg/ano}$$

$$M_R = N_M \times P_M \times M_{rp}$$

$$M_R = 1.000 \text{ matrizes} \times 2,4 \text{ partos/ano} \times 4 \text{ kg/resíduo/parto} = 9.600 \text{ kg/ano}$$

$$M_{Total} = M_{mR} + M_{mM} + M_{mLM} + M_{mLC} + M_{mLT} + M_R$$

$$M_{Total} = 250 \text{ kg/ano} + 12.500 \text{ kg/ano} + 6.048 \text{ kg/ano} + 4.740 \text{ kg/ano} + 14.100 \text{ kg/ano} + 9600 \text{ kg/ano}$$

$$M_{Total} = 47.238 \text{ kg/ano}$$

Considerando todas as categorias de animais alojadas nas diferentes fases de produção, a granja utilizada como exemplo gera 47.238 kg de carcaças de animais mortos e resíduos de parição por ano.

Volume de animais mortos e resíduo de parição por ano

$$V_{mf} = N_{mf} / D_{Cf}$$

$$V_{mR} = 250 \text{ kg de reprodutores/ano} / 1.050 \text{ kg/m}^3 = 0,24 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$V_{mM} = 12.500 \text{ kg de matrizes/ano} / 1.050 \text{ kg/m}^3 = 11,90 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$V_{mLM} = 6.048 \text{ kg de leitões na maternidade/ano} / 1.052 \text{ kg/m}^3 = 5,75 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$V_{mLC} = 4.740 \text{ kg de leitões na creche/ano} / 1.052 \text{ kg/m}^3 = 4,50 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$V_{mLT} = 14.100 \text{ kg de leitões na terminação/ano} / 1.005 \text{ kg/m}^3 = 14,03 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$V_R = M_R / D_R$$

$$V_R = 9.600 \text{ kg de resíduo de parto/ano} / 1.008 \text{ kg/m}^3 = 9,52 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$V_{\text{Total}} = V_{mR} + V_{mM} + V_{mLM} + V_{mLC} + V_{mLT} + V_R$$

$$V_{\text{Total}} = 0,24 \text{ m}^3/\text{ano} + 11,90 \text{ m}^3/\text{ano} + 5,75 \text{ m}^3/\text{ano} + 4,50 \text{ m}^3/\text{ano} + \\ 14,03 \text{ m}^3/\text{ano} + 9,52 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$V_{\text{Total}} = 45,94 \text{ m}^3/\text{ano}$$

Considerando todas as categorias de animais alojadas nas diferentes fases de produção, a granja utilizada como exemplo gera 45,94 m³ de carcaças de animais mortos e resíduos de parição por ano.

Estimativa da massa e volume de substrato para compostagem

Escolha do substrato

As carcaças de animais mortos e restos de parição possuem elevado teor de água e proteínas, o que confere a estes resíduos baixa disponibilidade de oxigênio e baixa relação C/N (carbono/nitrogênio). Após a morte dos animais, ocorre a rápida hidrólise de proteínas e a proliferação de microrganismos que promovem a decomposição anaeróbica das carcaças, o que caracteriza o processo de putrefação. Em contraste à putrefação, a compostagem é um processo onde os microrganismos demandam oxigênio (aeróbico) para decompor as carcaças de animais e os restos de parição. Para a compostagem destes resíduos, é então necessária sua mistura a um outro resíduo (denominado genericamente de substrato), normalmente resíduos de planta parcialmente triturados, que promoverão neste meio as condições favoráveis ao estabelecimento de um processo de compostagem em detrimento do processo de putrefação. Neste sentido, o substrato deve ter densidade menor do que as carcaças e ter estrutura física (porosidade) que permita a boa aeração da leira de compostagem. Além disto, o substrato deve ter alta relação C/N (> 50) a fim de suprir carbono à mistura de carcaças de animais, restos de parição e resíduo vegetal e a obtenção de uma relação C/N favorável

ao processo de compostagem. O substrato também deve ter baixa umidade e boa capacidade de absorver água e fluidos liberados durante a decomposição destes resíduos. O substrato deve ser composto de resíduos com boa degradabilidade, porém com taxa de decomposição relativamente lenta. Substratos de rápida decomposição levam à falta de oxigênio no interior da composteira pela intensa atividade microbiana e compactação do material em compostagem. Além destas características, o custo e a disponibilidade local devem ser considerados na escolha do substrato. Na Tabela 4, estão descritas as características físico-químicas das carcaças de suínos e aves, restos de parição de suínos e também dos resíduos mais comumente utilizados como substrato para compostagem.

Formulação da mistura de compostagem

A compostagem é um processo aeróbico onde os microrganismos (fungos, bactérias, etc.) decompõem os resíduos orgânicos (neste caso, as carcaças de animais mortos e resíduos de parição misturados a um substrato) até a sua estabilização bioquímica na forma de um material orgânico humificado, então denominado de composto orgânico. A compostagem é também um processo exotérmico que libera energia na forma de calor e promove o aquecimento do material em compostagem até temperaturas de aproximadamente 50-70°C. Esta primeira etapa do processo, caracterizada pela elevação da temperatura e rápida decomposição dos resíduos, denomina-se fase termofílica. As temperaturas elevadas atingidas nesta fase também promovem a sanitização dos resíduos com redução significativa da população de organismos patogênicos. Após a decomposição inicial dos resíduos, inicia-se a fase de maturação que se caracteriza pela redução gradual da temperatura e estabilização do composto orgânico humificado. Caso o processo de compostagem tenha sido bem conduzido em ambas as fases, o produto final é um adubo orgânico livre de patógenos e rico em nutrientes. Este fertilizante pode ser utilizado para adubação de culturas agrícolas e florestais conforme recomendações técnicas apropriadas para cada cultura. Destaca-se que, por legislação e segurança, é vedado o uso de composto orgânico oriundo do tratamento de carcaças de animais mortos e resíduos de parição em pastagens, hortaliças ou frutíferas.

Tabela 4. Características das carcaças de suínos e aves, restos de partição e dos resíduos vegetais mais comumente utilizados como substrato para compostagem (valores médios).

| Origem | Categoria | Densidade ¹ | | Matéria seca ² | | Carbono ³ | | Nitrogênio ³ | | C/N ² |
|----------------|---|------------------------|--------------|---------------------------|------|----------------------|------|-------------------------|-------|------------------|
| | | Kg/m ³ | | % | | % | | % | | |
| Suínos | Matrizes e reprodutores | 1.050 | | 51,0 | | 66,2 | | 4,40 | | 15,0 |
| | Maternidade e creche | 1.052 | | 30,5 | | 53,8 | | 9,40 | | 5,7 |
| | Terminação | 1.005 | | 46,7 | | 61,9 | | 5,50 | | 11,2 |
| | Resíduos de partição | 1.008 | | 22,0 | | 49,1 | | 14,00 | | 3,5 |
| Aves | Frangos de corte | 475 | | 32,3 | | 52,2 | | 9,40 | | 5,6 |
| | Poedeiras | 475 | | 35,0 | | 12,0 | | 2,40 | | 5,0 |
| | Maravalha ^{4,5} | 75 | | 87,8 (82-90) | | 47,3 | | 0,16 | | 301,5 |
| Vegetal | Serragem | 200 | | 59,2 (55-70) | | 46,5 | | 0,16 | | 290,6 |
| | 30% maravalha + 70% serragem ⁵ | 133 | | 67,8 (60-80) | | 46,7 | | 0,16 | | 291,9 |
| | Palha seca de milho ⁶ | 60-80 | | 85,0 (80-90) | | 43,5 | | 0,66 | | 66,0 |
| | Palha seca de aveia-preta ⁶ | 60-80 | | 85,0 (80-90) | | 40,1 | | 1,10 | | 36,5 |
| | Palha seca de capim-elefante ⁶ | 60-80 | | 85,0 (80-90) | | 45,0 | | 0,54 | | 83,0 |
| | Palha seca de ervilhaca ⁶ | 60-80 | | 85,0 (80-90) | | 42,3 | | 3,00 | | 14,1 |
| | Palha seca de soja ⁶ | 60-80 | | 85,0 (80-90) | | 38,4 | | 0,76 | | 50,5 |
| Casca de arroz | 100 (85-115) | | 89,0 (85-92) | | 39,2 | | 0,38 | | 103,1 | |

¹Valores de densidade médios expressos em base úmida. A densidade dos resíduos vegetais é muito variável e depende do teor de matéria seca e granulometria do material. Os valores aqui apresentados servem como uma referência aproximada e são válidos para materiais triturados grosseiramente; ²Teores médios de matéria seca nas carcaças de suínos e aves e restos de partição. O teor de matéria seca dos resíduos vegetais depende do processamento e condições de armazenamento dos resíduos. Os valores entre parênteses indicam a variação comumente observada em relação à média. ³Teores médios de carbono e nitrogênio e expressos em base seca; ⁴Maravalha padrão utilizada como cama para frangos de corte; ⁵A mistura de 30% de maravalha em 70% de serragem melhora a porosidade da leira de compostagem, aumentando a aeração e evitando a compactação da leira de compostagem. ⁶Uso exclusivo de palhas de gramíneas e leguminosas com alta degradabilidade pode resultar em inibição do processo de compostagem pelo elevado consumo de oxigênio e compactação da leira de compostagem. Nestes casos, recomenda-se a mistura com outros substratos com menor degradabilidade a fim de se otimizar o processo.

A elevação e, principalmente, a manutenção da temperatura do material em compostagem entre 50-70°C até a completa decomposição dos tecidos moles das carcaças é o principal indicativo de que o processo ocorreu de maneira eficiente. Para tanto, é necessário que a disponibilidade de água, ar e nutrientes no material em compostagem estejam dentro de uma faixa favorável à atividade dos microrganismos que farão a compostagem dos resíduos (Tabela 5). Assim, a proporção de substrato a ser adicionada às carcaças e restos de parição deve ser calculada de forma que a mistura obtida tenha relação C/N inicial na faixa de 25-35, considerando-se aceitáveis valores iniciais entre 20-50. Misturas formuladas com relação C/N menor que 20 favorecem a emissão de amônia (NH₃) e maus odores, além de provocarem superaquecimento das leiras (>70°C), o que pode resultar na morte dos microrganismos e interrupção do processo de compostagem. Quando acima de 50, a alta relação C/N reduz a velocidade de decomposição dos resíduos. Além disto, desperdiça-se substrato e espaço na unidade de compostagem.

Para se atingir a relação C/N inicial de 25-35, considerada preferencial para o processo de compostagem, deve-se utilizar substratos com relação C/N maior do que esta faixa e do que a relação C/N verificada nas carcaças de animais. Quanto maior a relação C/N do substrato, menor será a quantidade requerida para ajuste da relação C/N da mistura. No entanto, destaca-se que substratos com relação C/N muito elevada, como é o caso dos resíduos florestais e casca de arroz, normalmente apresentam baixa degradabilidade, o que pode limitar o processo pela baixa biodisponibilidade do carbono destes resíduos aos microrganismos. Materiais com granulometria muito grosseira também podem ter lenta decomposição, embora devam ser utilizados para melhorar a porosidade da mistura de compostagem. A mistura de resíduos com alta relação C/N e baixa degradabilidade (resíduos florestais, casca de arroz, palhas de gramíneas, etc.) com outros resíduos de menor relação C/N e mais facilmente decomponíveis (palhas de gramíneas e leguminosas) pode ser utilizada para otimizar o processo e reduzir a demanda de substrato.

Outro fator importante é a umidade da mistura, que deve se manter na faixa preferencial de 50-60%, sendo aceitável uma variação de 40-65%. Quando abaixo de 40%, a baixa umidade limita a atividade microbiana e inibe o processo de compostagem. Acima de 65%, ocorre falta de oxigênio, também inibindo o processo e promovendo a emissão de gases poluentes. A umidade

da mistura pode ser corrigida com a adição de água ou com uso de maior quantidade de substrato com baixo teor de umidade. Outro indicador importante para formulação de mistura para compostagem tradicional, em leiras ou células, é a proporção entre a massa de carcaças e restos de parição em relação ao volume de substrato utilizado na mistura (densidade de carcaças). Este parâmetro indica se a quantidade de substrato utilizada é suficiente para promover boa aeração da leira ou célula de compostagem, sendo preferenciais e aceitáveis, respectivamente, valores abaixo de 160 e 240 kg de carcaça por metro cúbico de substrato.

Tabela 5. Parâmetros para formulação e monitoramento de compostagem de carcaças de animais.

| Parâmetro | Classificação | | |
|--|---------------|-----------|------------|
| | Ótimo | Aceitável | Inadequada |
| Relação C/N | 25-35 | 20-50 | <20 ou >50 |
| Umidade (%) | 50-60 | 40-65 | <40 ou >65 |
| Densidade de carcaças (kg carcaça / m ³ substrato) ¹ | ≤160 | 160-240 | >240 |
| Temperatura (°C) | >60 | >50 | <50 |

¹Parâmetro válido apenas para compostagem tradicional.

Caracterização do resíduo a ser compostado

O primeiro passo para se estimar a demanda de substrato para compostagem é determinar as características físico-químicas do resíduo a ser tratado. Além da massa e volume de carcaças e restos de parição que necessitam tratamento, cuja metodologia de cálculo já foi descrita anteriormente, faz-se necessário determinar a quantidade de água, matéria seca, carbono, nitrogênio e relação C/N presente nestes resíduos. Estes parâmetros devem ser calculados para cada tipo de resíduo gerado na granja, conforme categoria animal, fase de produção, etc. Caso os resíduos sejam tratados na mesma unidade de compostagem, os resultados podem ser agregados pelo somatório dos diferentes resíduos. Por exemplo, a quantidade total de carbono associado às carcaças de animais mortos e restos de parição em uma granja de suínos em ciclo completo é o somatório da quantidade de carbono nas carcaças de matrizes mortas, reprodutores mortos, leitões mortos nas fases

de maternidade, creche e terminação e nos restos de parição. O teor de matéria seca e umidade, e a massa de matéria seca, água, carbono, nitrogênio e a relação C/N das carcaças e substrato pode ser calculadas conforme descrito a seguir.

$$MS\% = M_{SECO} / M_{UMIDO} \quad (\text{Equação 15})$$

$$U\% = (M_{UMIDO} - M_{SECO}) / M_{UMIDO} \quad (\text{Equação 16})$$

Onde:

MS%: é o teor de matéria seca do material (%)

M_{SECA}: é a massa do material quando seco (g ou kg)

M_{UMIDA}: é a massa do material quando úmido (g ou kg)

U%: é o teor de umidade do material (%).

$$MS_R = M_R \times MS\%_R \quad (\text{Equação 17})$$

$$H_2O_R = M_R - MS_R \quad (\text{Equação 18})$$

Onde:

MS_R: é a quantidade de matéria seca no resíduo (kg/ano).

M_R: é massa de resíduo gerado por ano (kg/ano).

MS%_R: é o teor de matéria seca no resíduo (%).

H₂O_R: é a quantidade de água no resíduo (kg/ano).

$$C_R = MS_R \times C\% \quad (\text{Equação 19})$$

$$N_R = MS_R \times N\% \quad (\text{Equação 20})$$

$$C/N_R = C_R / N_R \quad (\text{Equação 21})$$

Onde:

C_R: é a quantidade de carbono no resíduo (kg/ano).

MS_R: é a quantidade de matéria seca no resíduo (kg/ano).

C%: é o teor de carbono na matéria seca do resíduo (%).

N%: é o teor de nitrogênio na matéria seca do resíduo (%).

C/N_R: é a relação carbono/nitrogênio no resíduo (adimensional).

Exemplo de cálculo

Neste exemplo, recuperamos os resultados do item “Sistemas de produção em lotes” (página 14), onde, numa granja de terminação de suínos, estimou-se a mortalidade de 32,6 suínos por ano, gerando 2.445 kg de carcaças de leitões em terminação por ano.

$$\mathbf{MS_R = M_R \times MS\%_R}$$

$MS_R = 2.445 \text{ kg de carcaças/ano} \times 46,7/100 \text{ kg de MS na carcaça de leitões em terminação}$

$$MS_R = 1.142 \text{ kg de MS nas carcaças/ano}$$

$$\mathbf{H_2O_R = M_R - MS_R}$$

$H_2O_R = 2.445 \text{ kg de carcaças/ano} - 1.142 \text{ kg de MS nas carcaças/ano}$

$$H_2O_R = 1.303 \text{ kg de água nas carcaças/ano}$$

$$\mathbf{C_R = MS_R \times C\%}$$

$C_R = 1.142 \text{ kg de MS nas carcaças/ano} \times 61,9/100 \text{ de C na MS de leitões de terminação}$

$$C_R = 707 \text{ kg de C nas carcaças/ano}$$

$$\mathbf{N_R = MS_R \times N\%}$$

$N_R = 1.142 \text{ kg de MS nas carcaças/ano} \times 5,5/100 \text{ de N na MS de leitões de terminação}$

$$N_R = 63 \text{ kg de N nas carcaças/ano}$$

$$\mathbf{C/N_R = C_R / N_R}$$

$C/N_R = 706,9 \text{ kg de C nas carcaças/ano} / 62,8 \text{ kg de N nas carcaças/ano}$

$$C/N_R = 11,2 \text{ é a relação C/N nas carcaças}$$

Massa e volume de substrato necessária

A massa de substrato necessária para tratamento das carcaças de animais mortos e restos de parição deve ser calculada de modo que a relação C/N da mistura situe-se preferencialmente entre 25-35, sendo aceitável entre 20-50 caso haja limitação quanto à oferta e ao custo do substrato ou espaço para construção da unidade de compostagem. A metodologia de cálculo descrita a seguir pode ser utilizada para qualquer tipo de resíduo (dejetos, restos de alimentos, etc.) e substrato, além daqueles apresentados na Tabela 4.

$$M_s = \{M_R \times N_R \times [(C/N)_m - C_R / N_R] \times MS\%_R\} / \{N_s \times [C_s / N_s - (C/N)_m] \times MS\%_s\}$$

(Equação 22)

Onde:

M_s : é a massa de substrato necessária por ano (kg/ano)

M_R : é a massa de resíduo gerado por ano (kg/ano)

N_R : é o teor de nitrogênio na matéria seca do resíduo (%)

$(C/N)_m$: é a meta de relação C/N da mistura de substrato e resíduo

C_R : é o teor de carbono na matéria seca do resíduo

$MS\%_R$: é o teor de matéria seca do resíduo

N_s : é o teor de nitrogênio na matéria seca do substrato

C_s : é o teor de carbono na matéria seca do substrato

$MS\%_s$: é o teor de matéria seca do substrato.

O volume ocupado pela massa de substrato necessária para o tratamento das carcaças de animais mortos pode ser calculado pela relação entre massa e densidade do substrato, utilizando a Equação 4.

Exemplo de cálculo

Neste exemplo, recuperamos os resultados dos itens “Sistemas de produção em lotes (página 14) e Caracterização do resíduo a ser compostado (página 24)” para se estimar a quantidade de substrato necessária para tratar 2.445 kg de carcaças de leitões em terminação por ano. Para tanto, será utilizada neste exemplo a mistura de 30% de maravalha e 70% de serragem. A adição

de maravalha junto com a serragem melhora a estrutura da leira, aumentando a porosidade e a aeração e evita a compactação excessiva da leira que é passível de ocorrer durante o processo. Será determinada a massa de substrato necessária para se atingir uma mistura de carcaças de leitões em terminação e substrato com relação C/N inicial de 30. A seguir, será calculado o volume, quantidade de matéria seca, água, carbono e nitrogênio no substrato, conforme detalhado anteriormente. Estes cálculos podem ser utilizados de modo a checar informações e cálculos anteriores.

$$M_s = \{M_R \times N_R \times [(C/N)_m - C_R / N_R] \times MS\%_R\} / \{N_s \times [C_s / N_s - (C/N)_m] \times MS\%_s\}$$

$$M_s = \{2.445 \times (5,5/100) \times [30 - (61,9/100) / (5,5/100)] \times 46,7\} / \{(0,16/100) \times [(46,7/100) / (0,16/100) - 30] \times 67,8\}$$

$$M_s = \{2.445 \times 0,055 \times [30 - 0,619 / 0,055] \times 46,7\} / \{0,016 \times [0,467 / 0,016 - 30] \times 67,8\}$$

$$M_s = \{2.445 \times 0,055 \times [30 - 11,2] \times 46,7\} / \{0,0016 \times [291,9 - 30] \times 67,8\}$$

$$M_s = \{2.445 \times 0,055 \times 18,8 \times 46,7\} / \{0,0016 \times 261,9 \times 67,8\}$$

$$M_s = 118.063,67 / 28,41$$

$$M_s = 4.156 \text{ kg de substrato/ano}$$

Massa de maravalha: $4.156 \times 30/100 = 1.247 \text{ kg de maravalha/ano}$

Massa de serragem: $4.156 \times 70/100 = 2.909 \text{ kg de serragem/ano}$

Em termos práticos e conforme resultados anteriores (4.156 kg de substrato para 2.445 kg de carcaças), para cada 1 kg de carcaça de suínos se deve adicionar 1,7 kg de substrato (0,5 kg de maravalha e 1,2 kg de serragem) à leira de compostagem.

$$V_s = M_s / D_s$$

$$V_s = 4.156 \text{ kg de substrato/ano} / 133 \text{ kg/m}^3$$

$$V_s = 31,2 \text{ m}^3 \text{ de substrato/ano}$$

$$\text{Volume de maravalha: } 1.247 \text{ kg de maravalha/ano} / 75 \text{ kg/m}^3 =$$

$$16,6 \text{ m}^3 \text{ de maravalha/ano}$$

$$\text{Volume de serragem: } 2.909 \text{ kg de serragem/ano} / 200 \text{ kg/m}^3 =$$

$$14,6 \text{ m}^3 \text{ de serragem/ano}$$

$$MS_s = M_s \times MS\%_s$$

$$MS_s = 4.156 \text{ kg de substrato/ano} \times 67,8/100 \text{ de MS no substrato}$$

$$MS_s = 2.818 \text{ kg de MS de substrato/ano}$$

$$H_2O_s = M_s - MS_s$$

$$H_2O_s = 4.156 \text{ kg de substrato/ano} - 2.818 \text{ kg de MS de substrato/ano}$$

$$H_2O_s = 1.338 \text{ kg de água no substrato/ano}$$

$$C_s = MS_s \times C\%$$

$$C_s = 2.818 \text{ kg de MS de substrato/ano} \times 46,7/100 \text{ de C na MS do substrato}$$

$$C_s = 1.316 \text{ kg de C no substrato/ano}$$

$$N_s = MS_s \times N\%$$

$$N_s = 2.818 \text{ kg de MS de substrato/ano} \times 0,16/100 \text{ de N na MS do substrato}$$

$$N_s = 4,5 \text{ kg de N no substrato/ano}$$

$$C/N_s = C_s / N_s$$

$$C/N_s = 1.316 \text{ kg de C no substrato/ano} / 4,51 \text{ kg de N no substrato/ano}$$

$$C/N_s = 291,8 \text{ é a relação C/N do substrato}$$

Verificando necessidade de ajuste na formulação

As equações descritas a seguir podem ser utilizadas para se verificar se a mistura de resíduos (carcaças e restos de partição) e substrato que foi formulada atinge os parâmetros sugeridos na Tabela 5 e se são necessários ajustes na sua formulação.

$$C/N_M = (C_R + C_S) / (N_R + N_S) \quad (\text{Equação 23})$$

Onde:

C/N_M : é a relação carbono/nitrogênio da mistura de resíduo e substrato (adimensional).

C_R e C_S : são a massa de carbono no resíduo e no substrato (kg/ano).

N_R e N_S : são a massa de nitrogênio no resíduo e substrato (kg/ano).

$$U\%_M = [(H_2O_R + H_2O_S) / (M_R + M_S)] \times 100 \quad (\text{Equação 24})$$

Onde:

$U\%_M$: é o teor de umidade da mistura de resíduo e substrato (%)

H_2O_R e H_2O_S : são a massa de água no resíduo e substrato (kg/ano).

M_R e M_S : são a massa de resíduo e substrato (kg/ano).

$$DC_M = M_R / V_S \quad (\text{Equação 25})$$

Onde:

DC_M : é a densidade de carcaças (kg carcaças/m³ de substrato), é a massa de resíduo (kg/ano).

VS : é o volume de substrato (m³/ano).

Exemplo de cálculo

Neste exemplo, utilizaremos os resultados dos itens “Sistemas de produção em lotes” (página 14) e Caracterização do resíduo a ser compostado (página 24) e da Massa e volume de substrato necessária (página 27)” para verificar se a mistura de carcaças de suínos em terminação e substrato atende os parâmetros especificados na Tabela 5.

$$C/N_M = (C_R + C_S) / (N_R + N_S)$$

$$C/N_M = (707 \text{ kg C/ano} + 1.316 \text{ kg C/ano}) / (63 \text{ kg N/ano} + 4,5 \text{ kg N/ano})$$

$$C/N_M = (2.023 \text{ kg C/ano}) / (67,5 \text{ kg N/ano})$$

$$C/N_M = 30$$

$$U\%_M = [(H_2O_R + H_2O_S) / (M_R + M_S)] \times 100$$

$$U\%_M = [(1.303 \text{ kg } H_2O/\text{ano} + 1.338 \text{ kg } H_2O/\text{ano}) / (2.455 \text{ kg res./ano} + 4.156 \text{ kg subst./ano})] \times 100$$

$$U\%_M = [2.641 \text{ kg } H_2O/\text{ano} / 6.601 \text{ kg/ano}] \times 100$$

$$U\%_M = 0,4001 \times 100$$

$$U\%_M = 40,01\% \text{ de umidade}$$

$$DC_M = M_R / V_s$$

$$DC_M = 2.455 \text{ kg de carcaça/ano} / 31,2 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$DC_M = 78.7 \text{ kg de carcaça} / \text{m}^3 \text{ de substrato}$$

Neste caso, verifica-se que a relação C/N e a densidade de carcaças na mistura formulada estão de acordo com a faixa considerada preferencial para a otimização do processo de compostagem. Caso estes parâmetros estivessem fora do aceitável, a mistura deveria ser reformulada, seguindo os passos já descritos anteriormente. No entanto, o teor de umidade de 40% ficou no limite do aceitável, devendo ser corrigida com a adição de água à mistura no momento da montagem das leiras de compostagem.

Dimensionamento da unidade de compostagem

As metodologias descritas nos itens anteriores permitem estimar a quantidade, massa e volume de animais mortos e restos de parição gerados anualmente nas granjas de suínos e aves, assim como a respectiva massa e volume de substrato necessários para o tratamento destes resíduos. O próximo passo é dimensionar as instalações das unidades de compostagem, sejam elas tradicionais, com composteiras do tipo células ou leiras, ou compostagem acelerada, onde o processo é conduzido em reatores do tipo cilindros rotativos. Para fins de padronização de terminologia, denomina-se de unidade de compostagem o conjunto de composteiras do tipo célula ou leira (tradicionais) ou o conjunto formado pelo equipamento (cilindro rotativo) e área de maturação do composto, no caso dos sistemas de compostagem acelerada.

Compostagem tradicional

Definimos aqui como tradicionais, os sistemas de compostagem de carcaças de animais e restos de parição realizados em composteiras do tipo células ou leiras, com formatos diversos (Figura 1). Os sistemas de compostagem tradicional podem receber aeração por bombeamento ou difusão passiva de ar, utilizando bombas e/ou canos perfurados ou outro dispositivo, mas não ocorre revolvimento mecânico do material em compostagem para aeração durante a fase termofílica. Os animais mortos e os restos de parição podem ser compostados inteiros, mas recomenda-se o esquarteramento, fragmenta-

ção ou mesmo a trituração grosseira das carcaças para decomposição mais rápida destes resíduos. Detalhes sobre a montagem e manejo das unidades de compostagem tradicional serão discutidos posteriormente. O dimensionamento da unidade de compostagem tradicional se dá pelo método de aproximações sucessivas, até que todos os requisitos técnicos sejam atendidos e que a unidade de compostagem tenha capacidade de tratar todo o resíduo produzido anualmente na granja.

Inicialmente, os dados necessários para o dimensionamento das unidades de compostagem são o volume de resíduo e substrato que deverão ser tratados por ano, o tipo e o formato da composteira que determinarão as dimensões da célula ou leiras de compostagem.

Foto: Monalisa Leal Pereira

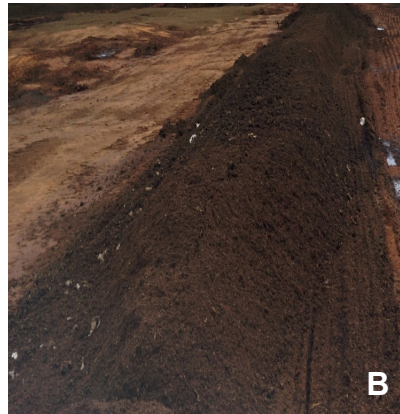
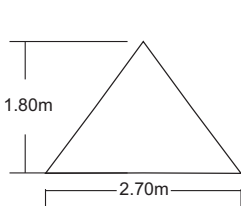
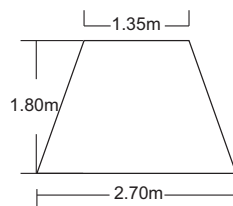


Foto: Idair J. Piccinin



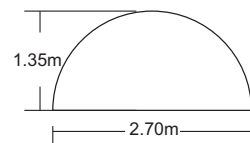
C

Seção do triângulo



D

Seção trapezoidal



E

Seção semicírculo

Figura 1. Composteiras do tipo célula quadrada construída em alvenaria (A), unidade de compostagem em leiras (B) e desenho esquemático de leiras de compostagem segundo o formato da secção transversal (C, D e E).

Tipo e formato da composteira

A escolha do tipo e formato da composteira deve considerar a mão de obra, equipamentos que serão utilizados para montagem, manejo das composteiras e remoção do composto quando finalizado o processo de compostagem. As células se diferenciam das leiras de compostagem por estarem confinadas lateralmente por alguma estrutura física (paredes de alvenaria, madeira, etc.). As células de compostagem são preenchidas com a mistura de resíduos e substrato em camadas sobrepostas, até que todo o volume disponível da célula esteja ocupado e a mistura de compostagem atinja a altura máxima útil da célula (Figura 1). Já as leiras de compostagem são montadas tanto em camadas sobrepostas como no sentido do comprimento da leira. Composteiras com volume menor do que 1 m³ perdem temperatura rapidamente se não forem contidas por material isolante térmico, portanto dimensões menores que 1 m devem ser evitadas. As composteiras devem ter altura útil de 1-2 m, preferencialmente. Composteiras do tipo célula com altura útil de até 3 m são aceitáveis, mas requerem bom manejo do processo visando boa aeração e controle de umidade e temperatura. Alturas maiores podem causar compactação do material e limitar a aeração das leiras. As dimensões de largura e profundidade (comprimento) das composteiras devem ser projetadas de modo a facilitar o manejo das unidades de compostagem, de acordo com o tipo de equipamento utilizado no processo.

As composteiras do tipo célula são normalmente cobertas e são as mais comuns em granjas de suínos e aves no sul do Brasil, onde as propriedades são menores e se localizam em região de precipitação elevada. A compostagem em leiras, muitas vezes sob céu aberto, é comumente indicada para tratamento de carcaças de grandes animais (bovinos, etc.) ou utilizada em regiões mais áridas, com menores índices pluviométricos. A compostagem em leiras também pode ser indicada para o tratamento de mortalidades catastróficas, onde um grande número de animais morre ou é sacrificado em eventos isolados, devido a doenças ou acidentes (falta de energia elétrica, acidentes rodoviários, etc.). Destaca-se que, no caso da ocorrência de doenças de notificação obrigatória, a opção pela compostagem e a destinação do composto orgânico deve seguir recomendação técnica do Serviço Veterinário e/ou Ambiental Oficial.

O volume anual demandado indica o volume total de resíduo (carcaças de animais mortos e restos de parição) e substrato que devem ser tratados anualmente na granja, e é calculado com:

$$V_D = V_R + V_S \quad (\text{Equação 26})$$

Onde:

V_D : é o volume anual demandado na unidade de compostagem (m^3/ano).

V_R : é o volume de resíduo, carcaças e restos de parição gerados anualmente na granja (m^3/ano).

V_S : é o volume anual de substrato necessário para tratamento do resíduo (m^3/ano).

A área útil ocupada pela composteira é calculada pelas dimensões da sua base, no caso de leiras de compostagem, ou dimensões internas da célula de compostagem, conforme seu formato:

$$\text{Quadradas ou retangulares: } A_C = L_C \times P_C \quad (\text{Equação 27})$$

$$\text{Circulares: } A_C = D_C^2 / 4 \times \pi \quad (\text{Equação 28})$$

Onde:

A_C : é a área da composteira (m).

L_C : é a largura da base da composteira (m).

P_C : é a profundidade da base da composteira (m).

D_C : é o diâmetro da base da composteira (m).

π : é o número Pi ($\sim 3,141593$).

O volume útil da composteira é calculado considerando o formato em que é montada. Não se considera, para cálculo do volume útil, a camada de 15-20 cm de substrato que cobre o fundo da composteira visando aeração e a absorção de água e fluidos gerados durante o processo de compostagem. A altura útil da célula de compostagem é aquela medida desde o topo da cama de substrato até o nível máximo da célula preenchido pelo material em compostagem. Os volumes calculados para as composteiras do tipo leira são aproximações, visto que estas têm formato relativamente irregulares.

$$\text{Célula (paralelepípedo reto ou circular/cilíndrica): } V_c = A_c \times h_c \quad (\text{Equação 29})$$

$$\text{Leira (triangular): } V_c = L_{BL} \times (h_L / 2) \times C_L \quad (\text{Equação 30})$$

$$\text{Leira (trapezoidal): } V_c = [(L_{BL} + L_{TL}) \times h_L] / 2 \times C_L \quad (\text{Equação 31})$$

$$\text{Leira (semicircular): } V_c = (L_{BL} / 2) \times (h_L \times \pi / 2) \times C_L \quad (\text{Equação 32})$$

Onde:

V_c : é o volume útil da composteira (m^3).

A_c : é a área útil da base da composteira do tipo célula (m^2).

h_c : é a altura útil da célula de compostagem (m).

L_{BL} : é a largura da base da leira (m).

L_{TL} : é a largura no topo da leira (m).

h_L : é a altura da leira (m).

C_L : é o comprimento da leira (m).

π : é o número Pi (~ 3,141593).

Exemplo de cálculo

Retomando os exemplos anteriores “Sistemas de produção em lotes” (página 14) e Caracterização do resíduo a ser compostado (página 24) e da Massa e volume de substrato necessária (página 27)” vamos determinar o volume anual demandado, área e volume útil de uma composteira do tipo célula com dimensões 2 m de largura, 2 m de profundidade e 1,5 m de altura.

$$V_D = V_R + V_S$$

$$V_D = 2,4 \text{ m}^3 \text{ de carcaças de suínos mortos/ano} + 31,2 \text{ m}^3 \text{ de substrato/ano}$$

$$V_D = 33,6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$A_c = L_c \times P_c$$

$$A_c = 2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$$

$$A_c = 4 \text{ m}^2$$

$$V_c = A_c \times h_c$$

$$V_c = 4 \text{ m}^2 \times 1,5 \text{ m}$$

$$V_c = 6 \text{ m}^3$$

O volume demandado é de 33,6 m³ de resíduos e substrato por ano. A área útil da composteira do tipo célula é de 4 m², com volume útil de 6 m³.

Tempo de uso da composteira

O tempo total de uso da composteira compreende o tempo necessário para enchimento total do volume útil da célula ou leira de compostagem, conforme volume anual demandado (geração de resíduo) e volume projetado da célula ou leira, o tempo de compostagem termofílica e o tempo de maturação do composto. Composteiras com tempo de enchimento excessivos (por exemplo, maiores que o tempo de compostagem termofílica), causam superdimensionamento da unidade de compostagem e ociosidade das composteiras. O tempo de enchimento da composteira é calculado com a seguinte equação:

$$T_e = V_c / (V_D / 365) \quad (\text{Equação 33})$$

Onde:

T_e : é o tempo de enchimento da composteira (dias).

V_c : é o volume útil da composteira (m³).

V_D : é o volume anual demandado (m³/ano).

O tempo de compostagem termofílica deve ser computado apenas após o enchimento total da célula ou leira de compostagem. Assim, garante-se que todo o resíduo passou pelo tempo mínimo estimado para a fase termofílica. O tempo de compostagem termofílica considera o tempo necessário para degradação da carcaça de maior massa a ser tratada na composteira e dever ser de no mínimo 30 dias, conforme equações:

$$\text{Se } P_{MC} \leq 16,3 \text{ kg, então } T_c = 30 \text{ dias} \quad (\text{Equação 34.1})$$

$$\text{Se } P_{MC} > 16,3 \text{ kg, então } T_c = 7,42 \times P_{MC}^{0,5} \quad (\text{Equação 34.2})$$

Onde:

P_{mc} : é a massa (peso) da maior carcaça a ser tratada na composteira (kg).

T_c : é o tempo de compostagem termofílica (dias).

Para granjas de suínos em terminação, creches e *wean-to-finish*, considera-se o peso dos animais ao final do lote. Para granjas de suínos do tipo ciclo completo, UPLs e UPLDs, considera-se o peso das matrizes e reprodutores, o que for maior. Para granjas de galinhas poedeiras e frangos de corte, utiliza-se o tempo mínimo de 30 dias, visto que os animais têm peso corporal menor que 16,3 kg. Nesta fase, não há revolvimento do material em compostagem.

O tempo de maturação do composto inicia após o tempo estimado para a fase de compostagem termofílica. A maturação ocorre no mesmo espaço de célula ou leira utilizado na fase termofílica. Neste período, é necessário o revolvimento semanal do material em compostagem para a sua aeração e maturação. Caso os revolvimentos não sejam feitos, aumenta-se o tempo de maturação. O tempo de maturação deve ser de no mínimo 30 dias, sendo apropriados tempos na faixa de 30-60 dias. Após este período, o composto está pronto para uso na agricultura. Também se pode calcular o tempo de maturação conforme:

$$T_m = T_c / 3 \quad (\text{Equação 35})$$

Onde:

T_m : é o tempo de maturação do composto (dias).

T_c : é o tempo de compostagem (dias).

Finalmente, o tempo total de uso da composteira pode ser calculado pelo somatório do tempo de enchimento, compostagem termofílica e maturação do composto, conforme descrito a seguir:

$$T_t = T_e + T_c + T_m \quad (\text{Equação 36})$$

Onde:

T_t : é o tempo total de uso da célula de compostagem (dias).

T_e : é o tempo de enchimento da célula de compostagem (dias).

T_c : é o tempo de compostagem (dias).

T_m : é o tempo de maturação do composto (dias).

Intervalo entre usos da composteira

Refere-se ao número de dias disponíveis para remoção do composto pronto e limpeza da composteira para nova utilização. Pode ser também utilizado como um período de armazenamento temporário do composto nas unidades de compostagem até que este possa ser destinado à aplicação em áreas agrícolas, se não houver outro local na granja para armazenamento do composto. Este período depende, portanto, do manejo e disponibilidade de mão de obra na granja, sendo recomendado aproximadamente 14 dias. Intervalos menores não são indicados, pois surtos de mortalidade ou restrições climáticas e de manejo das composteiras (aeração e umidade) podem atrasar o processo causando sobrecarga. Intervalos muito maiores podem gerar superdimensionamento e ociosidade das unidades de compostagem.

Número de composteiras

Refere-se ao número de composteiras necessário para atender a produção anual de resíduos na granja. O número de composteiras N_c deve ser de no mínimo 2 composteiras por unidade de compostagem.

$$N_c = V_d / (365 / (T_t + I) \times V_c) \quad (\text{Equação 37})$$

Onde:

N_c : é o número de células de compostagem necessárias.

V_d : é o volume anual demandado (m^3 /ano).

T_t : é o tempo total de uso de cada composteira (dias).

I : é o intervalo entre usos da composteira (dias).

V_c : é o volume útil da composteira (m^3 /composteira).

O resultado da fração deve ser arredondado para o número inteiro imediatamente superior.

Exemplo de cálculo

Seguimos utilizando as memórias de cálculo anteriores “Sistemas de produção em lotes” (página 14) e Caracterização do resíduo a ser compostado (página 24) e da Massa e volume de substrato necessária (página 27) e Tipo e formato da composteira (página 32)”, agora estimando os demais parâmetros de uso da composteira: tempo de enchimento, compostagem e maturação, intervalo entre usos e número de composteiras necessárias para atender o volume anual de substrato e resíduo que devem ser tratados na granja. Considerar-se-á como a massa da maior carcaça a ser tratada na composteira o peso dos leitões em terminação prontos para abate ($P_{MC} = 120$ kg). O intervalo entre usos será definido de 14 dias.

$$T_e = V_c / (V_D / 365)$$

$$T_e = 6 \text{ m}^3 / (33,6 \text{ m}^3/\text{ano} / 365 \text{ dias/ano})$$

$$T_e = 6 \text{ m}^3 / 0,0921 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$T_e = 65,1 \text{ dias} \sim 65 \text{ dias}$$

$$T_c = 7,42 \times P_{MC}^{0,5}$$

$$T_c = 7,42 \times 120^{0,5}$$

$$T_c = 7,42 \times 10,95$$

$$T_c = 81,2 \text{ dias} \sim 81 \text{ dias}$$

$$T_m = T_c / 3$$

$$T_m = 81 \text{ dias} / 3$$

$$T_m = 27 \text{ dias, considerar } 30 \text{ dias.}$$

$$T_t = T_e + T_c + T_m$$

$$T_t = 65 \text{ dias} + 81 \text{ dias} + 30 \text{ dias}$$

$$T_t = 176 \text{ dias}$$

$$N_c = V_d / (365 / (T_t + I) \times V_c)$$

$$N_c = 33,6 \text{ m}^3/\text{ano} / (365 \text{ dias/ano} / (176 \text{ dias} + 14 \text{ dias}) \times 6 \text{ m}^3/\text{composteira})$$

$$N_c = 33,6 \text{ m}^3/\text{ano} / (365 \text{ dias/ano} / (190 \text{ dias}) \times 6 \text{ m}^3/\text{composteira})$$

$$N_c = 33,6 \text{ m}^3/\text{ano} / 11,52 \text{ m}^3/\text{ano/composteira}$$

$$N_c = 2,91 \text{ composteiras}$$

$$N_c = 3 \text{ composteiras.}$$

O tempo total de uso da composteira será de 176 dias, sendo que cada composteira levará aproximadamente 65 dias para ser completamente preenchida com resíduo e substrato. O tempo de compostagem termofílica recomendado é de 81 dias. Após este período, inicia-se a fase de maturação de 30 dias, durante os quais devem ser feitos revolvimentos semanais do material em compostagem. Considerando um intervalo de 14 dias entre usos de cada composteira, serão necessários três composteiras para atender a granja.

Critérios para avaliação do dimensionamento de composteiras

Para avaliarmos se a unidade de compostagem foi dimensionada adequadamente, faz-se necessário verificar se a capacidade de tratamento de resíduos projetada para a unidade de compostagem é capaz de atender a geração anual de resíduos na granja, conforme descrito a seguir. A capacidade de tratamento de cada composteira indica qual o volume de resíduos e substrato que cada composteira que será instalada na unidade de compostagem da granja é capaz de tratar por ano.

$$C_c = 365 / (T_t + I) \times V_c \quad (\text{Equação 38})$$

Onde:

C_c : é a capacidade de tratamento por composteira instalada (m^3/ano).

T_t : é o tempo total de uso de cada composteira (dias).

I: é o intervalo entre usos da composteira.

V_c : é o volume útil da composteira (m^3).

A capacidade total instalada indica a capacidade total de tratamento de resíduos instalada na unidade de compostagem da granja. A relação entre a capacidade instalada e a demanda de compostagem indica se a unidade de compostagem tem capacidade para tratar todas as carcaças e restos de partições gerados anualmente na granja e estima a ociosidade das leiras.

$$C_t = C_c \times N_c \quad (\text{Equação 39})$$

Onde:

C_t : é a capacidade total de tratamento instalada (m^3/ano).

C_c : é a capacidade de tratamento por composteira.

N_c : é o número de composteiras.

$$R = C_t / V_d \times 100\% \quad (\text{Equação 40})$$

Onde:

R : é a relação da capacidade instalada em função da demanda de compostagem (%).

C_t : é a capacidade total de tratamento instalada (m^3/ano).

V_d : é o volume demandado por ano para a unidade de compostagem (m^3/ano).

Exemplo de cálculo

Recuperando-se as memórias de cálculos anteriores, vamos verificar se as três composteiras de $6 m^3$ cada, projetadas para serem utilizadas durante 176 dias com intervalo entre usos de 14 dias, têm capacidade de tratar os $33,6 m^3$ de resíduo e respectivo substrato gerados por ano na granja.

$$C_c = 365 / (T_t + I) \times V_c$$

$$C_c = 365 \text{ dias/ano} / (176 \text{ dias} + 14 \text{ dias}) \times 6 \text{ m}^3/\text{composteira}$$

$$C_c = 365 \text{ dias/ano} / 190 \text{ dias} \times 6 \text{ m}^3/\text{composteira}$$

$$C_c = 1,921 \text{ uso/ano} \times 6 \text{ m}^3/\text{composteira}$$

$$C_c = 11,5 \text{ m}^3/\text{ano/composteira}$$

$$C_t = C_c \times N_c$$

$$C_t = 11,5 \text{ m}^3/\text{ano/composteira} \times 3 \text{ composteiras}$$

$$C_t = 34,5 \text{ m}^3/\text{ano na unidade de compostagem}$$

$$R = C_t / V_d \times 100\%$$

$$R = 34,5 \text{ m}^3/\text{ano} / 33,6 \text{ m}^3/\text{ano} \times 100\%$$

$$R = 1,026 \times 100\%$$

$$R = 102,6\%$$

Pelo exemplo acima, conclui-se que a unidade de compostagem projetada tem capacidade instalada para tratar 102,6% da geração anual de resíduos estimada para a granja utilizada como exemplo. Considerando que o valor R calculado está entre a faixa sugerida de 100-110% (ver item Fontes de erro associadas ao método e critérios para tomada de decisão), a unidade de compostagem está projetada de acordo com a demanda de tratamento de carcaças de animais mortos estimada para a granja.

Fontes de erro associadas ao método e critérios para tomada de decisão

A precisão do dimensionamento das composteiras e unidades de compostagem de animais mortos para granjas de suínos e aves depende da qualidade dos dados utilizados nas diferentes etapas de cálculo, sejam estes referentes à mortalidade de animais na granja, à qualidade do resíduo e, principalmente, à qualidade do substrato utilizado no processo de compostagem. Neste sentido, a precisão poderá ser maior quando os dados médios providos neste documento forem substituídos por dados reais das granjas ou, ao menos, por estatísticas regionais obtidas pelos órgãos de extensão rural ou das agroindústrias e cooperativas integradoras de suínos e aves.

Além disto, a metodologia aqui descrita faz algumas suposições, ou seja, assume como verdadeiros alguns pontos-chave para o dimensionamento das unidades de compostagem, que necessitam ser destacadas para auxiliar na tomada de decisão pelo projetista e usuários deste documento. A primeira suposição é que a montagem e o manejo das leiras de compostagem serão realizados observando as recomendações técnicas detalhadas neste docu-

mento, principalmente com a mistura de resíduos e substrato na proporção correta, umidade da mistura mantida na faixa adequada e realização de revolvimentos durante a fase de maturação conforme recomendações técnicas. A não observância destes critérios pode aumentar consideravelmente o tempo de compostagem, reduzindo a capacidade de tratamento de resíduos na unidade de compostagem (subdimensionamento) ou a obtenção de um composto orgânico imaturo e parcialmente tratado, oferecendo riscos sanitários e ambientais. Desta maneira, o correto dimensionamento das unidades de compostagem não deve ser nunca dissociado do manejo apropriado do processo de compostagem.

Outra assunção da metodologia é que esta não considera a redução do volume da mistura de resíduos e substrato que ocorre naturalmente durante o processo de compostagem, especialmente durante a fase termofílica. A redução do volume depende principalmente da quantidade e tipo de substrato utilizado na mistura de compostagem, assim como do tempo de duração e eficiência da fase termofílica. Substratos com menor degradabilidade e uma fase termofílica mais curta resultam em menor redução de volume do material em compostagem. Tempos muito longos para enchimento das composteiras também contribuem no sentido do superdimensionamento da unidade de compostagem, visto que parte do material em compostagem vai perdendo volume à medida que esta é preenchida com novas adições de resíduo substrato. De maneira geral, espera-se uma perda de 20-30% do volume inicial do material durante o processo de compostagem. No entanto, perdas de até 50% do volume podem ser observadas se forem utilizados substratos de alta degradabilidade, além de tempos de enchimento das composteiras e tempos de compostagem muito longos. Esta redução de volume do material em compostagem tende a aumentar a ociosidade da unidade de compostagem.

A terceira e última assunção é que a estimativa da mortalidade de animais nas granjas trabalha com dados médios de mortalidade rotineira, não prevenindo a ocorrência de pequenos surtos de mortalidade na granja. Estes surtos, se de pequena intensidade e passageiros, não demandariam intervenção sanitária na granja nem um programa de descarte sanitário de animais mortos. Desta maneira, a ocorrência deste aumento temporário das taxas de mortalidade causaria um aumento na geração de resíduo na granja podendo comprometer a capacidade de tratamento na unidade de compostagem. Não

existem estatísticas confiáveis para se prever a frequência e intensidade destes surtos, mas desvios de até 20% (no caso, de aumento) em relação à taxa média de mortalidade da granja devem ser considerados para fins práticos e de segurança do dimensionamento das unidades de compostagem. Destacase, mais uma vez, que esta discussão não se aplica às mortalidades catastróficas devido à impossibilidade de prever este tipo de ocorrência.

É impossível incluir de maneira prática e objetiva todas estas assunções nos cálculos de dimensionamento das unidades de compostagem de animais mortos sem que sejam necessários dados reais coletados *in loco* nas granjas. O uso de valores médios para estas variáveis apenas aumentaria a quantidade de critérios subjetivos utilizados na metodologia, não necessariamente contribuindo com a melhoria da qualidade e precisão do dimensionamento. Sendo estes os fatores limitantes da metodologia de dimensionamento, resta alertar ao tomador de decisão que estes fatores devem ser ponderados com bom senso. Neste sentido, visto que a redução de volume do material em compostagem atua no sentido de superdimensionar as unidades de compostagem, e que o aumento no tempo de compostagem, em decorrência de falha no manejo ou fatores ambientais, e a possível ocorrência de surtos de mortalidade nos rebanhos, atuam no sentido de subdimensioná-las, é de bom senso considerar que estes fatores se cancelam ao menos parcialmente. Assim, sugere-se a adoção de uma estratégia conservadora para o dimensionamento das unidades de compostagem, tomando como inicialmente adequados valores R entre 100-110%. Esta faixa indica que a unidade de compostagem teria uma capacidade extra de até 10% para atender surtos de mortalidade temporários em relação à geração média anual de resíduos na granja (soma-tório do volume de animais mortos, restos de parição e substrato). Além disto, a unidade de compostagem teria capacidade para suportar falhas no manejo das composteiras ou restrições climáticas que alonguem o tempo de uso das composteiras. Esta faixa de segurança aqui sugerida pode posteriormente ser revista a critério do projetista, à medida que estes podem dispor de estimativas mais detalhadas quanto à ocorrência de surtos de mortalidade e se o processo de compostagem é conduzido corretamente nas granjas.

Armazenamento de substrato e do composto pronto

Embora estes não sejam itens obrigatórios, visto que o composto quando maturado pode ser prontamente removido da unidade de compostagem, há que se considerar que nem sempre as condições climáticas são favoráveis para aplicação do composto nas áreas agrícolas. Também as épocas de adubação das culturas agrícolas nem sempre coincidem com a disponibilidade de composto na granja. Assim, recomenda-se que seja prevista uma área na granja (um galpão ou área coberta por lona) para armazenamento temporário do composto, assim como para o substrato que será utilizado para compostagem. Isto evita que composto e substrato fiquem expostos às intempéries e percam qualidade. A capacidade destes espaços de armazenamento pode ser estimada em termos do volume de composto gerado por ano e volume demandado de substrato por ano, assim como em função do período de armazenamento desejado.

Armazenamento de substrato

Os substratos utilizados no processo de compostagem são normalmente adquiridos ou coletados em volumes fixos em intervalos regulares de tempo, conforme a demanda de substrato na unidade de compostagem. Neste caso, faz mais sentido calcular quanto tempo dura um carregamento de substrato em função do seu consumo na granja visando o planejamento de novas aquisições.

$$T_{cs} = V_{cs} / V_s \times 365 \quad (\text{Equação 41})$$

Onde:

T_{cs} : é o tempo que dura um carregamento de substrato em função do consumo na granja (dias).

V_{cs} : é o volume da carga de substrato (m^3).

V_s : é o volume de substrato utilizado por ano na granja (m^3 /ano) e 365 é o número de dias por ano.

Se o substrato for armazenado em uma pilha de formato aproximadamente cônico, é possível calcular o diâmetro e a área da base da pilha para um determinado volume e altura de pilha conforme equações a seguir. Estes cálculos são aproximações, visto que as pilhas normalmente têm formato irregular. De qualquer maneira, são informações úteis para auxiliar no planejamento do espaço necessário para armazenamento do substrato.

$$D_p = [(12 \times V_{CS}) / (\pi \times h_p)]^{0,5} \quad (\text{Equação 42})$$

$$A_p = (D_p^2 / 4) \times \pi \quad (\text{Equação 43})$$

Onde:

D_p: é o diâmetro da pilha de substrato (m).

VCS: é o volume da carga de substrato (m³).

π: é o número Pi (~ 3,141593).

hP: é a altura da pilha de substrato (m).

AP: é a área da base da pilha de substrato (m²).

Armazenamento do composto pronto

O composto orgânico será produzido em intervalos mais ou menos regulares, conforme a mortalidade de animais e a geração de resíduos na granja. Portanto, é possível estimar o volume e a área necessários para armazenamento do composto orgânico até que seja possível a sua aplicação em áreas agrícolas. O volume de armazenamento depende da frequência com que o composto é removido das composteiras, do intervalo entre aplicações nas áreas agrícolas, que representa o período total de armazenamento, e do volume de cada composteira. O volume necessário de armazenamento é calculado em duas etapas, a seguir:

$$F_R = 365 / [(365 / (T_t + I)) \times N_c] \quad (\text{Equação 44})$$

$$V_A = (P_A / F_R) \times V_C \quad (\text{Equação 45})$$

Onde:

F_R : é a frequência com que o composto é removido das composteiras (dias), 365 é o número de dias por ano.

T_t : é o tempo total de uso de cada composteira (dias).

I : é o intervalo entre usos da composteira (dias).

N_c : é o número de composteiras.

V_A : é o volume requerido de armazenamento do composto pronto (m^3).

P_A : é o período total de armazenamento (dias).

V_c : é o volume útil da composteira ($m^3/composteira$). O resultado da fração (PA / FR) deve ser arredondado para o número inteiro imediatamente superior.

Se a pilha de armazenamento do composto tiver formato aproximadamente cônico, é possível calcular o diâmetro e a área da base da pilha para um determinado volume e altura de pilha, conforme Equações 41 e 42. Estes cálculos são aproximações, visto que as pilhas normalmente têm formato irregular. De qualquer maneira, são informações úteis para auxiliar no planejamento do espaço necessário para armazenamento do composto.

Exemplo de cálculo

Recuperando os exemplos anteriores, vamos calcular em quanto tempo é consumida uma carga de $50 m^3$ de substrato (aproximadamente, o volume transportado em um caminhão truck) e a demanda de armazenamento do composto pronto, considerando que o composto é aplicado duas vezes por ano (~ 180 dias) nas áreas agrícolas da granja. As pilhas de armazenamento de substrato e composto terão formato cônico com 4 e 2 metros de altura, respectivamente.

$$T_{cs} = V_{cs} / V_s \times 365$$

$$T_{cs} = 50 m^3 / 33,6 m^3/ano \times 365 \text{ dias/ano}$$

$$T_{cs} = 1,488 \text{ ano} \times 365 \text{ dias/ano}$$

$$T_{cs} = 543 \text{ dias é o tempo que dura a carga de substrato}$$

$$D_p = [(12 \times V_{cs}) / (\pi \times hP)]^{0,5}$$

$$D_p = [(12 \times 50 \text{ m}^3) / (3,141593 \times 4 \text{ m})]^{0,5}$$

$$D_p = [600 \text{ m}^3 / (12,566 \text{ m})]^{0,5}$$

$$D_p = (47,75 \text{ m}^2)^{0,5}$$

$D_p = 6,91 \text{ m}$ é o diâmetro da pilha de substrato

$$AP = (D_p^2 / 4) \times \pi$$

$$A_p = (6,912 / 4) \times 3,141593$$

$$A_p = (47,75 \text{ m}^2 / 4) \times 3,141593$$

$$A_p = 11,94 \text{ m}^2 \times 3,141593$$

$A_p = 37,50 \text{ m}^2$ é a área da pilha de substrato

$$F_R = 365 / [365 / (T_t + l) \times N_c]$$

$$F_R = 365 \text{ dias/ano} / [365 \text{ dias/ano} / (176 \text{ dias} + 14 \text{ dias}) \times 3 \text{ composteiras}]$$

$$F_R = 365 \text{ dias/ano} / (365 \text{ dias/ano} / 190 \text{ dias} \times 3 \text{ composteiras})$$

$$F_R = 365 \text{ dias/ano} / (1,921 \text{ remoção/composteira/ano} \times 3 \text{ composteiras})$$

$$F_R = 365 \text{ dias/ano} / 5,763 \text{ remoções/ano nas composteiras}$$

$F_R = 63,3 \sim 63 \text{ dias}$ é o intervalo de remoções de composto das composteiras

$$V_A = (P_A / F_R) \times V_C$$

$$V_A = (180 \text{ dias} / 63 \text{ dias}) \times 3 \text{ m}^3/\text{composteira}$$

$$V_A = (2,86 \text{ composteiras}) \times 3 \text{ m}^3/\text{composteira}$$

$$V_A = 3 \text{ composteiras} \times 3 \text{ m}^3/\text{composteira}$$

$V_A = 9 \text{ m}^3$ é o volume máximo necessário para armazenamento de composto por 180 dias.

$$D_p = [(12 \times V_A) / (\pi \times h_p)]^{0,5}$$

$$D_p = [(12 \times 9 \text{ m}^3) / (3,141593 \times 2 \text{ m})]^{0,5}$$

$$D_p = [(108 \text{ m}^3) / (6,283 \text{ m})]^{0,5}$$

$$D_p = (17,19 \text{ m}^2)^{0,5}$$

$D_p = 4,15 \text{ m}$ é o diâmetro máximo da pilha de composto armazenada por 180 dias.

$$A_p = (D_p^2 / 4) \times \pi$$

$$A_p = (4,152 / 4) \times 3,141593$$

$$A_p = (17,22 \text{ m}^2 / 4) \times 3,141593$$

$$A_p = 4,31 \text{ m}^2 \times 3,141593$$

$A_p = 13,54 \text{ m}^2$ é a área máxima da pilha de composto armazenada por 180 dias.

Compostagem acelerada

A compostagem acelerada consiste no uso de equipamento, normalmente um cilindro rotativo com ventilação forçada e isolamento térmico (Figura 2), que promove o revolvimento do material em compostagem em intervalos regulares de tempo durante toda a fase termofílica do processo. A aeração constante do material acelera significativamente a degradação dos resíduos e reduz o tempo da fase termofílica do processo em relação à técnica tradicional. A compostagem acelerada requer a trituração das carcaças em fragmentos preferencialmente menores que 3 cm, para fins de se aumentar a taxa de decomposição dos resíduos, otimizando assim o processo e a capacidade de tratamento do reator de compostagem (cilindro rotativo). Os reatores de compostagem acelerada de animais mortos e resíduos de parição são manejados, na maioria das vezes, em sistema de alimentação semicontínua. Isto evita a necessidade de armazenamento temporário dos resíduos pré-tratamento, o que seria requerido se os reatores operassem em regime de batelada. No sistema de alimentação semicontínua, os resíduos e o substrato são adicionados numa das extremidades do cilindro à medida que são gerados na granja. O material recém-adicionado ao cilindro é mais denso e expulsa volume equivalente de material parcialmente compostado na outra extremidade. No entanto, o tempo de retenção do material em compostagem deve ser dimensionado de modo a garantir que os tecidos moles das carcaças de animais e restos de parição sejam totalmente decompostos no interior do reator. Após esta fase inicial, a maturação do composto é realizada fora do reator, requerendo na unidade de compostagem uma área destinada exclusivamente para esta etapa.



Foto: Gustavo J.M.M. de Lima

Figura 2. Equipamento de compostagem acelerada do tipo cilindro rotativo.

Volume útil e tempo de retenção do cilindro de compostagem

Visto que este tipo de equipamento é fabricado em tamanhos pré-determinados, o volume total e volume útil do cilindro rotativo podem ser consultados diretamente com o fabricante. O volume útil do equipamento varia normalmente entre 50-70% do seu volume total, a fim de permitir a aeração e homogeneização do material em compostagem. Se o volume útil não for informado, este pode ser calculado conforme a equação descrita a seguir.

$$V_c = (D_c^2 / 4) \times \pi \times C_c \times P_c \quad (\text{Equação 46})$$

Onde:

V_c : é o volume útil do cilindro (m^3)

D_c : é o diâmetro do cilindro (m)

π : é o número Pi ($\sim 3,141593$)

C_c : é o comprimento do cilindro (m)

P_c : é a fração do volume total do cilindro efetivamente preenchida pelo material em compostagem quando em seu nível máximo (%).

O tempo de retenção do material em compostagem deve ser calculado em função da geração de resíduo na granja e volume útil do cilindro rotativo. O resíduo deve ser retido no interior do cilindro por tempo suficiente para garantir a completa decomposição dos tecidos moles das carcaças de animais e dos restos de parição. Resultados experimentais da Embrapa Suínos e Aves indicam que o tempo de retenção recomendado (TR_{CR}) para carcaças de suínos e aves é de 10-14 dias.

$$TR_{CP} = V_c / (V_D / 365) \quad (\text{Equação 47})$$

Onde:

TR_{CP} : é o tempo de retenção do material em compostagem no cilindro (dias),

V_c : é o volume útil do cilindro (m^3)

V_D : é o volume anual demandado na unidade de compostagem (m^3/ano).

Capacidade de tratamento do cilindro de compostagem

A capacidade de tratamento do cilindro de compostagem indica qual o volume de resíduos e substrato que um determinado cilindro de compostagem acelerada é capaz de tratar por ano.

$$C_c = V_c \times (365 / TR_{CR}) \quad (\text{Equação 48})$$

Onde:

C_c : é a capacidade de tratamento do cilindro de compostagem (m^3/ano)

V_c : é o volume útil do cilindro (m^3)

365: é o número de dias por ano

TR_{CR} : é o tempo de retenção recomendado para o material em compostagem no interior do cilindro (dias).

Também é possível verificar se o cilindro de compostagem é capaz de atender a demanda da granja pela razão entre a capacidade de tratamento do cilindro de compostagem e o volume anual demandado para tratamento de resíduos de animais mortos e dos restos de parição gerados na granja, utilizando a equação 40. Diferentemente dos sistemas de compostagem tradicional, não há por que se considerar redução de volume do material em

compostagem no interior do cilindro, pois este opera em sistema de alimentação semicontínua. Neste sistema, após o preenchimento do volume útil do cilindro com as primeiras adições de resíduos, o volume de material (resíduo e substrato) adicionado numa das extremidades do cilindro expulsa, por ser mais denso, o mesmo volume de material parcialmente compostado na outra extremidade. Assim, a menos que o equipamento tenha grande ociosidade na granja, com tempos de retenção muito longos, o cilindro opera sempre com seu volume útil totalmente preenchido e a redução de volume do material de compostagem pode ser desprezada. Considera-se como adequados valores R entre 105-120% para equipamentos de compostagem acelerada, indicando que o equipamento tem capacidade de atender a geração anual de resíduo na granja (somatório do volume de animais mortos, restos de parição e substrato) e que há 5-20% de capacidade extra para atender pequenos surtos de mortalidade na granja, sem comprometer a observância do tempo de retenção mínimo recomendado.

Exemplo de cálculo

Retomando os exemplos de cálculos “Sistemas de produção em lotes” (página 14) e Caracterização do resíduo a ser compostado (página 24) e da Massa e volume de substrato necessária (página 27)”, que apontam que a mortalidade de animais em uma granja de terminação com 1.000 suínos alojados gera um volume anual de 33,6 m³/ano de material (resíduo e substrato) para serem tratados por ano, vamos verificar os parâmetros de dimensionamento de um equipamento de compostagem acelerada do tipo cilindro rotativo com 1,7 m de diâmetro, 5,3 m de comprimento, volume útil de 60% em relação ao volume total e tempo de retenção recomendado de 14 dias. Equipamentos de compostagem acelerada com estas dimensões já são encontrados no mercado brasileiro.

$$V_c = (D_c^2 / 4) \times \pi \times C_c \times P_c$$

$$V_c = (1,7^2 / 4) \times 3,141593 \times 5,3 \text{ m} \times (60/100)$$

$$V_c = 2,27 \text{ m}^2 \times 5,3 \text{ m} \times 60/100$$

$$V_c = 12,03 \text{ m}^3 \times 60/100$$

$$V_c = 7,2 \text{ m}^3 \text{ de volume útil}$$

$$\mathbf{TR_{CP} = V_c / (V_d / 365)}$$

$$TR_{CP} = 7,2 \text{ m}^3 / (33,6 \text{ m}^3/\text{ano} / 365 \text{ dias/ano})$$

$$TR_{CP} = 7,2 \text{ m}^3 / 0,0921 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$TR_{CP} = 78,2 \text{ dias} \sim 78 \text{ dias.}$$

$$\mathbf{C_c = V_c \times (365 / TR_{CR})}$$

$$C_c = 7,2 \text{ m}^3 \times (365 \text{ dias/ano} / 14 \text{ dias/ciclo})$$

$$C_c = 7,2 \text{ m}^3 \times 26,07 \text{ ciclos/ano}$$

$$C_c = 187,7 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$\mathbf{R = C_t / V_d \times 100\%}$$

$$R = 187,7 \text{ m}^3/\text{ano} / 33,6 \text{ m}^3/\text{ano} \times 100\%$$

$$R = 5,586 \times 100\%$$

$$R = 558,6\%$$

Verifica-se que o tempo de retenção projetado de 78 dias para um equipamento de compostagem acelerada com tais dimensões em função da geração de resíduo na granja é excessivo, sendo aproximadamente 5,6 vezes superior ao tempo de retenção recomendado para compostagem acelerada. A relação entre a capacidade do equipamento e demanda de tratamento de resíduos na granja utilizada neste exemplo foi de 558,6%, o que indica que tal equipamento teria grande ociosidade na granja considerada neste exemplo.

Visto que os equipamentos de compostagem acelerada são projetados em tamanhos pré-determinados pelos fabricantes, não faz sentido redimensionar o equipamento para atender exatamente a demanda de tratamento de cada granja. Pode-se, no entanto, calcular qual a faixa de tamanho de equipamento que seria indicada para atender a demanda de tratamento de resíduos na granja, considerando uma faixa de valor R de 105-120%, para fins de busca no mercado.

$$TR_{CR} = V_C / (V_D / 365)$$

$$14 \text{ dias} = V_C / (33,6 \text{ m}^3/\text{ano} / 365 \text{ dias/ano})$$

$$14 \text{ dias} = V_C / 0,0921 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$V_C = 14 \text{ dias} \times 0,0921 \text{ m}^3/\text{dia}$$

$$V_C = 1,29 \text{ m}^3$$

Mínimo: $V_C = 1,29 \text{ m}^3 \times 105/100 = 1,35 \text{ m}^3$ de volume útil

Máximo: $V_C = 1,29 \text{ m}^3 \times 120/100 = 1,55 \text{ m}^3$ de volume útil

Observa-se que, se há a decisão de se investir em um equipamento de compostagem acelerada para tratamento dos resíduos gerados na granja utilizada neste exemplo (1.000 suínos alojados em terminação), deve-se buscar no mercado equipamentos com volume útil variando entre 1,35 e 1,55 m³, aproximadamente.

Outra análise possível é estimar para que tamanho de granja se poderia recomendar o uso de um determinado equipamento de compostagem acelerada disponível no mercado. Neste caso, tomando o equipamento com 7,2 m³ de volume útil e tempo de retenção recomendado de 14 dias utilizados no exemplo anterior, também tomando como base que a geração de resíduos da granja para a qual se vai recomendar o equipamento é proporcional à granja de 1.000 suínos em terminação utilizada nos exemplos anteriores, e considerando uma faixa de valor R de 105-120%, tem-se que:

$$N = 187,7 \text{ m}^3/\text{ano} \times 1.000 \text{ suínos} / 33,6 \text{ m}^3/\text{ano}$$

$$N = 5.586,3 \sim 5.586 \text{ suínos em terminação por lote}$$

Menor: $N = 5.586 \text{ suínos} / 120/100 = 4.655 \text{ suínos em terminação por lote}$

Maior: $N = 5.586 \text{ suínos} / 105/100 = 5.320 \text{ suínos em terminação por lote}$

Pelo exemplo, e observando-se os condicionantes já detalhados acima, verifica-se que este equipamento, com volume útil de 7,2 m³, teria capacidade de atender a geração de granjas de terminação com tamanho variando entre 4.655-5.320 suínos alojados por lote.

Coleta e maturação do material após compostagem acelerada

A fase de maturação do composto inicia após a fase termofílica, que ocorre de maneira acelerada no reator do tipo cilindro rotativo. O tempo de maturação recomendado é de, no mínimo, 30 dias, sendo apropriados períodos na faixa de 30-60 dias. Apesar de o regime de operação dos cilindros de compostagem acelerada ser semicontínuo, recomenda-se que a fase de maturação ocorra em batelada, a fim de que todo o composto gerado na batelada tenha o tempo mínimo de maturação. Assim, o tempo de maturação somente passa a ser computado quando se coleta o volume de material parcialmente compostado suficiente para completar uma batelada a ser maturada. Para tanto, é necessário projetar um espaço para a coleta do material parcialmente compostado que é expulso ou removido do cilindro de compostagem. Posteriormente, este material é movido para uma área destinada à maturação da batelada de composto, que pode ser adjacente à área de coleta do material que sai do cilindro de compostagem acelerada.

A área de coleta do material parcialmente compostado deve ser preferencialmente igual ao tempo determinado para a fase de maturação (30-60 dias). O volume necessário deste espaço deve ser projetado em função da geração de resíduo na granja (resíduo e substrato).

$$V_{PC} = V_D / 365 \times T_{PC} \quad (\text{Equação 48})$$

Onde:

VPC: é o volume de material parcialmente compostado gerado no período de coleta (m^3).

VD: é o volume de resíduo tratado por ano (m^3/ano).

365: é o número de dias por ano.

TPC: é o número de dias do período de coleta (dias).

Se o material parcialmente compostado for coletado formando uma pilha em formato cônico, é possível calcular o diâmetro e a área da base da pilha para um determinado volume e altura de pilha, conforme equações 42 e 43. A área de maturação do composto deve ocupar área igual e pode ser adjacente ao espaço destinado à coleta do material parcialmente compostado, com procedimentos de cálculo iguais aos descritos anteriormente. Destaca-se que estes cálculos são aproximações, visto que as pilhas normalmente têm

formato irregular. De qualquer maneira, são informações úteis para auxiliar no planejamento do espaço necessário para coleta do material parcialmente compostado. Destaca-se que na fase de maturação o material deve ser revolvido semanalmente. O tempo de maturação deve ser de 30-60 dias, sendo que após este período o composto está pronto para uso na agricultura.

Armazenamento de substrato e do composto pronto em compostagem acelerada

Embora estas não sejam obrigatórias, as áreas necessárias para armazenamento de substrato e composto pronto podem ser projetadas utilizando a mesma metodologia e considerações descritas no item Armazenamento de substrato e do composto pronto (página 45).

Exemplo de cálculo

Usando dados do exemplo de Capacidade de tratamento do cilindro de compostagem (página 51), pode-se dimensionar os locais de coleta e maturação do material parcialmente compostado e posterior armazenamento do composto pronto, considerando a mesma granja de 1.000 suínos em terminação que gera 33,6 m³/ano de resíduo e substrato para tratamento por compostagem acelerada. O tempo de coleta e de maturação será de 45 dias e o intervalo entre aplicações em áreas agrícolas será de 180 dias. As pilhas de coleta, maturação e armazenamento terão formato cônico com 2 m de altura.

$$V_{PC} = V_D / 365 \times T_{PC}$$

$$V_{PC} = 33,6 \text{ m}^3/\text{ano} / 365 \text{ dias/ano} \times 45 \text{ dias}$$

$$V_{PC} = 0,0921 \text{ m}^3/\text{dia} \times 45 \text{ dias}$$

$V_{PC} = 4,14 \text{ m}^3$ é o volume de pilha de coleta do material parcialmente compostado.

$$D_p = [(12 \times V_A) / (\pi \times h_p)]^{0,5}$$

$$D_p = [(12 \times 4,14 \text{ m}^3) / (3,141593 \times 2 \text{ m})]^{0,5}$$

$$D_p = [(49,74 \text{ m}^3) / (6,283 \text{ m})]^{0,5}$$

$$D_p = (7,91 \text{ m}^2)^{0,5}$$

$D_p = 2,81 \text{ m}$ é o diâmetro da pilha de coleta do material parcialmente compostado.

$$A_p = (DP^2 / 4) \times \pi$$

$$A_p = (2,812 / 4) \times 3,141593$$

$$A_p = (7,90 \text{ m}^2 / 4) \times 3,141593$$

$$A_p = 1,97 \text{ m}^2 \times 3,141593$$

AP = 6,19 m² é a área da pilha de coleta do material parcialmente compostado.

O volume, o diâmetro e a área da pilha no local de maturação de composto devem ser iguais aos do local de coleta do material parcialmente compostado.

$$V_A = (P_A / F_B) \times V_{BC}$$

$$V_A = (180 \text{ dias} / 45 \text{ dias}) \times 4,14 \text{ m}^3$$

$$V_A = 4 \text{ bateladas} \times 4,14 \text{ m}^3$$

V_A = 16,56 m³ é o volume máximo da pilha de composto pronto armazenada por 180 dias.

$$D_p = [(12 \times V_A) / (\pi \times h_p)]^{0,5}$$

$$D_p = [(12 \times 16,56 \text{ m}^3) / (3,141593 \times 2 \text{ m})]^{0,5}$$

$$D_p = [(198,72 \text{ m}^3) / (6,283 \text{ m})]^{0,5}$$

$$D_p = (31,63 \text{ m}^2)^{0,5}$$

D_p = 5,62 m é o diâmetro máximo da pilha de composto pronto armazenada por 180 dias.

$$A_p = (D_p^2 / 4) \times \pi$$

$$A_p = (5,622 / 4) \times 3,141593$$

$$A_p = (31,58 \text{ m}^2 / 4) \times 3,141593$$

$$A_p = 7,90 \text{ m}^2 \times 3,141593$$

A_p = 24,82 m² é a área máxima da pilha de composto pronto armazenada por 180 dias.

Localização, montagem e manejo das unidades de compostagem

Localização da unidade de compostagem

Naquelas propriedades que possuem cerca de isolamento, a unidade de compostagem pode ser situada junto à mesma, permitindo, sempre que possível, a recepção das carcaças pela área interna e a remoção do composto pela área externa da cerca. Nas propriedades sem cerca de isolamento, a unidade de compostagem deve estar situada em local que minimize a circulação dos veículos utilizados para transporte dos animais mortos, do substrato e do composto orgânico por áreas utilizadas para o manejo rotineiro da produção animal. Recomenda-se que sejam construídas de forma a facilitar a descarga das carcaças e outros insumos necessários e o recolhimento do resíduo tratado. O local deve ser sombreado e contar com iluminação adequada. Além disto, deve ser fechado e inacessível para animais de qualquer espécie, com tela nas aberturas a fim de evitar a entrada de pássaros e insetos. Conforme critério do Serviço Veterinário e/ou Ambiental Oficial, outras estruturas podem ser solicitadas.

Remoção das carcaças do local de criação e recepção na unidade de compostagem

A remoção dos animais mortos e resíduos de parição do local de criação deve ser realizada assim que for identificada a morte dos animais, de forma a minimizar os riscos sanitários ao rebanho e ao trabalhador rural. Os equipamentos utilizados para a remoção das carcaças do local de criação (carrinhos, cestos, etc.) deve ser de uso exclusivo para esta finalidade, sendo higienizados e desinfetados logo após o uso. É importante o registro da mortalidade rotineira na propriedade em planilha específica a fim de controle e comprovação junto aos órgãos fiscalizadores.

Na eventual necessidade de armazenamento das carcaças até que se acumule a quantidade de material necessária para otimizar o processo de tratamento pelo aumento de escala, os animais mortos deverão ficar retidos em

uma área de armazenamento pré-definida por no máximo 24 horas. Este local deve possuir capacidade suficiente para comportar a mortalidade de animais neste período e ser de uso exclusivo para esta finalidade. O armazenamento das carcaças por tempo superior a 24 horas deverá ser realizado obrigatoriamente em câmara fria reservada exclusivamente para esta finalidade. A existência e localização desta área e/ou câmara fria para armazenamento temporário das carcaças deve ser informada e licenciada pelo Serviço Veterinário e/ou Ambiental Oficial. As áreas ou câmaras de armazenamento devem ser higienizadas e desinfetadas periodicamente ou conforme necessidade.

O transporte das carcaças de animais mortos até o ponto de armazenamento e deste até a unidade de tratamento deve ser feito por funcionários da propriedade, com veículo adaptado e de uso exclusivo para este fim. Não se admite, em hipótese alguma, o uso deste veículo para transporte de ração, insumos alimentares e animais vivos. O veículo e recipiente utilizados para o transporte dos animais mortos deve ser imediatamente higienizado e desinfetado após o uso em local apropriado.

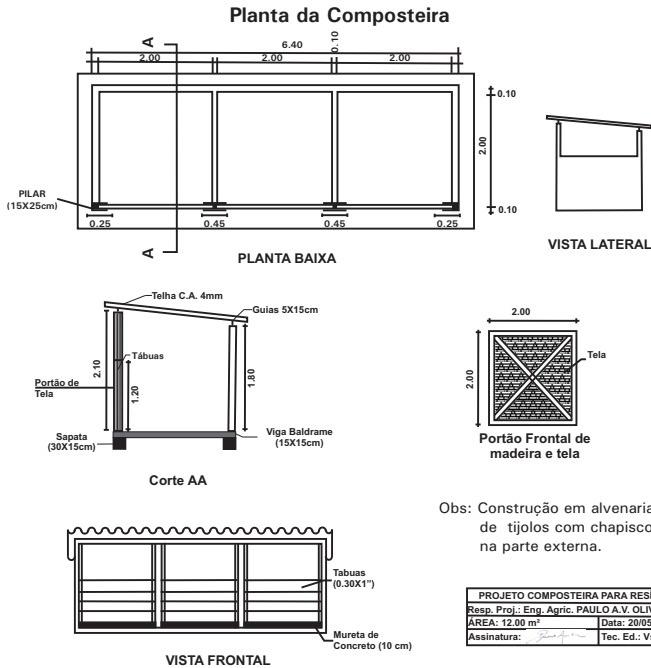
Quando recebidos na unidade de compostagem, os resíduos devem ser imediatamente processados. Evita-se, desta maneira, a atração de insetos e animais detritívoros, além da geração de maus odores. O local deve ser higienizado e desinfetado logo após o processamento das carcaças, evitando-se o acúmulo de resíduos. Também, os efluentes da higienização das unidades de compostagem devem ter destinação adequada, considerando questões de ordem sanitária e ambiental. Além disso, recomenda-se a limpeza rotineira das composteiras nos intervalos entre usos ou quando da remoção do composto.

Unidades de compostagem tradicional

Aspectos construtivos das composteiras do tipo célula

As composteiras do tipo célula (Figura 3) são normalmente construídas no formato de paralelepípedo reto em alvenaria ou concreto. Formatos (cilíndricos) e materiais (tijolos furados, madeira, tela de arame, etc.) alternativos são possíveis de serem utilizados. O piso é impermeável (concreto), podendo ser

prevista a construção de calha e fossa para coleta e posterior recalque do chorume. A célula de compostagem pode ser coberta com telhado de meia água. O pé direito deve prever uma altura livre de pelo menos 50 cm entre o nível máximo de composto contido na composteira e o telhado. A face frontal da composteira pode ser fechada com tábuas de madeira ou portão telado.



Fonte: Pedroso-De-Paiva (2001).

Figura 3. Composteira do tipo célula em alvenaria.

Montagem das composteiras do tipo célula

A montagem das composteiras do tipo tradicional inicia com a adição de uma camada de 15-20 cm de substrato na base de composteira. Esta camada tem por objetivo promover aeração da base da composteira e, principalmente, absorver o excesso de água e os fluídos gerados durante o processo de decomposição, evitando o escoamento de chorume para fora das composteiras. O substrato utilizado nesta camada pode ser reutilizado enquanto mantiver sua capacidade de absorver chorume, sendo posteriormente incorporada ao composto pronto para ser então substituída por novo substrato.

Sobre esta camada, passam a ser adicionadas as carcaças de animais mortos, restos de parição e substrato para compostagem. Os restos de parição e carcaças de animais pequenos, tais como frangos de corte, galinhas poedeiras e natimortos, podem ser colocados lado a lado, sem amontoamento, formando uma camada com uma separação de 10-15 entre as peças e 20-30 cm das extremidades da composteira. As carcaças de leitões, matrizes e reprodutores devem ser esquartejadas e as peças contendo massas musculares de maior volume cortadas em fragmentos menores (~ 10 cm de espessura). Leitões de até 30 quilos devem ter ao menos a cavidade abdominal aberta e as vísceras perfuradas. A esta massa de carcaças e restos de parição, deve ser adicionada massa proporcional de substrato, conforme cálculo demonstrado no item Cálculo de massa e volume de substrato necessária (página 27), preenchendo os espaços entre as peças e cobrindo as mesmas (Figura 4).

Foto: Acervo Embrapa



Foto: Acervo Embrapa



Foto: Valdir S. Avila



Foto: Valdir S. Avila



Figura 4. Montagem da célula de compostagem, detalhando a abertura do animal e disposição das partes.

Há também a opção de que as carcaças e restos de parição sejam triturados, a fim de se acelerar o processo de compostagem. Neste caso, a trituração deve ser grosseira e o resíduo misturado de maneira homogênea a uma massa proporcional de substrato. A trituração muito fina das carcaças e o uso de substratos de alta degradabilidade e baixa porosidade (mais densos) pode aumentar significativamente a atividade microbiana e a demanda de oxigênio para decomposição desta mistura, o que tende a inibir o processo de compostagem por deficiência de aeração. O material triturado também tende a compactar, formando camadas impermeáveis, o que também reduz a aeração da composteira. Por isto, o uso da trituração de carcaças para composteiras tradicionais deve ser avaliada com critério, pois requer um manejo mais cuidadoso do processo. Para fins práticos, o esquarteramento e a fragmentação das carcaças em pedaços menores é suficiente para uma compostagem eficiente pela técnica tradicional.

Após a colocação das carcaças e a quantidade correspondente de substrato na composteira, pode-se, caso necessário, adicionar água para correção inicial da umidade da mistura, conforme descrito no item 5.3.4 deste documento. Todo o resíduo recém-adicionado à leira deve ser coberto por uma camada de 10-15 cm de substrato seco. Esta camada evita a perda excessiva de umidade e calor para o ambiente, assim como absorve maus odores e evita a atração de insetos e animais detritívoros. O substrato utilizado para cobertura da composteira pode ser reaproveitado nas próximas adições de material. Não se deve compactar o material em compostagem, o que limita a aeração e inibe o processo. Para tanto, deve-se evitar caminhar ou apoiar objetos sobre a composteira. Os procedimentos descritos para a colocação de carcaças, restos de parição e substrato deve ser repetido até que se atinja a altura útil máxima da composteira (Figura 5). Neste momento, passa-se a computar o tempo de compostagem.

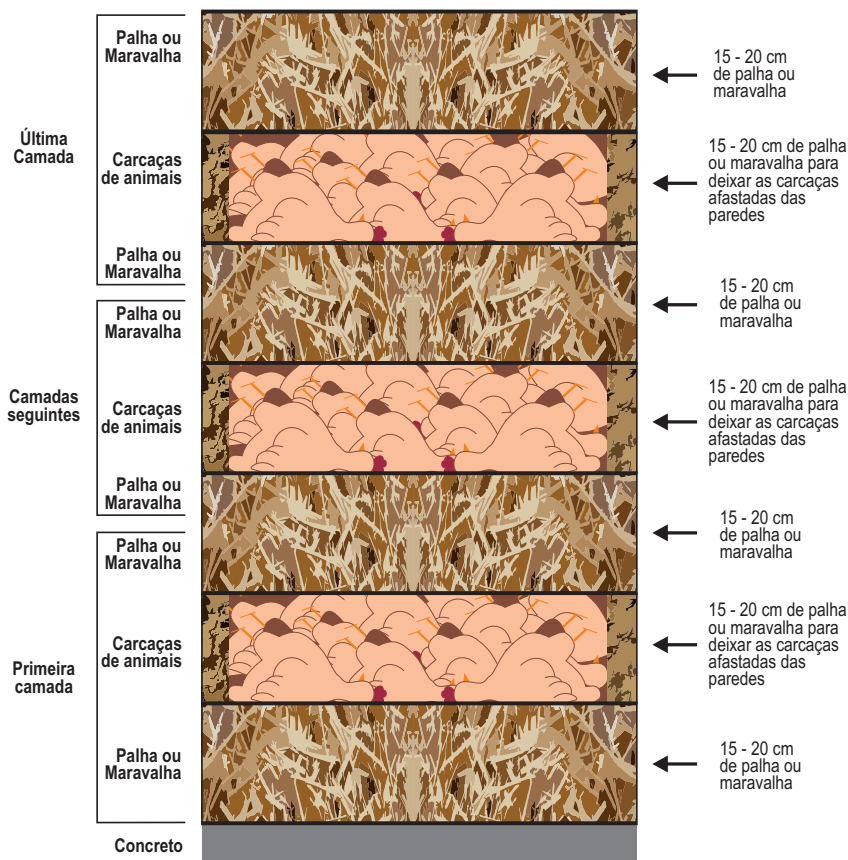


Ilustração: Marina Schmitt

Figura 5. Montagem de uma célula de compostagem para animais mortos e restos de parição.

Montagem das composteiras do tipo leira

As composteiras do tipo leira se diferenciam das células de compostagem por não estarem confinadas lateralmente por estruturas de contenção. As leiras têm formato transversal aproximadamente triangular, trapezoidal ou semicircular e são montadas em camadas no sentido vertical e também no sentido do seu comprimento. A compostagem de animais mortos em leiras é mais comum para grandes animais (bovinos, etc.) e em regiões mais áridas. Por isso não costumam ser cobertas ou montadas sobre piso impermeável. Desta

maneira, costuma-se recomendar o uso de uma camada de base de 30-60 cm de espessura, com a função de absorver o chorume e também a água da chuva. Quanto maior o tamanho do animal a ser compostado na leira, mais espessa será a camada base. Sobre esta base, são dispostas as camadas de carcaças de animais entremeadas de substrato. Este procedimento é similar ao descrito no item Montagem das composteiras do tipo célula (página 60) deste documento, porém a montagem das camadas sobrepostas também ocorre no sentido do comprimento da leira (Figura 6). Além disso, devido à exposição da composteira à chuva, recomenda-se que as carcaças sejam cobertas por uma camada mais espessa de substrato, também de 30-60 cm. Não se deve compactar o material em compostagem, o que limita a aeração e inibe o processo. Para tanto, deve-se evitar caminhar ou apoiar objetos sobre a composteira. Após a montagem completa da leira, com esta atingido o volume para qual foi planejada, passa-se a computar o tempo de compostagem.



Fonte: Bonhotal, et al. (2014).

Figura 6. Montagem de uma leira de compostagem para animais mortos e restos de partição.

Correção inicial da umidade da mistura de substrato e resíduo

A mistura de substrato e resíduos deve ser mantida na faixa ótima de 50-60% de umidade para o desenvolvimento dos microrganismos que atuam no processo de compostagem. Se a mistura estiver muito seca, o processo de compostagem se alonga demasiadamente, afetando a capacidade de tratamento da unidade de compostagem. No limite, o processo é totalmente inibido, as

carcaças de animais mortos e restos de parição desidratam e são mumificadas no interior da composteira. Em ambos os casos, o material resultante estará parcialmente decomposto, com reflexos negativos para posterior destinação. A quantidade de água a ser adicionada para correção da umidade da mistura de substrato e resíduos que será adicionada à composteira pode ser estimada com a equação a seguir.

$$H_2O_A = [U\%_D \times (M_R + M_S)] - [U\%_M \times (M_R + M_S)] \quad (\text{Equação 50})$$

Onde:

H_2O_A : é a massa de água a ser adicionada para se atingir a umidade desejada (kg ou L, considerando que a densidade da água é 1 kg/L).

$U\%_D$: é a umidade desejada para a mistura (%).

M_R e M_S : são a massa de resíduo e substrato, respectivamente, usados na mistura (kg/ano).

$U\%_M$: é o teor de umidade da mistura de resíduo e substrato (%), que pode ser calculada conforme descrito na Equação 24 (página 30) deste documento.

Exemplo de cálculo

Recuperando os dados dos exemplos de “Cálculo de massa e volume de substrato necessária (página 27) e Verificando necessidade de ajuste na formulação (página 29)”, onde a mistura de materiais para compostagem era feita na proporção de 1 kg de resíduo para cada 1,7 kg de substrato, o que resultava em um teor de umidade médio de 40%, pode-se então calcular a quantidade de água necessária para ajustar a umidade inicial da mistura para 60%.

$$H_2O_A = [U\%_D \times (M_R + M_S)] - [U\%_M \times (M_R + M_S)]$$

$$H_2O_A = [60 \text{ kg } H_2O / 100 \text{ kg mistura} \times (1 \text{ kg resíduo} + 1,7 \text{ kg substrato})] - [40 \text{ kg } H_2O / 100 \text{ kg mistura} \times (1 \text{ kg resíduo} + 1,7 \text{ kg substrato})]$$

$$H_2O_A = [60 \text{ kg } H_2O / 100 \text{ kg mistura} \times (2,7 \text{ kg mistura})] - [40 \text{ kg } H_2O / 100 \text{ kg mistura} \times (2,7 \text{ kg mistura})]$$

$$H_2O_A = 1,62 \text{ kg } H_2O - 1,08 \text{ kg } H_2O$$

$H_2O_A = 0,54 \text{ kg}$ $H_2O = 0,54 \text{ L}$ de água que devem ser adicionados para cada 2,7 kg da mistura.

Manejo das composteiras

Fase de compostagem termofílica

Após a montagem das composteiras estar completa e a composteira estiver cheia, passa-se a computar o tempo mínimo determinado para o processo de compostagem (fase termofílica). Nesta fase, não se faz qualquer revolvimento do material em compostagem. Isto evita a exposição de pessoas às carcaças e restos de parição em decomposição e também evita que este material fique exposto, emitindo maus odores e atraindo insetos e animais detritívoros. Recomenda-se, no entanto, que se faça o monitoramento da temperatura do material em compostagem no interior da célula ou leira. Este monitoramento pode indicar se a compostagem está ocorrendo ativamente ou se há limitações no processo.

O monitoramento deve ser semanal com a medição da temperatura em diferentes pontos e profundidades da composteira com o uso de um termômetro do tipo espeto. Alternativamente, pode-se utilizar um poço termométrico, que se constitui em um cano de ferro inserido permanentemente na leira, por onde se pode introduzir um termômetro para medição (Figura 7). Também pode-se fazer uma prospecção aproximada da temperatura da leira através de análise sensorial. Para tanto utiliza-se uma barra de ferro, introduzindo-a na leira por alguns minutos e removendo-a para inspeção. Quando a temperatura estiver acima de 50°C torna-se desconfortável tocar a barra por mais que alguns segundos. Recomenda-se o uso de EPI (equipamento de proteção individual) e a sanitização dos instrumentos utilizados no monitoramento da leira.



Foto: Lucas Scherer Cardoso

Figura 7. Monitoramento da temperatura do material em compostagem.

O indicador mais prático de que o processo de compostagem está ocorrendo satisfatoriamente é a elevação e manutenção da temperatura do material acima de 50°C até o final do período de compostagem termofílica. No entanto, a redução gradual da temperatura do composto ao final deste período é aceitável. A dificuldade em se elevar a temperatura do material em compostagem ou a queda brusca da temperatura nesta fase indicam que algum fator está limitando o processo.

Os problemas normalmente observados durante o processo de compostagem, seus sintomas, causas prováveis e possíveis soluções estão detalhados na Tabela 6. Destaca-se que os problemas mais comuns estão relacionados à umidade fora da faixa ótima ou aceitável, deficiência de aeração ou falhas na montagem da composteira. Quando identificado algum problema, pode ser necessário investigar as causas pela inspeção da composteira através de sondagem da leira ou pequenas escavações que podem permitir a identificação visual, por exemplo, de zonas de encharcamento, camadas compactadas e resíduos amontoados. Uma pequena amostra do material em compostagem pode ser removida, utilizando-se EPI e tomando-se as precauções adequadas, para inspeção mais detalhada do material.

A umidade do material em compostagem também pode ser estimada de maneira aproximada pelo aspecto visual e manipulação da amostra. Se muito seco, o material se esfarela facilmente quando manipulado. Se a umidade estiver elevada, ocorre escorrimento de líquido quando o material é comprimido. Quando na faixa de umidade apropriada, o material em compostagem forma uma massa relativamente coesa sem escorrimento de líquido ao ser comprimido, além de ter aspecto visual característico de um material úmido.

A umidade do material em compostagem pode ser determinada com precisão através da secagem da amostra em uma estufa ou mesmo em forno micro-ondas, se disponível, até peso constante. O teor de umidade ou matéria seca é calculado pela relação entre massa seca e massa úmida da amostra conforme Equações 15 e 16. Com base nesta inspeção e análise do material, pode-se tomar a decisão de se corrigir a umidade da composteira pela adição de água ou substrato, ou de se investigar outras causas para o problema.

A identificação de camadas compactadas também pode ser feita com a introdução de uma barra de ferro em diferentes pontos da composteira. Pontos de maior resistência indicam camadas compactadas. Em casos extremos, pode ser necessário desmontar e remontar novamente a composteira, observando-se as recomendações contidas neste documento.

Tabela 6. Problemas mais comuns observados durante o processo de compostagem de carcaças de animais e restos de partição.

| Sintoma do problema | Causa provável | Possível solução |
|--|--|--|
| Temperatura não se eleva ou a temperatura se eleva, mas cai bruscamente ou antes do esperado | Baixa umidade | Adicionar água |
| | Má aeração por excesso de umidade | Adicionar substrato seco |
| | Má aeração por compactação | Descompactar mecanicamente ou revolver e remontar a composteira |
| | Má aeração por falta de substrato | Densidade de carcaças muito alta, adicionar mais substrato |
| | Alta relação C/N | Reduzir a proporção de substrato |
| | Baixa degradabilidade do substrato | Substitua parcialmente a maravalha por serragem, palha de gramíneas ou outro substrato mais degradável |
| | Perda excessiva de temperatura para o ambiente, mesmo em períodos quentes | O volume da célula ou leira é muito pequeno (<1 m ³), aumentar o volume da leira |
| | Perda excessiva de temperatura para o ambiente, apenas em períodos de baixa temperatura ambiente | Aumentar a camada de substrato no topo e laterais da composteira |
| Maus odores | Má aeração por excesso de umidade | Adicionar substrato seco |
| | Má aeração por compactação | Descompactar mecanicamente ou revolver e remontar a composteira |
| | Má aeração por falta de substrato | Densidade de carcaças muito alta, adicionar mais substrato |
| Odor pútrido | Má aeração por excesso de umidade | Adicionar substrato seco |
| | Carcaças ou restos de partição expostos na composteira | Cobrir com substrato |
| Odor de amônia | Baixa relação C/N | Adicionar substrato |

| Sintoma do problema | Causa provável | Possível solução |
|---|--|---|
| Presença de moscas e outros insetos | Carcaças ou restos de parição expostos na composteira | Cobrir com substrato |
| | Resíduos de carcaças e restos de parição no entorno da composteira | Manter a composteira e a área no entorno limpas |
| | Problemas de temperatura | Ver possíveis causas e soluções nos itens anteriores |
| | Escorrimento de chorume | Se possível, desmontar a pilha e adicionar mais substrato na base. Utilizar calha e fossa para coleta do chorume. Emergencialmente, absorver o chorume com substrato, recolher e adicionar à composteira. |
| Presença de animais detritívoros | Carcaças ou restos de parição expostos na composteira | Cobrir com substrato |
| | Fechamento inadequado da face frontal da composteira | Fechar frestas e outros locais de passagem de animais |
| Resíduos parcialmente decompostos no composto final | Processo de compostagem incompleto ou inibido | Identificar soluções a partir de sintomas e causas prováveis descritas nos itens anteriores |
| Resíduos mumificados no composto final | Baixa umidade | Melhorar controle da umidade do composto com adição de água |

Fase de maturação do composto

Após concluída a fase termofílica do processo de compostagem, os tecidos moles e ossos mais frágeis das carcaças devem estar totalmente decompostos e irreconhecíveis entre o material parcialmente compostado. No entanto, este material ainda não apresenta qualidade para ser utilizado na agricultura. O composto não maturado pode causar fitotoxicidade às plantas e sementes, pela presença de ácidos orgânicos e outras moléculas ainda não estabiliza-

das. Portanto, a fase de maturação é imprescindível para a estabilização e humificação do composto visando o seu uso como fertilizante.

Durante a fase de maturação, que dura entre 30-60 dias, o composto deve ser revolvido de 1 a 2 vezes por semana, para fins de aeração. A temperatura do composto pode se elevar ligeiramente logo após o revolvimento, mas há um decaimento consistente da temperatura do composto durante esta fase. A elevação muito acentuada da temperatura nesta fase ($> 50^{\circ}\text{C}$) indicam que a fase termofílica foi incompleta. Não se faz qualquer correção de umidade durante a fase de maturação. O principal indicativo prático de que o composto está maturado é a não elevação da temperatura após os revolvimentos. O composto maturado tem coloração escura (Figura 8), deve apresentar teor de umidade menor que 50%, relação C/N menor que 20 e normalmente próxima a 10, pH acima de 6 e normalmente na faixa de 7-8, mais de 85% do N na forma orgânica e baixa toxicidade às plantas (teste de germinação $\geq 85\%$). Caso se identifique que parte do substrato não foi degradada durante o processo de compostagem (normalmente a camada de base ou aquela utilizada para cobertura da composteira), este material pode ser reaproveitado para a montagem de novas composteiras.

A instrução normativa 25/2009 do Mapa classifica o composto orgânico como “fertilizante orgânico misto e composto classe A” e estabelece padrões mínimos para fins de comercialização do fertilizante com registro e garantia de qualidade. O composto orgânico pode ser utilizado como fertilizante para a adubação de culturas agrícolas e florestais conforme recomendações técnicas específicas para a cultura, sendo vedado seu uso em pastagens, hortaliças ou frutíferas. Consulte um engenheiro agrônomo para obter recomendações de aplicação com base na concentração e disponibilidade de nutrientes no fertilizante, demanda de nutrientes da cultura a ser adubada, além de local, época e tecnologia de aplicação.



Figura 8. Aspecto do material durante compostagem (A) e do composto maturado (B).

Unidades de compostagem acelerada

Trituração das carcaças e operação do cilindro de compostagem

A compostagem acelerada requer a trituração das carcaças e restos de parição a fim de que se acelere a etapa termofílica do processo e esta se complete no tempo de retenção programado para o material tratado no interior do cilindro de compostagem. A tecnologia e tamanho de trituradores utilizados para esta finalidade variam conforme o tamanho e resistência dos ossos das carcaças dos animais. Os mais comuns são trituradores de faca e contra-faca de alta rotação, utilizado normalmente para carcaças de animais menores e mais frágeis, e os trituradores de eixos paralelos de baixa rotação, capazes de triturar carcaças maiores com ossos mais resistentes (Figura 9). Alguns equipamentos de compostagem acelerada podem ter o triturador acoplado diretamente ao cilindro de compostagem. Independente da tecnologia empregada, as carcaças devem ser trituradas em partículas preferencialmente menores que 3 cm. Após a adição das carcaças e restos de parição ao cilindro de compostagem, deve-se adicionar massa proporcional de substrato, conforme cálculo demonstrado no item sobre Massa e volume de substrato necessária. Neste momento, também se pode fazer a adição de água para correção da umidade da mistura. No interior do cilindro, a mistura recém-adicionada será homogeneizada e incorporada ao restante do material em compostagem.

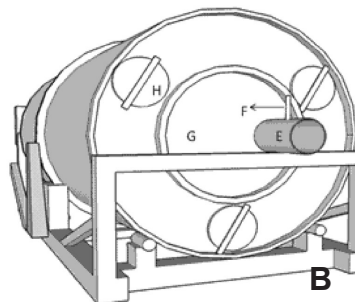
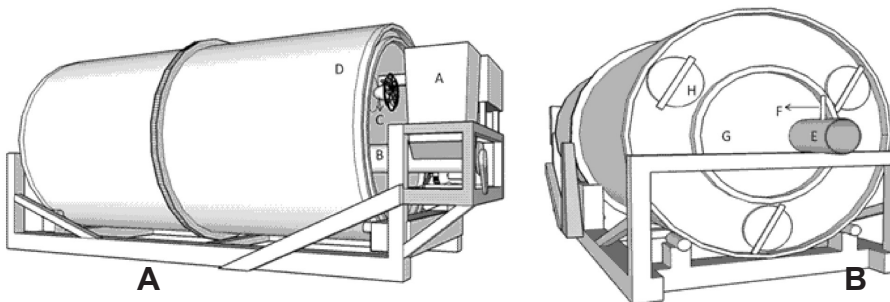
Foto: Rodrigo S. Nicoloso



Foto: Evandro C. Barros

Figura 9. Trituradores de carcaça de animais do tipo eixos paralelos de baixa rotação (A) e de faca e contra-faca de alta rotação (B).

Os cilindros de compostagem acelerada devem ter, obrigatoriamente, isolamento térmico, sistema de ventilação ou exaustão e controladores de rotação do cilindro (Figura 10). A rotação do cilindro é necessária para mistura e aeração do material em compostagem. No entanto, a rotação constante do cilindro promove perda de calor pela aeração excessiva, mesmo com o isolamento térmico. A perda de calor atrasa ou inibe o processo de compostagem. A aeração excessiva também promove o aumento da emissão de amônia pela volatilização forçada deste gás da massa de material em compostagem.



Fonte: Oliveira et al. (2018).

Figura 10. Cilindro de compostagem acelerada (A) com detalhe do sistema de ventilação (B).

Resultados experimentais da Embrapa Suínos e Aves indicam que períodos de 30 minutos em rotação (cilindro com volume total de 3,6 m³, volume útil de 50% e 2,3 m de diâmetro, operando a 0,16 rotação por minuto e fluxo de ar de 250 m³/h) com intervalos de 2-4 horas em repouso sem rotação, resultaram na manutenção da temperatura do material em compostagem dentro da faixa recomendada de 50-70°C durante todo o tempo de retenção recomendado de 10-14 dias, além de minimizar as perdas de nitrogênio por volatilização de amônia. Neste sentido, demonstrou-se que o uso de rotação intermitente garante a aeração necessária ao processo de compostagem e melhora a qualidade de composto orgânico, além de reduzir o consumo de energia do equipamento.

O sistema de ventilação pode atuar por pressão negativa ou positiva, contínua ou intermitente. A ventilação contínua não afeta a temperatura, mas promove maior perda de água do material em compostagem, podendo ser recomendada para auxiliar na secagem de misturas com alto teor de umidade. Se utilizada de maneira intermitente, o sistema de ventilação deve ser acionado sempre que o cilindro estiver em rotação, a fim de promover a aeração do material e a remoção de gases do interior do cilindro. Testes realizados na Embrapa Suínos e Aves com sistemas de ventilação tanto positiva como negativa indicaram que taxas de 1,7 até 2,3 renovações de ar por minuto no interior do cilindro mostraram-se suficientes para garantir boa aeração em cilindros de compostagem acelerada.

Recomenda-se que os gases de exaustão do cilindro sejam tratados usando tecnologia adequada, visto que contêm concentrações elevadas de amônia, e sejam direcionadas para áreas abertas e bem ventiladas. O monitoramento da temperatura e umidade necessita ser mais frequente no sistema de compostagem acelerada, visando a rápida identificação e intervenção para solução de problemas. Recomenda-se o monitoramento da temperatura e umidade, com as necessárias adaptações dos procedimentos descritos anteriormente neste documento, a cada 3-4 dias ou com maior frequência caso o uso do equipamento for intenso. Muitas das recomendações constantes na Tabela 6 também são válidas para a técnica da compostagem acelerada.

Coleta e maturação do composto

À medida que são feitas novas adições de carcaças de animais e substrato ao cilindro de compostagem em sistema de alimentação semicontínua, ocorre a expulsão de volume equivalente de material parcialmente compostado que deve ser coletado e armazenado temporariamente até que a batelada formada seja encaminhada para a etapa de maturação. Pode-se fazer revolvimentos semanais do composto durante esta etapa de coleta a fim de se acelerar o processo de maturação. No entanto, é imprescindível que, após coletado o volume de material suficiente para compor a batelada, conforme dimensionamento, todo o material coletado seja submetido ao processo de maturação durante 30-60 dias em local apropriado. Isto garante que todo o material foi submetido ao tempo de maturação recomendado a fim de que o composto orgânico tenha qualidade homogênea para uso como fertilizante. Na fase de maturação, aplicam-se os mesmos procedimentos já descritos neste documento. O composto orgânico gerado pelo processo de compostagem acelerada tem as mesmas características e deve atender aos mesmos parâmetros de qualidade e classificação aplicado ao composto orgânico produzido através do método da compostagem tradicional. O composto orgânico maturado pode ser utilizado como fertilizante para a adubação de culturas agrícolas e florestais conforme recomendações técnicas específicas para a cultura, sendo vedado seu uso em pastagens, hortaliças ou frutíferas.

Agradecimentos

Este manual foi elaborado com base em resultados de pesquisa do projeto “TEC-DAM: Tecnologias para destinação de animais mortos”, liderado pela Embrapa Suínos e Aves. O manual também rebusca e atualiza uma série de publicações sobre compostagem de animais mortos elaboradas pela Embrapa Suínos e Aves nas últimas décadas. Estas publicações estão listadas nas referências bibliográficas deste documento. Os autores agradecem aos pesquisadores e fontes de financiamento responsáveis pela execução e custeio das pesquisas e publicações que serviram de referência para o presente manual.

Referências

ABREU, P. G. de; CESTONARO, T.; ABREU, V. M. N.; COLDEBELLA, A.; LOPES, L. dos S.; TOMAZELLI, I. L. **Modelos de composteira para compostagem de aves mortas**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2010. 8 p. (Embrapa Suínos e Aves. Circular Técnica, 57).

ABREU, P. G. de; PAIVA, D. P. de; ABREU, V. M. N.; COLDEBELLA, A. **Casca de arroz e palhada da soja como substrato para compostagem de carcaças de frangos de corte**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2009. 8 p. (Embrapa Suínos e Aves. Circular Técnica, 54).

BONHOTAL, J.; SCHWARZ, M.; RYNK, R. **Composting animal mortalities**. Ithaca, NY: Cornell University, Cornell Waste Management Institute, Department of Crop and Soil Sciences, 2014. Disponível em: <http://cwmi.css.cornell.edu/Composting_Animal_Mortalities.pdf> Acesso em: 11 Mar. 2019.

MORES, N.; CARON, L.; BORDIN, L. C. **Condições de biosseguridade no recolhimento de animais mortos de propriedades rurais e transporte até empresas processadoras**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2018. 28 p. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 193).

MUKHTAR, S.; KALBASI, A.; AHMED, A. Composting. In: NATIONAL AGRICULTURAL BIOSECURITY CENTER CONSORTIUM. **Carcass disposal: a comprehensive review**. Washington, DC: APHIS, 2004. 93 p. Disponível em: <<http://krex.k-state.edu/dspace/bitstream/handle/2097/662/Chapter3.pdf>> Acesso em: 11 Mar. 2019.

NICOLOSO, R. da S.; LIMA, G. J. M. M. de; KRABBE, E. L.; MORES, N.; OLIVEIRA, P. A. V. de; KUNZ, A.; DALLA COSTA, O. A.; CARON, L.; AVILA, V. S. de; BARROS, E. C.; OLIVEIRA, M. M. de. **Tecnologias para destinação de animais mortos na granja**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2017. 34 p. Cartilha.

OLIVEIRA, M. M.; COLDEBELLA, A.; BELLI FILHO, P.; OLIVEIRA, P. A. V. de. Aeration frequency on accelerated composting of animal carcasses. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 6, p. 653-665, 2018. DOI: 10.1590/1413-70542018426021818.

OLIVEIRA, P. A. V. de; ANGNES, G.; NICOLOSO, R. da S.; BELLAYER, C. Emissão de gases na compostagem, com aeração forçada, para o tratamento de resíduos de granja de galinhas poedeiras. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 41., 2012, Londrina. **A engenharia agrícola na evolução dos sistemas de produção: anais Londrina: Sbea, 2012.**

OLIVEIRA, P. A. V. de; NICOLOSO, R. da S.; ANGNES, G.; BELLAYER, C.; HIGARASHI, M. M. Greenhouse gas emissions in the treatment of laying hen farm residues by in-vessel composting with forced aeration. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON EMISSION OF GAS AND DUST FROM LIVESTOCK, 2012, Saint-Malo. **[Proceedings]**. Saint-Brieuc: INRA; Le Rheu: IFIP-Institut du Porc, 2013.

PEDROSO-DE-PAIVA, D. **Compostagem de carcaças e resíduos das criações na propriedade rural**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2006. 35 p. Cartilha.

PEDROSO-DE-PAIVA, D. **Compostagem de suínos mortos e restos de parição**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2001. 4 p. Folder

PEDROSO-DE-PAIVA, D. **Guia para operar uma compostagem de aves mortas**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. 5 p.

PEDROSO-DE-PAIVA, D.; BLEY JÚNIOR, C. **Emprego da compostagem para destinação final de suínos mortos e restos de parição**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2001. 12 p. (Embrapa Suínos e Aves. Circular técnica, 26).

ROZEBOOM, D. W.; FOGIEL, A. C.; LIU Z.; POWERS, W. J. Air emissions from in-vessel rotating drum and open static pile composting of swine carcasses, whole and ground. In: International Symposium on Managing Animal Mortality, Products, By Products and Associated Health Risk, 4., 2012, Dearborn. **Proceedings...** Dearborn: Cornell Waste Management Institute, University of Maine-Cooperative Extension, Michigan State University, 2012. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/8242/b8bb45a7d51b9b443ac55d58acc5db6df417.pdf?_ga=2.111232711.2109523110.1552325706-56155382.1552325706>. Acesso em: 11 Mar. 2019.

SEYMOUR, R. M.; DONAHUE, D.; BOURDON, M.; EVANS, J. R.; WENTWORTH, D. Intermittent aeration for in-vessel composting of crab processing waste. **Compost Science & Utilization**, v. 9, n. 2, p. 98-106, Jul. 2001.

SILVA, F. A. da; AVILA, V. S. de; NICOLOSO, R. da S.; BIANCO, A. M.; KRABBE, E. L. Compostagem como ferramenta para destinação de carcaças de aves. **Avicultura Industrial**, Itu, ed. 1254, ano 107, n. 04, p. 20-25, 2016.

USDA. Natural Resources Conservation Service Pennsylvania. **Animal mortality composting: design guide PA-4**. Pennsylvania, Fev. 2006. Adapted for Tim Murphy. Disponível em: <https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_017696.pdf>. Acesso em: 11 Mar. 2019.

Embrapa

Suínos e Aves



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO



PÁTRIA AMADA
BRASIL
GOVERNO FEDERAL