



# PHA3556 - Tecnologias de Tratamento de Resíduos Sólidos

**Aula 6:** Compostagem e Vermicompostagem da  
Matéria Orgânica

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

# Matéria Orgânica

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Definição:**
  - Material de origem animal ou vegetal.
- **Principais Fontes Geradoras de Resíduos Orgânicos:**
  - Fração orgânica dos resíduos domiciliares, comerciais e institucionais;
  - Resíduos de feiras livres e centrais de abastecimento;
  - Resíduos de jardinagem, poda, capina e varrição de áreas verdes;
  - Palha, cascas, serragem e resíduos de madeira;
  - Esterco e fezes da criação de animais;
  - Lodos de estações de tratamento de esgoto sanitários;
  - Resíduos de indústrias alimentícias ou de sucos naturais (resíduos orgânicos industriais não tóxicos e não contaminados);
  - etc..

# Geração de Resíduos Orgânicos

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Resíduos de Jardinagem, Poda e Capina:**
  - Composto normalmente por galhos aparados, folhas, aparas de grama, capina de vegetais indesejados, caules e folhas de plantas ornamentais substituídas, além de pequenas quantidades de solo, pedras, etc..
  - Difícil de se quantificar → pois depende da quantidade de áreas verdes públicas e privadas, das espécies existentes e de como elas são cuidadas.
  - Geração sazonal → varia de acordo com os meses do ano:
    - No verão quando as chuvas são mais intensas a capina e o corte de grama são mais frequentes.
    - No inverno algumas espécies perdem suas folhas.
    - No meses de maio a agosto são normalmente realizadas podas de árvores.

# Geração de Resíduos Orgânicos

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Lodos de ETEs:**

- A geração depende do porte e do tipo de sistema de tratamento empregado na ETE.
- Sistemas aeróbios de tratamento de esgotos geram muito mais lodo que sistemas anaeróbios.
- O lodo de sistemas anaeróbios já é parcialmente estabilizado.
- Lodos de sistemas aeróbios de aeração prolongada também são parcialmente estabilizados.
- Em alguns sistemas de tratamento de esgoto a geração de lodo e o descarte desse lodo é quase que contínuo, entretanto, em outros sistemas de menor geração de lodo, o descarte pode ser realizado em intervalos de tempo que podem ser superiores a um ou dois anos (Ex: lagoas de estabilização).

# Geração de Resíduos Orgânicos

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Resíduos Orgânicos Domiciliares:**
  - Composto normalmente por cascas, folhas de verduras, restos de alimentos cozidos ou estragados, cascas de ovos, papel sujo, etc..
  - Embora a geração deste resíduo apresente variações, estas são bem menores que as variações apresentadas pelos demais.

- No Brasil a fração orgânica putrescível representa, normalmente, de 40 a 60% em massa da composição dos resíduos sólidos urbanos.

Composição dos RSU de São Paulo-SP

MATERIAIS	2005	2006	2007	2008	2009
MATERIA ORGANICA	62,9	55,5	57,0	61,3	63,6
PAPEL,PAPELÃO E JORNAL	8,2	14,7	13,4	10,7	9,8
EMBALAGEM LONGA VIDA	1,3	1,1	1,2	1,1	1,0
EMBALAGEM PET	0,6	0,4	0,5	0,6	0,6
ISOPOR	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3
PLASTICO MOLE	9,8	6,4	10,3	5,0	6,5
PLASTICO DURO	4,5	8,2	5,0	6,8	6,7
METAIS FERROSOS	1,0	1,0	1,1	1,5	1,4
PILHAS E BATERIAS	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0
VIDROS	1,3	1,1	1,4	1,6	1,6
TERRA E PEDRA	1,2	3,7	2,1	1,8	1,8
MADEIRA	0,8	0,5	0,5	1,5	1,0
TRAPOS E PANOS	2,8	2,5	2,7	3,4	2,4
DIVERSOS	1,2	1,2	2,2	2,3	1,7
ALUMINIO	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4
BORRACHA	0,3	0,3	0,1	0,1	0,0
ESPUMA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PERDAS NO PROCESSO	3,4	2,7	2,0	1,7	1,2

Fonte:  
<http://www.fecomercio.com.br/arquivos/arquivo/Limpurb>

# Quantificação

- **Pesagem:**

- A quantificação dos resíduos deve ser feita por pesagem e não somente por volume.

## DIMENSÕES E CAPACIDADES

Para atendimento à frota rodoviária, dispomos das seguintes dimensões e capacidades de balanças:



10 m - 13 m

Dimensões	Capacidades	Divisão
4 m x 3 m	60.000 kg	10 kg
9 m x 3 m	34.000 kg	10 kg
11 m x 3 m	50.000 kg	10 kg



14 m - 18,15 m

Dimensões	Capacidades	Divisão
18 m x 3 m	60.000 kg	10 kg
19 m x 3 m	80.000 kg	10 kg
18 m x 3 m	100.000 kg	Dual Range 10/20 kg*

Fonte: <http://www.toledobrasilcom.br>

Modelos	Embutida		Semi-embutida		Sobrepiso	
	3 m	3,2 m	3 m	3,2 m	3 m	3,2 m
Comprimento	9 m	40 t x 5 kg		40 t x 5 kg	40 t x 5 kg	
	18 m	60 t x 10 kg		60 t x 10 kg	60 t x 10 kg	
	18 m	80 t x 10 kg		80 t x 10 kg	80 t x 10 kg	
	21 m		80 t x 10 kg		80 t x 10 kg	80 t x 10 kg
	21 m		100 t x 20 kg		100 t x 20 kg	100 t x 20 kg
	25 m		100 t x 20 kg		100 t x 20 kg	100 t x 20 kg
	25 m		120 t x 20 kg		120 t x 20 kg	120 t x 20 kg
	30 m		100 t x 20 kg		100 t x 20 kg	100 t x 20 kg
	30 m		120 t x 20 kg		120 t x 20 kg	120 t x 20 kg
	30 m		160 t x 20 kg		160 t x 20 kg	160 t x 20 kg

Projetos disponíveis
  Projetos sob consulta

Fonte: <http://www.filizola.com.br>

# Coleta e Transporte

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Veículos para Transporte:**

- Normalmente são utilizados caminhões comuns ou com caçamba para transporte de resíduos de jardinagem, poda e capina.
- Para lodos de ETEs são normalmente utilizados caminhões basculante, caminhões transportadores de caçamba ou até caminhão tanque, dependendo do teor de sólidos do lodo.
- Para os demais resíduos podem ser utilizados caminhões basculante ou caminhões compactadores da coleta regular de RSU.



# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Definição:**

- A Compostagem é um processo **aeróbio** e **controlado** da transformação de resíduos **orgânicos** em resíduos **estabilizados**, com propriedades e características completamente diferentes do material que lhe deu origem.
- Durante o processo, alguns componentes são utilizados pelos próprios microrganismos para formação de seus tecidos, outros são volatilizados e outros ainda são transformados biologicamente em uma substância escura, uniforme, com consistência pastosa, rica em partículas coloidais, com propriedades físicas, químicas e biológicas inteiramente diferente da matéria-prima original.
- A esta substância dá-se o nome de **composto humificado** ou simplesmente **húmus**.

# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Vantagens:**

- Promove a reciclagem da matéria orgânica e nutrientes;
- Usinas de reciclagem bem localizadas reduzem custos com transporte de resíduos sólidos.
- Se realizada em ambiente fechado (coberto) não há influência da chuva;
- Somente rejeitos vão para aterro sanitário ou incineração;
- Não polui a atmosfera e também não polui a água, se todos os cuidados necessários forem tomados;
- Exige mão de obra pouco especializada;
- Apresenta custos menores que os da incineração, tanto na implantação, quanto na operação da usina;
- O composto produzido é um bom **condicionador** de solo apresentando de 40 a 70% de matéria orgânica.

# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Desvantagens:**
  - Se mau operada pode gerar problemas com os vizinhos devido à geração de maus odores, atração e proliferação de insetos;
  - Desvalorização das áreas vizinhas;
  - Método de tratamento parcial dos resíduos sólidos, pois trata somente a matéria orgânica e não os demais componentes;
  - Nem sempre existe mercado para o composto;
  - Custos de transporte do composto;
  - O composto possui teores relativamente baixos de N, P, K e não pode ser considerado um adubo, mas somente um **condicionador de solo**;
  - Se o manejo dos líquidos não for realizado de forma adequada, pode haver contaminação das águas superficiais e subterrâneas com matéria orgânica e nutrientes.

# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Viabilidade:**

- Depende da aceitação e da existência de mercado para o composto.
- Depende das distâncias de transporte do composto.
- Por ser uma forma de tratamento de resíduos, legalmente (PNRS), tem prioridade em relação à disposição em aterro sanitário independente dos custos envolvidos.
- Se operada adequadamente, a usina de compostagem não se torna um passivo ambiental e não vai gerar custos pós desinstalação, ao contrário dos aterros sanitários, que no final de suas vidas úteis **sempre se tornam passivos ambientais** gerando despesas para os municípios (cuidados, monitoramentos, investigações, recuperação da área, etc.), que geralmente não são considerados.

# Compostagem

- **Conceitos:**

- As etapas da humificação:

- 1) Digestão por fermentação bioestabilizando a matéria orgânica de maneira incompleta (o material já pode ser utilizado).
- 2) Fermentação completa atingindo a humificação (maturação).

- A velocidade da decomposição:

- Depende da estrutura molecular de cada material, assim:

- Materiais ricos em carbono degradam mais lentamente (elevada relação C/N – Ex: serragens, palhas, resíduos de poda, folhas, etc.) devido às deficiências de nitrogênio, até que esta deficiência seja compensada.
- Materiais mais ricos em proteínas (nitrogênio) degradam mais rapidamente (baixa relação C/N – Ex: restos de comida, grana cortada, etc.) com a presença de O<sub>2</sub> atmosférico, liberando CO<sub>2</sub> e NH<sub>3</sub> que se volatiliza até que se estabeleçam níveis adequados para o desenvolvimento do processo.

# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Conceitos:**
- Microrganismos participantes:
  - Aeróbios
  - Facultativos
- Temperatura de atuação dos microrganismos:
  - 10 a 25 °C → **Psicrófilos** (Faixa de pouca importância para compostagem)
  - 20 a 45 °C → **Mesófilos**
  - 45 a 65 °C → **Termófilos**
- Processo:
  - Exotérmico: Libera energia na forma de calor.
  - Controle da temperatura: Importante para estabilidade do processo.

# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

## • Fatores Intervenientes no Processo:

### - Biológicos:

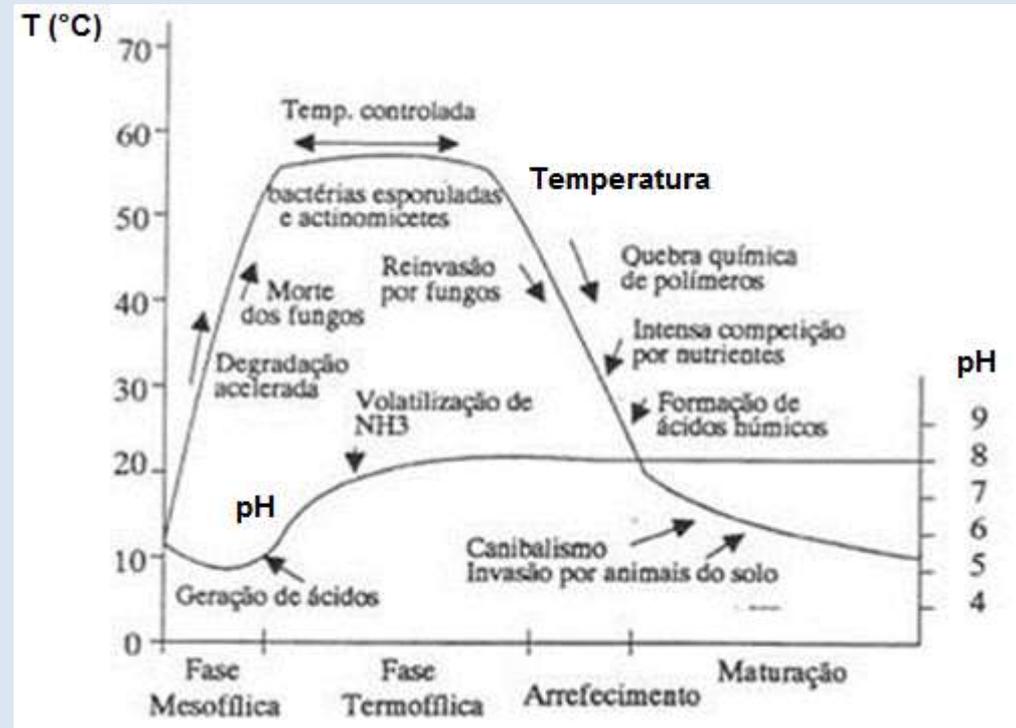
- Bactérias;
- Fungos;
- Actinomicetos.

### - Físicos:

- Umidade;
- Temperatura;
- Tamanho das partículas;
- Dimensão e formato das leiras.

### - Químicos:

- Oxigenação;
- Relação carbono/nitrogênio (C/N);
- pH.

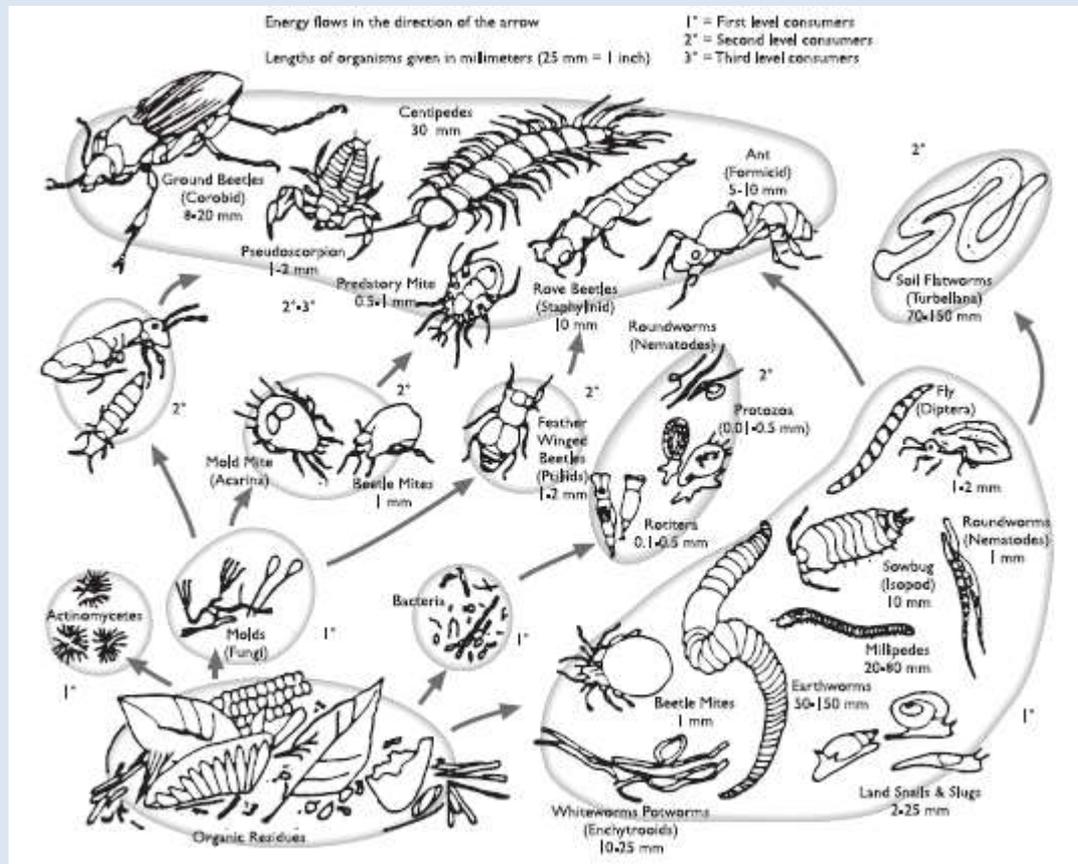


Fonte:

[http://compostagem.no.sapo.pt/Compostagem\\_1.htm#2.1.\\_Factores\\_qu\\_e\\_influenciam\\_o\\_processo\\_de\\_Compostagem](http://compostagem.no.sapo.pt/Compostagem_1.htm#2.1._Factores_qu_e_influenciam_o_processo_de_Compostagem)

# Compostagem

- Fatores Intervenientes no Processo:
- Biológicos:



# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fatores Intervenientes no Processo:**
  - Bactérias:
    - Desempenham seu principal papel na fase termófila;
    - Atuam na decomposição de açúcares, amido, proteínas e outros materiais ou substâncias de fácil digestão.
    - Tem como principal função a decomposição da matéria orgânica aumentando a disponibilidade de nitrogênio e outros nutrientes.
    - Também podem fixar o nitrogênio gasoso.

# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fatores Intervenientes no Processo:**

- Fungos:

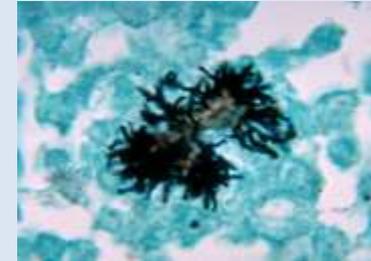
- São organismos filamentosos, cujos filamentos são maiores que as bactérias;
- São heterotróficos;
- Os fungos se desenvolvem em pH baixo (até pH = 2). Porém tem sido encontrados também em faixas altas de pH (até pH = 9).
- Predominam na acidez não por competição, mas por falta de concorrência (ausência de bactérias e actinomicetos);
- Os fungos tem como função a decomposição de resíduos animais e vegetais resistentes (Ex: ricos em celulose), formação do húmus, decomposição em alta temperatura de resíduos verdes e fixação de nitrogênio.

# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fatores Intervenientes no Processo:**

- Actinomicetos:



Fonte:  
<http://diccio.med.eusal.es/palabra/actinomicetos>

- São organismos intermediários entre as bactérias e os fungos (unicelulares);
- Menores que as bactérias;
- Muito sensíveis a variações de pH;
- Não se desenvolvem em pH baixo;
- São maus competidores e só aparecem quando se escasseiam as bactérias e os fungos;
- Tem como função a decomposição de resíduos animais e vegetais resistentes (Ex: ricos em celulose), formação do húmus, decomposição em alta temperatura de resíduos verdes e fixação de nitrogênio.

# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fatores Intervenientes no Processo:**

- Umidade:

- A água é essencial para reações químicas e para vida.
- Importante manter-se o equilíbrio ar-água para o desenvolvimento do processo com umidade em torno de 55%.
- Umidades superiores a 60% podem levar à anaerobiose.
- Umidades inferiores a 40% reduzem significativamente a atividade biológica.
- Os resíduos sólidos orgânicos domiciliares possuem umidade natural de 55 a 85%.
- Materiais fibrosos podem inicialmente exigir umidade de 60%.
- Lodos de ETEs com umidade normalmente > 90% devem passar por um processo de desaguamento antes da compostagem.

# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fatores Intervenientes no Processo:**

- Umidade:

- Ainda para lodos de ETEs, agentes intumescedores (serragem, cavacos de madeira, resíduos de poda, etc.) poderão ser agregados aos mesmos visando reduzir sua densidade, aumentando a porosidade e evitando sua compactação excessiva.
- Nos métodos de compostagem que utilizam pilhas ou leiras, o controle da umidade excessiva é obtido por meio de revolvimentos sistemáticos e periódicos (manuais ou mecânicos), que permite o contato com a massa de resíduo interna, com o ar atmosférico.
- Se a umidade for insuficiente, durante o revolvimento é feita uma irrigação com aspersores ou chuveiros de crivos finos, utilizando-se água de boa qualidade.

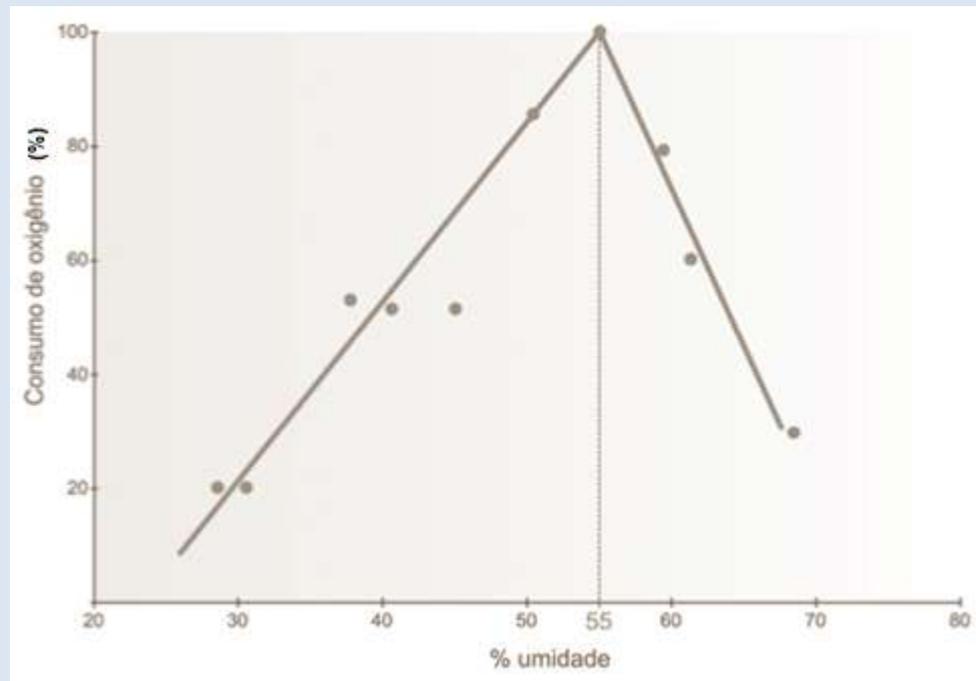
# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fatores Intervenientes no Processo:**

- Umidade:

- As condições climáticas locais é que definirão os momentos adequados para realização dos revolvimentos e correções de umidade.



# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fatores Intervenientes no Processo:**

- Temperatura:

- A compostagem deve ser realizada nas faixas mesófilas (45 °C a 55 °C), e termófilas (acima de 55 °C).
- Alguns autores julgam que a faixa ótima está compreendida entre 50 °C e 70 °C, dando-se preferência por um valor médio ao redor de 55 a 60 °C.
- Temperaturas acima de 65 °C são desaconselháveis, pois se mantidas por longos períodos podem eliminar os microrganismos bioestabilizadores responsáveis pela humificação.
- Elevadas temperaturas também favorecem a volatilização da amônia, levando a pesadas perdas de nitrogênio e ao empobrecimento do composto em termos nutricionais.

# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fatores Intervenientes no Processo:**

- Temperatura:

- Na faixa ideal de temperatura, ocorre no meio, a quase que completa erradicação de ervas daninhas, e dos microrganismos patogênicos, restando apenas algumas cepas mais resistentes de parasitas de origem não humana, além da inviabilização de sementes indesejadas.
- O aquecimento das leiras é um processo natural devido ao metabolismo exotérmico dos microrganismos, e a passagem da fase psicrófila para mesófila e posteriormente para termófila ocorre naturalmente com a multiplicação da massa de microrganismos em dois a três dias.
- Idealmente, a fase termófila deve ser mantida por pelo menos um mês.

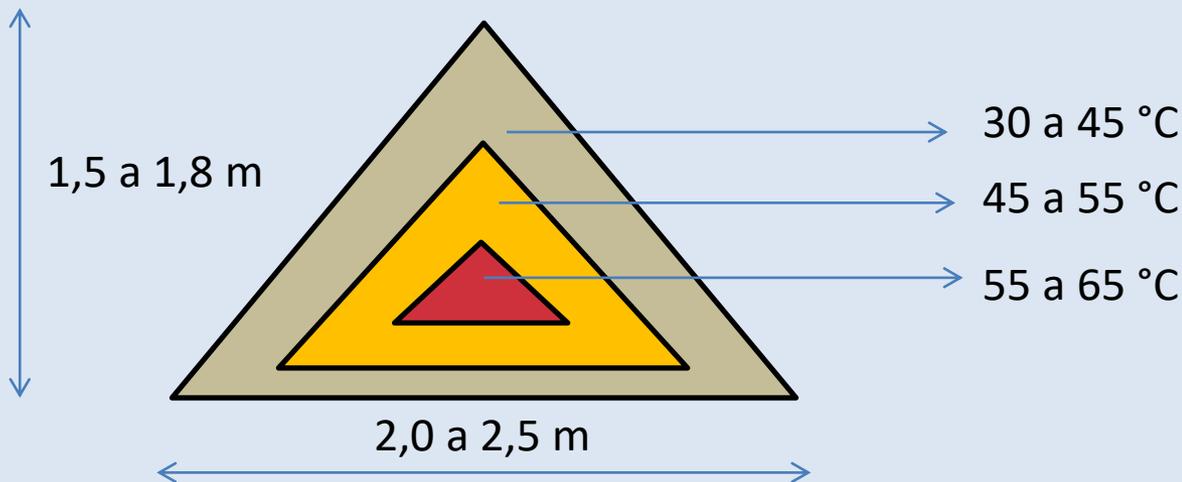
# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fatores Intervenientes no Processo:**

- Temperatura:

- O controle da faixa ideal de temperatura é feito através do revolvimento do material, ou de sua irrigação, ou de ambos.
- Baixas temperaturas são indicativos de alta umidade e vice-versa.
- As pilhas e leiras apresentam diferentes temperaturas das partes mais internas às mais externas.



# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fatores Intervenientes no Processo:**

- Temperatura:

- O volume e a configuração geométrica também podem interferir na temperatura das pilhas e leiras (cônicas, prismáticas triangulares, prismáticas trapezoidais, prismáticas semicirculares, etc.).
- Materiais ricos em proteínas (C/N baixo) aquecem-se rapidamente.
- Materiais moídos e com maior homogeneidade formam montes com melhor distribuição e menor perda de calor.
- Montes com materiais grosseiros, com boa aeração, alcançam altas temperaturas, mas perdem calor facilmente.
- O controle da temperatura também pode ser feito com o abaixamento da pilha. Quanto mais baixa a pilha, menor a temperatura interna.

# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fatores Intervenientes no Processo:**

- Tamanho das Partículas:

- As dimensões ideais para compostagem de resíduos sólidos orgânicos devem estar compreendidas entre **1 e 5 cm**.
- Se as partículas forem muito finas, pode ocorrer compactação excessiva do material e redução da aeração.
- Para se evitar a compactação excessiva de material fino deve-se agregar material sólido (Ex: cavacos de madeira) à massa melhorando a sua sustentação, a porosidade e conseqüentemente a aeração. Esse material sólido pode ser recuperado no final através de peneiramento e ser reutilizado novamente.
- Quando as partículas forem muito grossas (Ex: galhos, restos de alimentos, etc.) deve-se triturá-las antes da montagem das leiras.

# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fatores Intervenientes no Processo:**
  - Dimensões e Formato das Leiras e Pilhas:
    - As pilhas podem ter formatos cônicos, piramidais ou tronco-piramidais, com alturas variando entre 1,5 e 2,0 m e bases variando entre 2,0 e 4,0 m.
    - As leiras tem formato prismático com seções triangulares, trapezoidais, ou semicirculares, com altura variando entre 1,5 e 1,8 m, base variando entre 2,0 e 2,5 m e comprimento variável.
    - Alterando-se as dimensões das leiras e pilhas (altura e largura da base), pode-se alterar as condições de temperatura, umidade de seu interior e oxigenação, e dependendo das condições climáticas locais, ajustes nas dimensões podem ser necessários.
    - O espaçamento entre leiras depende do equipamento utilizado para o revolvimento das leiras.

# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fatores Intervenientes no Processo:**

- Oxigenação:

- A compostagem tem que ser realizada em ambiente aeróbio.
- O ambiente aeróbio degrada mais rápido a matéria orgânica, não produz mau cheiro e nem prolifera moscas.
- A aeração pode ocorrer por revolvimento manual, por revolvimento mecânico ou por injeção de ar.
- A dificuldade de se medir o  $O_2$  na pilha faz com que o controle se realize indiretamente pela avaliação da temperatura, da umidade e do tempo de revolvimento.
- Externamente, a pilha contém de 18 a 20% de oxigênio, próximo à atmosfera. Caminhando para o interior da pilha, o oxigênio vai baixando, até que em profundidades superiores a 0,6 m, reduz-se de 0,5 a 2% na base e no centro da pilha.

# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fatores Intervenientes no Processo:**

- Oxigenação:

- Idealmente, considera-se que na fase termófila a concentração de  $O_2$  seja de 5%.
- Para fins de dimensionamento de equipamentos eletromecânicos de injeção de ar nas leiras de compostagem, são recomendados  $0,3 \text{ m}^3$  de ar por kg de sólidos voláteis por dia.
- Em sistemas com revolvimento, as leiras devem ser revolvidas uma ou duas vezes por semana.



# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fatores Intervenientes no Processo:**
  - Relação Carbono/Nitrogênio (C/N):
    - Faixa recomendada: 20 a 35:1.
    - Os microrganismos absorvem os elementos C e N em uma proporção de 30:1.
    - Dez partes do C são incorporadas no protoplasma e 20 eliminadas como gás CO<sub>2</sub>.
    - O nitrogênio é assimilado na estrutura na proporção 10:1, ou seja, dez partes de carbono para uma de nitrogênio.
    - Isso explica porque o húmus, produto da ação dos microrganismos, apresenta C/N na proporção 10:1.

# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fatores Intervenientes no Processo:**
  - Relação Carbono/Nitrogênio (C/N):
    - Quando a proporção no resíduo for mais elevada que 60:1, por exemplo, os microrganismos utilizam o nitrogênio mineral do solo ou de organismos mortos, transformando-o em nitrogênio orgânico, até o excesso de carbono ser eliminado e a partir deste ponto o N volta a ser mineralizado, solúvel.
    - Materiais com relação C/N na proporção 60:1 levam de 30 a 60 dias para bioestabilizar.
    - Ao se aplicar no solo matéria orgânica com elevada relação C/N, pode-se produzir deficiências que chegam a matar as plantas.

# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fatores Intervenientes no Processo:**

- Relação Carbono/Nitrogênio (C/N):

- Se a proporção for 33:1, a matéria orgânica crua atingirá a bioestabilização entre 15 e 30 dias.
- Entre as proporções 33:1 e 17:1 não haverá empréstimo de N e também não haverá liberação de N na forma solubilizada, que somente ocorrerá a partir de 17:1.
- Quando a relação C/N é baixa, ocorrem pesadas perdas de N na forma amoniacal (para atmosfera), principalmente durante o revolvimento do material para oxigenação e controle da temperatura.

# Compostagem

- Fatores Intervenientes no Processo:
- Relação Carbono/Nitrogênio (C/N):

## Relação carbono/nitrogênio de vários materiais orgânicos

Restos de comida	15:1
Lama de esgoto	6:1
Lama de esgoto digerida	16:1
Madeira	700:1
Serragem	500:1
Papel	170:1
Gramma cortada	19:1
Folhas	Varia de 80 a 40:1
Restos de frutas	35:1
Esterco decomposto	20:1
Resíduos de cana-de-açúcar	50:1
Talos de milho	60:1
Palha	80:1
Alfafa	13:1
Feno de alfafa	12:1
Húmus	10:1
Trevo verde	16:1
Trevo seco	23:1
Feno de leguminosas	25:1
Palha de aveia	80:1

Fonte: Povinelli (2003)

# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fatores Intervenientes no Processo:**

- pH:

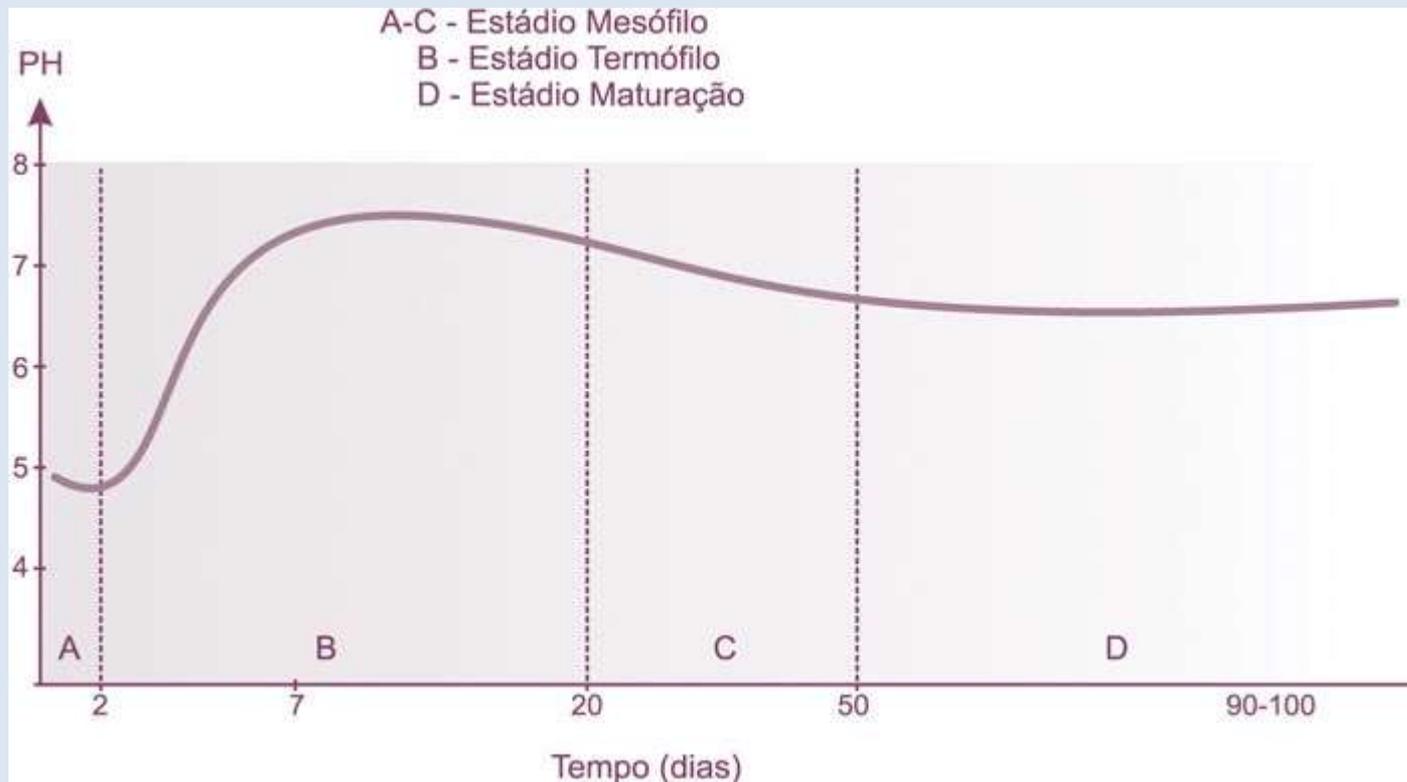
- A compostagem provoca a elevação do pH.
- No início do processo, o material produzido pode torna-se mais ácido do que já era anteriormente, devido à formação de ácidos orgânicos, que reagem com as bases nitrogenadas liberadas pela matéria orgânica, neutralizando e transformando o meio em alcalino.
- Dessa forma, independente do uso de corretivos, a compostagem conduz à formação de matéria orgânica húmica com reação alcalina.

# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fatores Intervenientes no Processo:**

- pH:



Fonte: <http://fdr.com.br/formacao/compostagem-e-minhocultura/fatores-que-influenciam-na-compostagem/>

# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fases da Compostagem:**

- A compostagem pode ser dividida em 4 fases:
- A **Fase 1**, de elevação de temperatura até o limite admitido como ótimo na compostagem pode levar de algumas horas (12 a 24 h) a alguns dias, dependendo dos condicionantes ambientais na região onde se processa a compostagem.
- Atingida a temperatura entre 55 e 60 °C, introduz-se um fator externo de controle, o revolvimento com ou sem umidificação, ou a aeração mecânica realizada de forma intermitente, conduzindo-se assim a bioestabilização na faixa de temperatura adequada.

# Compostagem

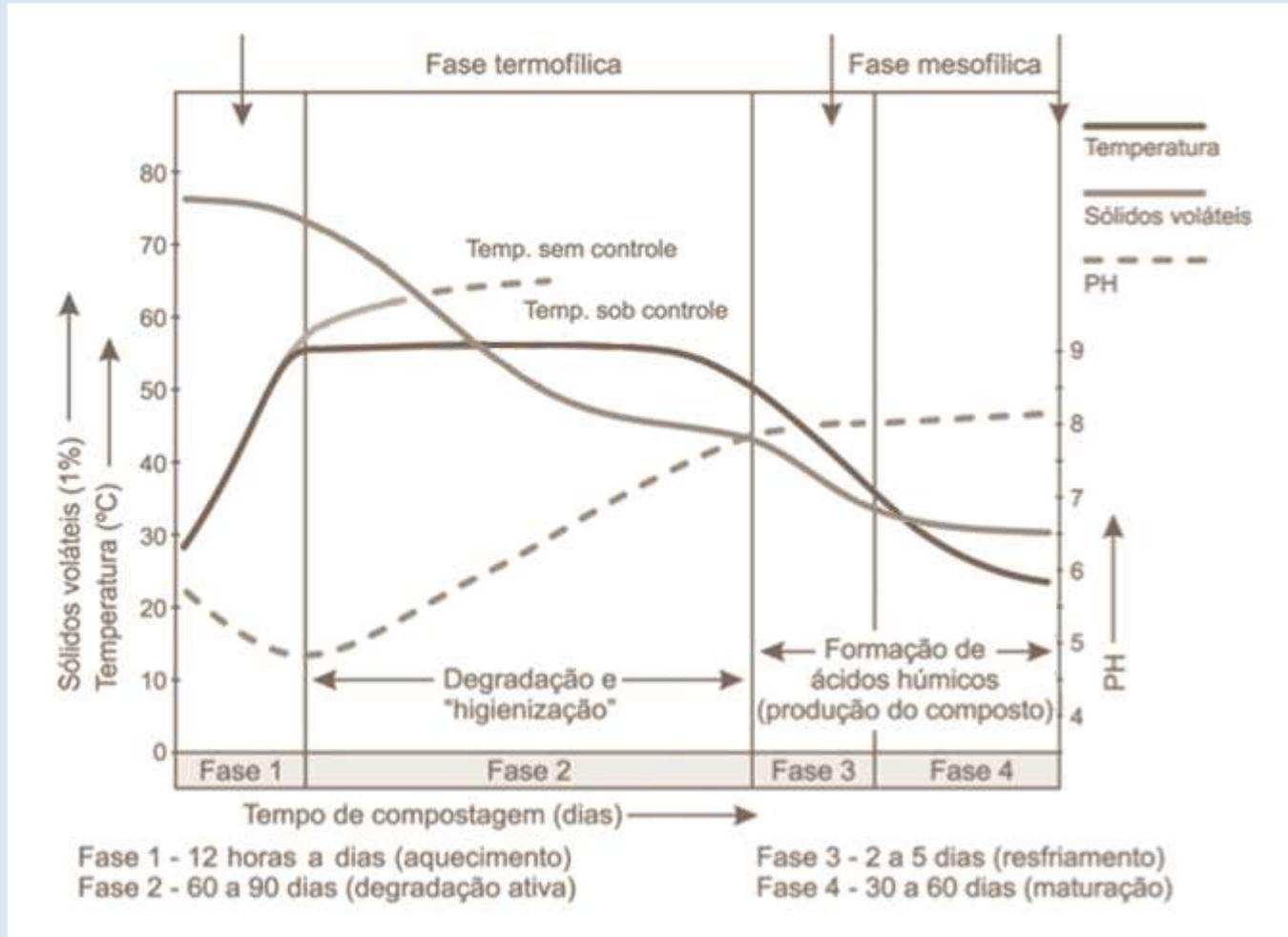
- **Fases da Compostagem:**

- A **Fase 2**, de degradação ativa do material orgânico, no método convencional (Windrow), pode demorar entre 60 e 90 dias. Quando as leiras são operadas na forma estática aerada (aeração forçada), o período resulta significativamente menor, da ordem de 30 dias.
- A **Fase 3** é aquela em que se inicia o resfriamento natural do material, e em condições normais leva de 3 a 5 dias.
- A **Fase 4**, de maturação ou cura do material compostado, com formação de ácidos húmicos, leva de 30 a 60 dias.

# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- Fases da Compostagem:



# Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Aspectos Epidemiológicos e Parasitológicos:**

- O composto produzido é praticamente isento de parasitas e sementes viáveis, podendo ser utilizado como condicionador de solo e em qualquer tipo de cultura.
- Os mecanismos que influenciam na eliminação de organismos patogênicos e parasitas são:
  - Fim do substrato;
  - Fatores antibióticos;
  - Tempo de exposição à alta temperatura (fator mais importante).
- O organismo indicador mais utilizado é a *escherichia coli*. O composto é considerado seguro do ponto de vista sanitário se apresentar concentrações desses organismos inferiores a  $1,0 \times 10^2$  NMP/g.
- Do ponto de vista parasitológico, avalia-se pelo método da sedimentação espontânea, que propõe a visualização e identificação de parasitas com a utilização de microscópio.

# Usinas de Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Tipos de Processos de Compostagem:**
  - 1) Convencional por revolvimento;
  - 2) Leiras estáticas com aeração forçada;
  - 3) Leiras estáticas com aeração passiva;
  - 4) Sistemas fechados (industriais);

# Usinas de Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- 1) Compostagem Convencional por Revolvimento:
  - Também conhecida como método *Windrow*.
  - Neste método, ao chegar nas instalações, os resíduos devem inicialmente passar por uma **triagem** para remoção de quaisquer materiais que possam atrapalhar a compostagem, ou piorar a qualidade ou o seu aspecto visual. Nesta etapa, embalagens plásticas, objetos metálicos, vidros, pedras, etc. devem ser removidos do meio do material a ser processado e acondicionados em baias para correta destinação.
  - Em seguida o material é **peneirado** e as frações de maiores dimensões são **picadas** ou **trituradas** em triturador.
  - Matéria orgânica de diferentes origens podem ser **misturadas** com a finalidade de se melhorar as relações iniciais de C/N.

# Usinas de Compostagem

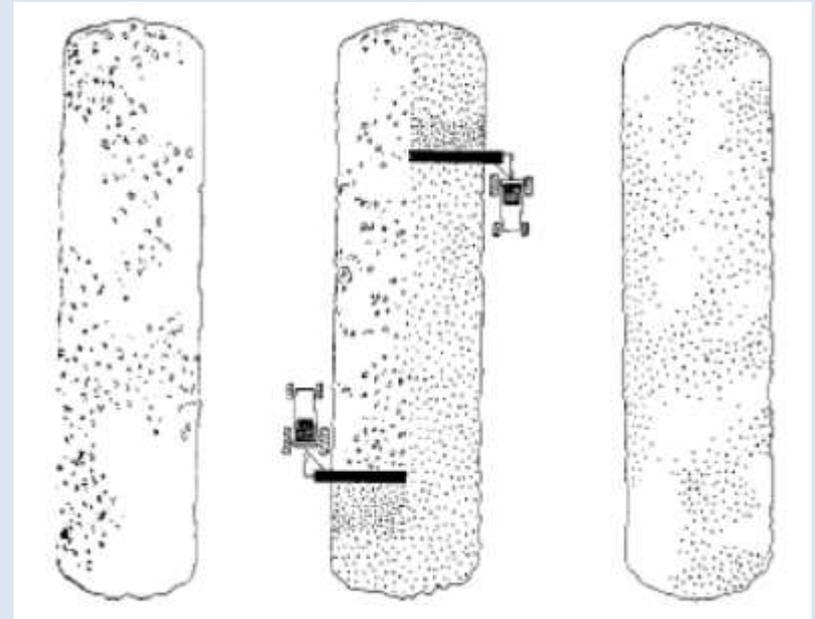
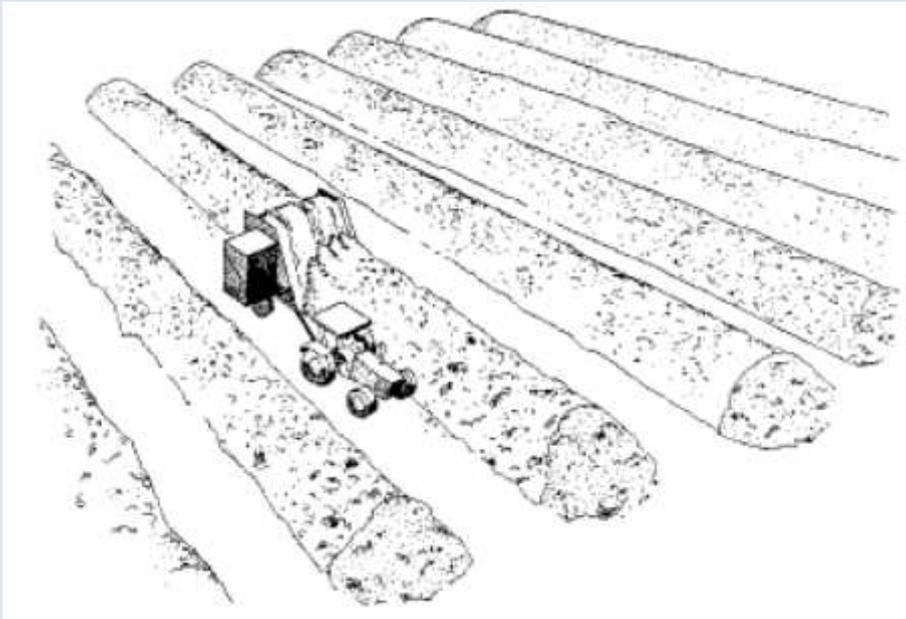
Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- 1) Compostagem Convencional por Revolvimento:
  - Em seguida o material é encaminhado para um pátio de compostagem formando pilhas ou leiras prismáticas de seção aproximadamente triangular, trapezoidal ou semicircular.
  - A introdução de oxigênio no processo pode ser feita através do revolvimento das leiras de forma manual (instalações pequenas), utilizando-se tratores com pás-carregadeiras, ou equipamentos específicos já projetados para esta finalidade.
  - O pátio de compostagem deve possuir piso impermeável com sistema de drenagem de líquidos e águas de chuva que devem ser acumulados em um **reservatório impermeabilizado**, com a finalidade de serem utilizados para manutenção da umidade da leira quando necessário.
  - A água de chuva que não entrar em contato com os resíduos pode ser drenada para o sistema convencional.

# Usinas de Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- 1) Compostagem Convencional por Revolvimento:
  - Revolvimento mecanizado das leiras.



# Usinas de Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- 1) Compostagem Convencional por Revolvimento:
  - Bloomington Outdoor Windrow Compost Facility.



Fonte: [https://www.millergroup.ca/experience/index/photogallery/item\\_id/24/photo\\_id/88](https://www.millergroup.ca/experience/index/photogallery/item_id/24/photo_id/88)

# Usinas de Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

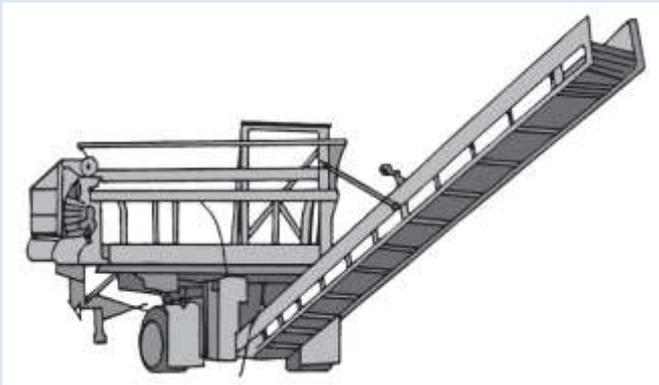
- 1) Compostagem Convencional por Revolvimento:
  - Equipamentos necessários:
    - Balança;
    - Peneiras vibratórias ou rotativas;
    - Trituradores ou picadores;
    - Trator tipo pá-carregadeira;
    - Equipamento para revolvimento das leiras;
    - Equipamento para irrigação das leiras ou caminhão pipa;
    - Termômetros de haste;
    - Etc.

# Usinas de Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

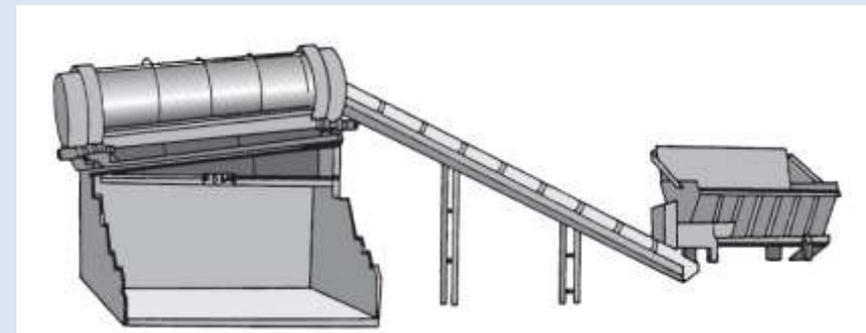
- 1) Compostagem Convencional por Revolvimento:

- Triturador



Fonte: Virginia Polytechnic Institute and State University (2009)

- Peneira Vibratória e Peneira Giratória



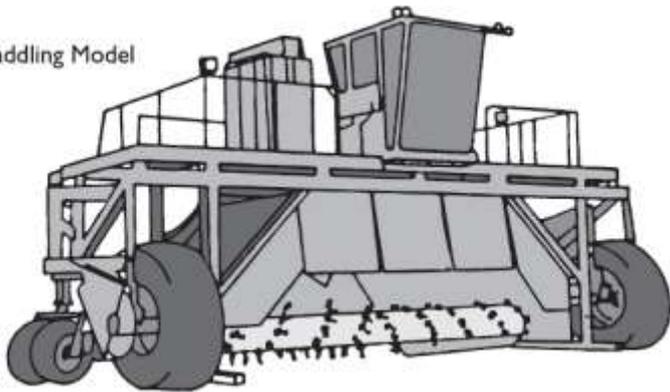
Fonte: Virginia Polytechnic Institute and State University (2009)

# Usinas de Compostagem

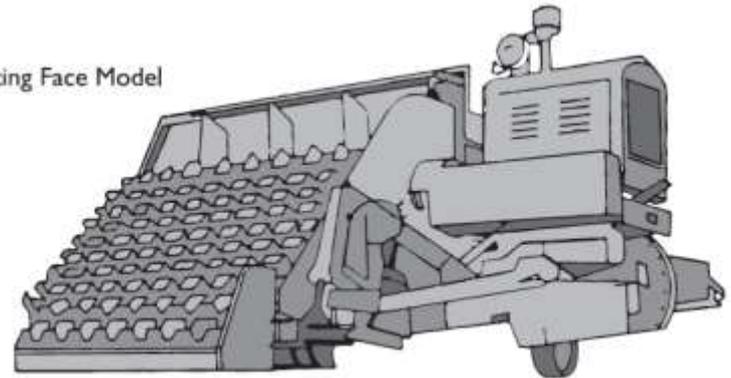
Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- 1) Compostagem Convencional por Revolvimento:
  - Revolvedores de leiras

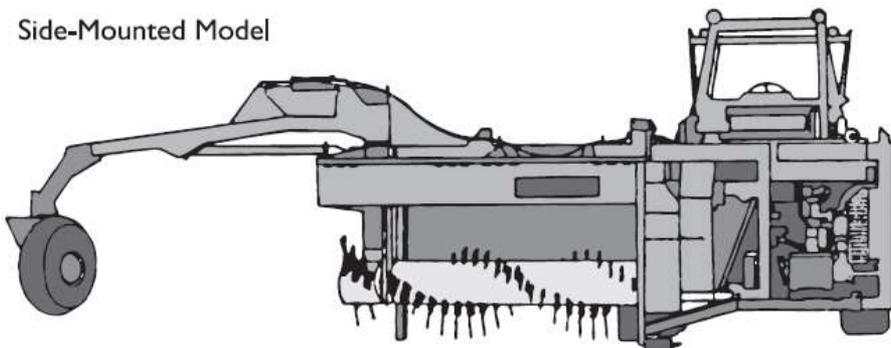
Straddling Model



Elevating Face Model



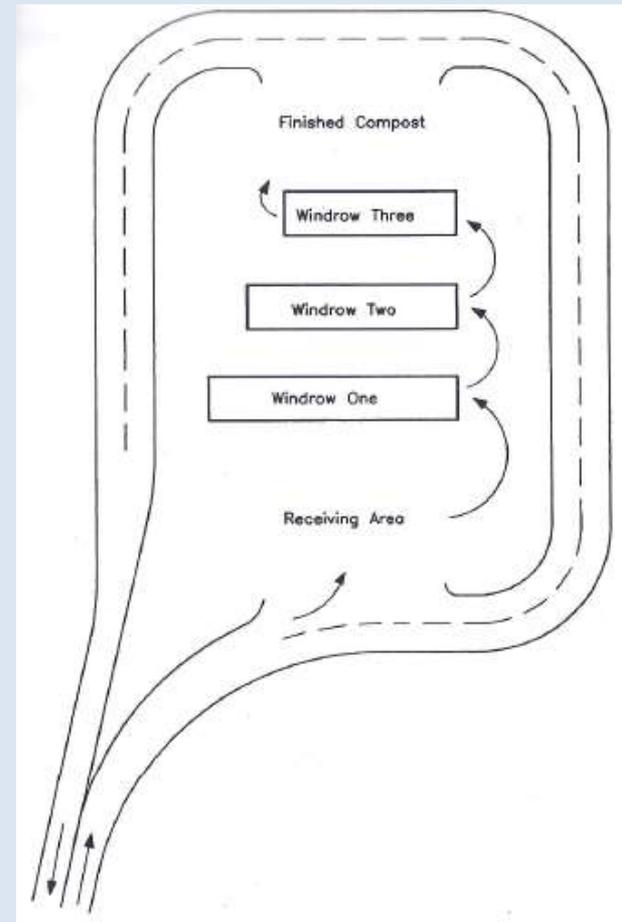
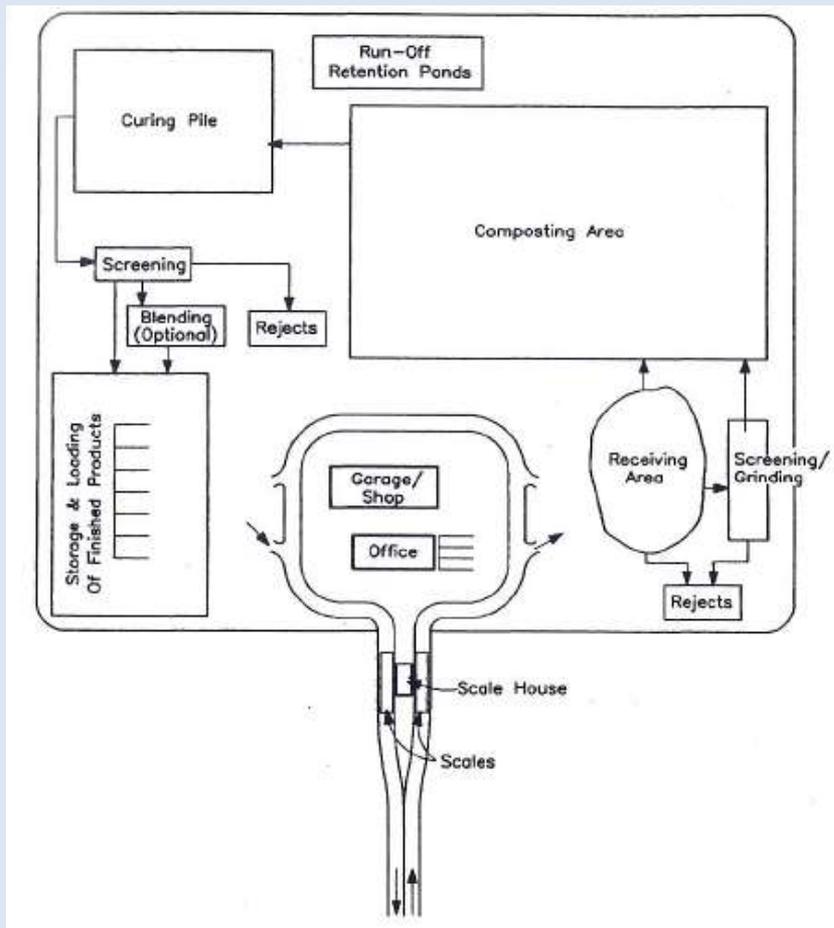
Side-Mounted Model



# Usinas de Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- 1) Compostagem Convencional por Revolvimento:
  - Exemplo de *layout*:



# Usinas de Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- 1) Compostagem Convencional por Revolvimento:
  - Leiras e pilhas de compostagem:



# Usinas de Compostagem

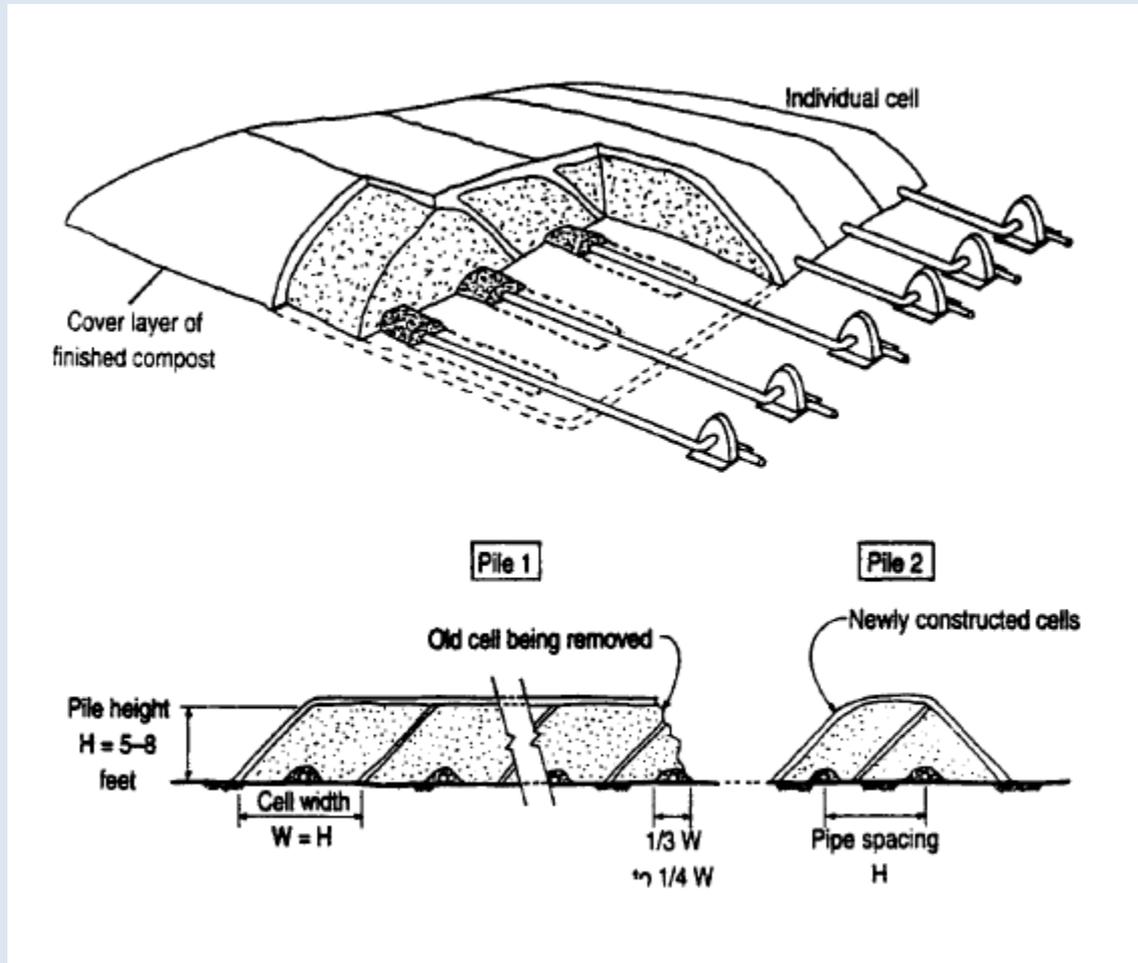
Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- 2) Compostagem com Leiras Estáticas e Aeração Forçada:
  - Nas leiras estáticas aceleradas, a compostagem é realizada com a injeção forçada de ar na massa em degradação.
  - Com isso torna-se necessários equipamentos de controle, bem como dispositivos adequados à perfeita difusão de ar na leira, que é conseguida com a utilização de tubos de PVC de 150 mm de diâmetros, com furos de 2,5 a 5,0 cm a cada 10 cm.
  - Um soprador de ar de 0,5 HP, soprando 2 minutos a cada 30 minutos, garante a degradação de 30 t de matéria orgânica.
  - Neste sistema a degradação ocorre em menor tempo em relação ao método de revolvimento.
  - A eliminação de patógenos da massa ocorre em 15 dias.
  - Em 30 dias o resíduo está estabilizado e em 45 a 60 dias o material está completamente humificado.

# Usinas de Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

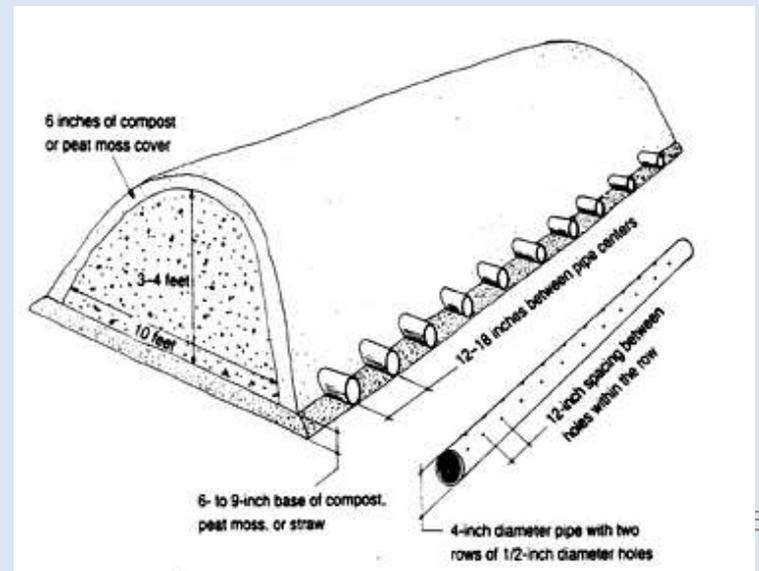
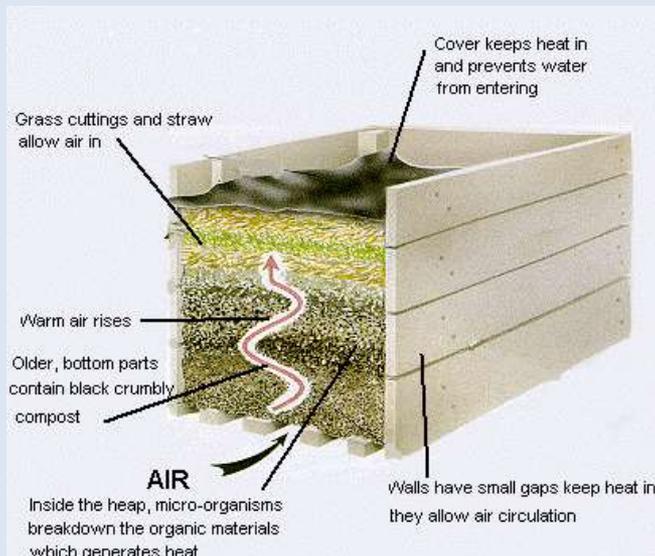
- 2) Compostagem com Leiras Estáticas e Aeração Forçada:



# Usinas de Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- 3) Compostagem com Leiras Estáticas e Aeração Passiva:



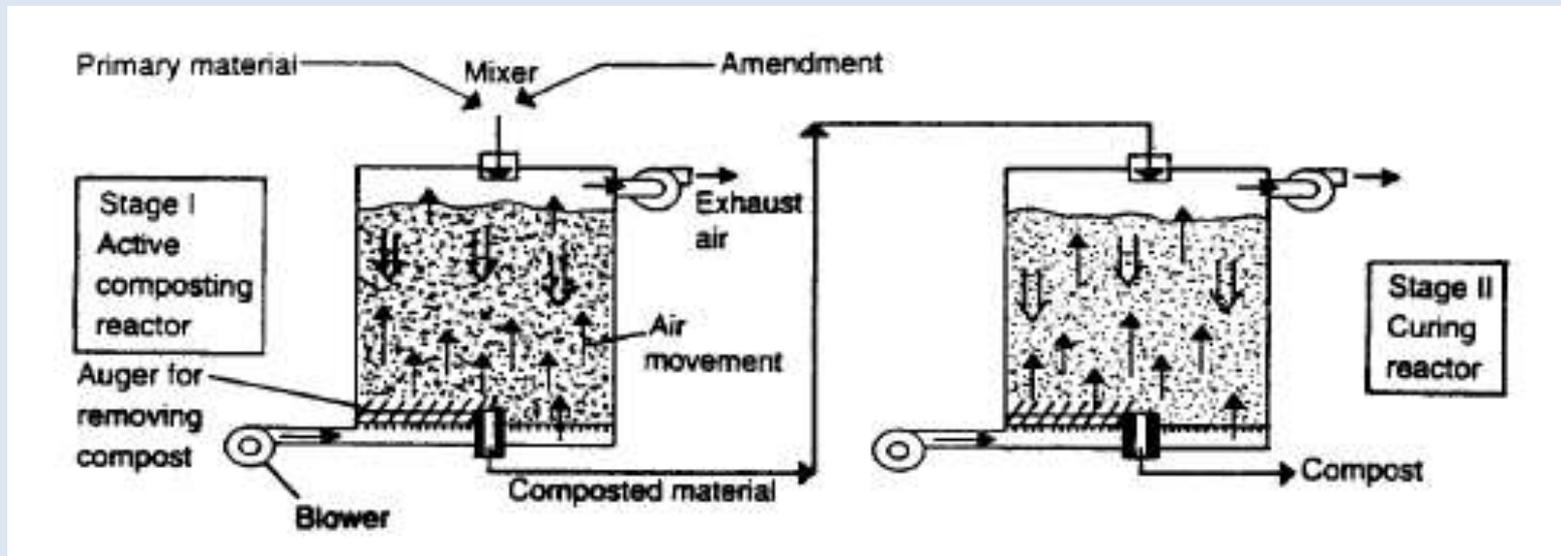
# Usinas de Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- 4) Compostagem em Sistemas Fechados:

- Também conhecida como compostagem *In-vessel*.
- Neste método a compostagem é realizada quase que industrialmente em câmaras fechadas, onde as condições operacionais do processo (aeração, umidade, controle de temperatura, pH, etc.) são conseguidas com um maior controle.

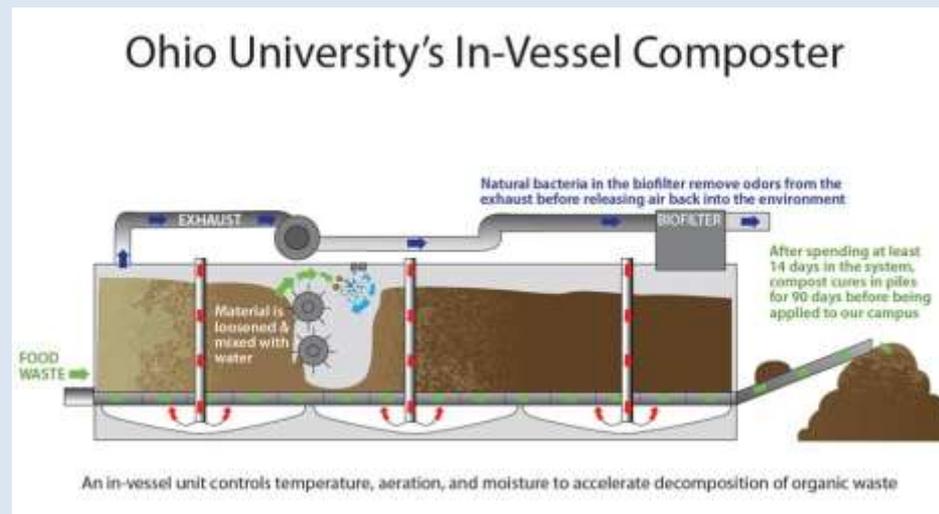
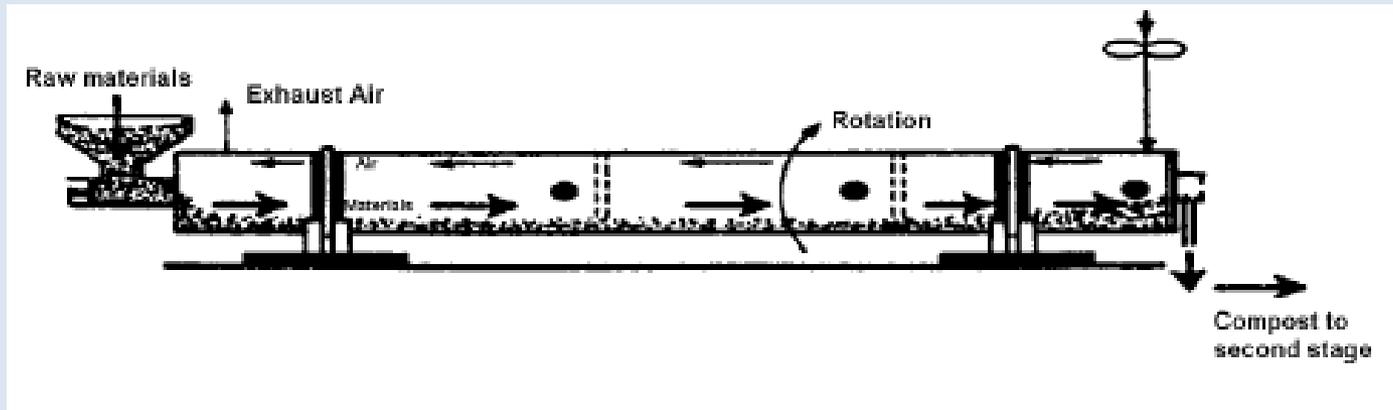
Sistema de compostagem de silo vertical.



# Usinas de Compostagem

- 4) Compostagem em Sistemas Fechados:

Sistema de compostagem em tambor rotativo.

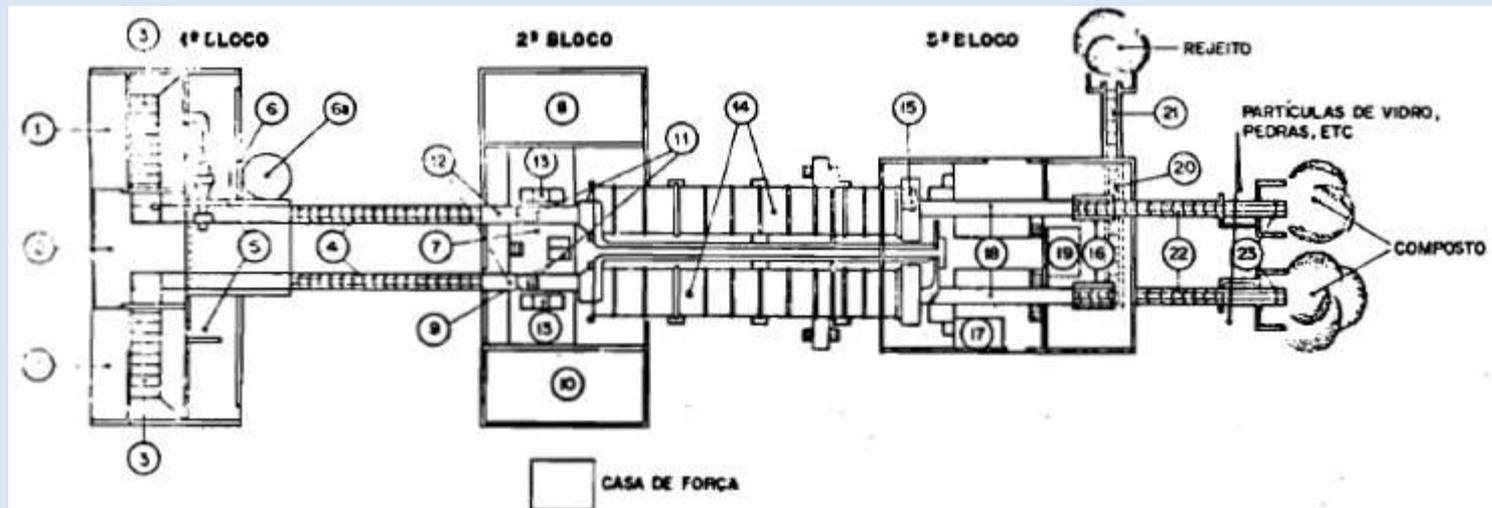


# Usinas de Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

## • 3) Compostagem em Sistemas Fechados:

Sistema de compostagem em tambor rotativo Dano.



1. Local de recepção do lixo.
2. Compartimento para depósito de objetos grandes.
3. Esteira transportadora de placas articuladas.
4. Correia transportadora inclinada.
5. Equipamento de exaustão.
6. Bomba para injeção do lodo de esgoto e/ou água.
- 6a. Poço para lodo de esgoto e/ou água.
7. Seção de separação dos materiais aproveitáveis.

8. Compartimento de depósito dos materiais.
9. Mesa de comando central.
10. Vestiário e sanitários no pav. térreo e refeitório nº 1.
11. Separador magnético.
12. Correia transportadora horizontal.
13. Calhas para descarga dos materiais aproveitáveis.
14. Estabilizador.
15. Peneira rotativa primária.
16. Peneira vibradora.

17. Escritório.
18. Correia transportadora de borracha.
19. Oficina.
20. Transportadora horizontal para o rejeito.
21. Transportadora inclinada.
22. Transportadora inclinada para o composto.
23. Separador balístico.

# Usinas de Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

## • Comparação entre os Sistemas de Compostagem:

Método	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Leiras revolvidas ou sistema <i>windrow</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Baixo investimento inicial;</li><li>• Flexibilidade na quantidade de resíduos processada;</li><li>• Simplicidade de operação;</li><li>• Uso de equipamentos mais simples;</li><li>• Emprego de mão de obra.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Requer mais área;</li><li>• Odor mais difícil de ser controlado, principalmente no momento do revolvimento;</li><li>• Depende do clima. Em períodos de chuva o revolvimento fica prejudicado.</li></ul>
Leiras estáticas aeradas ou <i>static piles</i>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Baixo investimento inicial;</li><li>• Melhor controle de odores;</li><li>• Etapa de estabilização mais rápida que o método de leiras revolvidas;</li><li>• Melhor aproveitamento da área disponível;</li><li>• Mais eficaz na eliminação de organismos patogênicos;</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Necessita de bom dimensionamento do sistema de aeração e controle dos aeradores durante a compostagem;</li><li>• Operação também influenciada pelo clima;</li><li>• Requer que o material de entrada seja o mais homogêneo possível.</li></ul>
Sistema fechado ou acelerado	<ul style="list-style-type: none"><li>• Menor demanda de área;</li><li>• Menor dependência dos fatores climáticos;</li><li>• Facilidade para controlar odores;</li><li>• Reduz tempo de compostagem</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Maior investimento inicial;</li><li>• Dependência de sistemas mecânicos;</li><li>• Menor flexibilidade operacional para tratar volumes variáveis de resíduos;</li><li>• Risco de erro difícil de ser reparado se o sistema for mal dimensionado.</li></ul>

# Usinas de Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Considerações Sobre o Local da Estação:**
  - Área total requerida;
  - Layout;
  - Acessos e impacto no trânsito;
  - Localização;
  - Zoneamento urbano e ambiental;
  - Aceitação pública;
  - Custo do terreno.

# Usinas de Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Instalações Necessárias:**

- Externas:

- Cercamento (alambrado ou muro e cortina vegetal);
- Portaria/Guarita com sanitário, cancela, portão e controle de acesso;
- Balança;
- Bloco administrativo (escritórios, refeitório, sanitários, vestiários);
- Sistemas de abastecimento de água para edificações e pátios de lavagem de máquinas e equipamentos;
- Sistemas de esgotamento sanitário;
- Instalações elétricas, telefônicas, internet, etc.;
- Proteção contra descargas atmosféricas;
- Instalações de combate a incêndio e se possível instalação de um hidrante nas proximidades;
- Iluminação de estacionamentos, pátios e vias;
- Vias de acesso e circulação de veículos com sinalização;
- Estacionamentos público e administrativo;
- Drenagem e contenção de águas de chuva e líquidos gerados;
- Área para lavagem e manutenção de veículos e máquinas;

# Usinas de Compostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Dimensionamento:**

- O dimensionamento de área e equipamentos depende:
  - Da quantidade diária de resíduos recebida (verificar qual o dia ou mês crítico em uma situação de final de plano de acordo com as atividades de coleta de RSU, poda, capina, remoção de árvores, etc.);
  - Do tipo de sistema de compostagem adotado e equipamentos selecionados;
  - Do tempo de compostagem;
  - Da redução da massa e do volume do resíduo durante o processamento;
  - Da estocagem ou não do composto produzido;

# Composto

- **Usos e Aplicações do Composto:**

- Uso Agrícola:

- Melhora a estrutura do solo;
- Aumenta a capacidade de absorção de água do solo;
- Ativação da vida microbiana no solo;
- Melhor aeração;
- Aumento da estabilidade do pH;
- Aumento da disponibilização de macro e micronutrientes disponíveis para as plantas;
- Melhor aproveitamento dos fertilizantes minerais.

# Exemplo

- **Pré-dimensionamento de um pátio de compostagem:**

- Considere um município com crescimento populacional e geração de resíduos conforme a Tab. 1, e caracterização dos resíduos conforme Tab. 2. Pré-dimensione, um pátio de compostagem por revolvimento para início de plano em 2016 com alcance de projeto de 20 anos. Considere três meses críticos e consecutivos com geração de resíduos 15% superior à média mensal.

**Tab. 2: Caracterização dos resíduos.**

Componente	Fração (%)
Matéria Orgânica Putrescível	51,5
Papel e papelão	21,3
Plástico	8,5
Metal	5,4
Vidro	2,1
Inertes e outros	11,2

**Tab. 1: Crescimento populacional e geração de resíduos.**

Tempo (anos)	População (hab.)	Ger. Per-Cap. (kg/hab.dia)	Ger. Total (kg/dia)	Ger. Total (t/dia)
2016	122781	0,600	73669	73,669
2017	123516	0,609	75221	75,221
2018	124256	0,618	76807	76,807
2019	125000	0,627	78426	78,426
2020	125748	0,637	80079	80,079
2021	126501	0,646	81767	81,767
2022	127259	0,656	83490	83,490
2023	128021	0,666	85250	85,250
2024	128787	0,676	87047	87,047
2025	129558	0,686	88881	88,881
2026	130334	0,696	90755	90,755
2027	131115	0,707	92668	92,668
2028	131900	0,717	94621	94,621
2029	132689	0,728	96615	96,615
2030	133484	0,739	98652	98,652
2031	134283	0,750	100731	100,731
2032	135087	0,761	102854	102,854
2033	135896	0,773	105022	105,022
2034	136710	0,784	107236	107,236
2035	137528	0,796	109496	109,496
2036	138352	0,808	111804	111,804

# Exemplo

- **Solução:**

- Massa Diária de Resíduos Orgânicos em Fim de Plano:
  - Massa Total de Resíduos Crítica =  $1,15 * 111,80 = 128,57$  t/dia
  - M.O. Putrescível = 51,5 %
  - Massa de M.O. =  $128,57 * 0,515 = 66,21$  t/dia
- Volume Diário de Resíduos Orgânicos:
  - Volume sem trituração =  $66,21 / 0,7 = 94,59$  m<sup>3</sup>/dia
  - Volume após trituração =  $66,21 / 0,85 = 77,90$  m<sup>3</sup>/dia
- Área de recepção:
  - Considerando-se estocagem máxima de 3 dias, sem trituração e 2,0 m de altura média.
  - Vol. Recep. =  $3 * 94,59 = 283,77$  m<sup>3</sup>
  - $A_{\text{Recep.}} = 283,77 / 2,0 = 142$  m<sup>2</sup>

# Exemplo

- **Solução:**

- Tipo de Processo: Compostagem por leiras revolvidas
- Tempo de Compostagem e Maturação:
  - Considerado  $t = 120$  dias
- Espaçamento entre leiras:
  - Considerado  $e = 3,0$  m (passagem de veículo ou máquina grande)
- Geometria e dimensão das leiras:
  - Considerando-se seção triangular:
  - Base:  $b = 2,5$  m e Altura:  $h = 1,5$  m
  - Área da seção:  $A = b \cdot h / 2 = 2,5 \cdot 1,5 / 2 = 1,875 \text{ m}^2$
- Tempos Considerados:
  - Fases (1, 2 e 3) da compostagem = 90 dias
  - Fase (4) maturação = 30 dias

# Exemplo

- **Solução:**

- Redução de Volumes:

- Fases (1, 2 e 3): Considerado redução de 50%
- Fase (4) maturação: Considerado redução de 5%

- Volume Total para Compostagem:

- $V_{\text{Comp}} = V_{\text{diário}} * N_{\text{dias}} * \text{Fator de Redução}$
- Fator de Redução =  $(100 + (100 - 50) / 2) / 100 = 0,75$
- $V_{\text{Comp}} = 77,90 * 90 * 0,75 = 5.258 \text{ m}^3$

- Volume Total para Maturação:

- $V_{\text{Mat.}} = V_{\text{diário}} * N_{\text{dias}} * \text{Fator de Redução}$
- Fator de Redução =  $(50 + (100 - (50 + 5)) / 2) / 100 = 0,475$
- $V_{\text{Mat.}} = 77,90 * 30 * 0,475 = 1.110 \text{ m}^3$

- Extensão Total das Leiras:

- $L_{\text{Comp}} = V_{\text{Comp}} / A_{\text{seção}} = 5.258 / 1,875 = 2.804 \text{ m}$
- $L_{\text{Mat.}} = V_{\text{Mat.}} / A_{\text{seção}} = 1.110 / 1,875 = 592 \text{ m}$

# Exemplo

- **Solução:**

- **Área Total para os Pátios de Compostagem e Maturação:**

- Considerando-se Leiras com 100 m de extensão:
- Número de leiras de compostagem =  $2.804/100 = 28$  leiras
- Número de leiras de maturação =  $592/100 = 6$  leiras
- Área ocupada por cada leira =  $2,5*100 = 250 \text{ m}^2$
- Área ocupada entre leiras =  $3,0*100 = 300 \text{ m}^2$
- $A_{\text{Comp.Mat}} = (28*250+29*300)+(6*250+7*300) = 19.300 \text{ m}^2 \approx \mathbf{2,0 \text{ ha}}$

- **Área do Pátio de Estocagem:**

- Considerando-se estocagem de 2 meses, com  $h = 4,0 \text{ m}$ .
- $V_{\text{Estoc.}} = 77,90 * 60 * 0,45 = 2.103 \text{ m}^3$
- $A_{\text{Estoc.}} = 2.103/4 = 526 \text{ m}^2$

- **Área Total:**

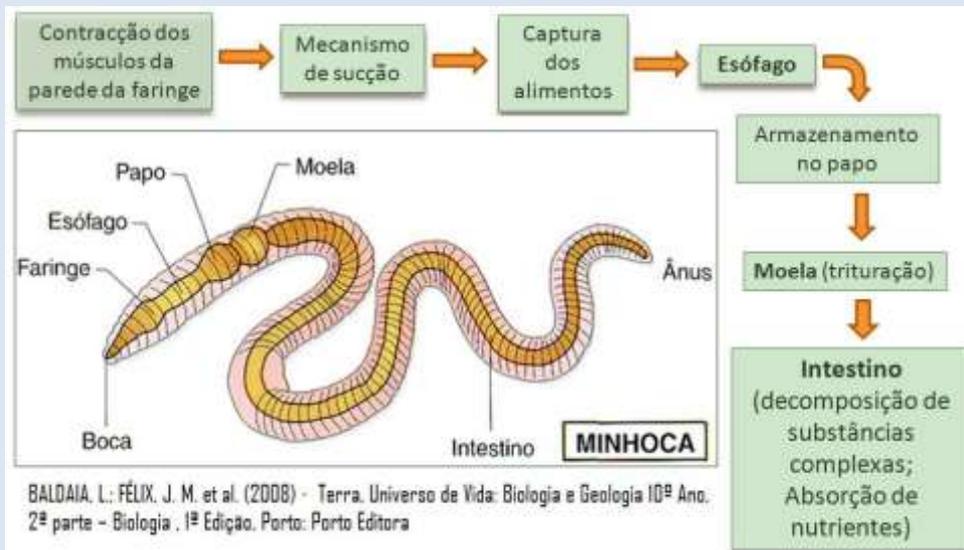
- $A_{\text{Total}} = A_{\text{Recep.}} + A_{\text{Comp.Mat}} + A_{\text{Estoc.}} = 142+19.300+526 = 19.968 \text{ m}^2 \approx \mathbf{2,0 \text{ ha}}$
- Acessos, recuos, vias, inst. apoio, etc. = +50%  $\rightarrow 1,5*19.968 = 29.952 \text{ m}^2$
- $A_{\text{Total}} \approx \mathbf{3,0 \text{ ha}}$

# Vermicompostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Conceitos:**

- É um tipo de compostagem na qual se utilizam minhocas para digerir a M.O., provocando sua degradação melhorando o arejamento e a drenagem do material em fase de maturação.
- Normalmente, a vermicompostagem é realizada em material já compostado, com temperatura já estabilizada e próxima à ambiente.



# Vermicompostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Desenvolvimento:**

- Processo desenvolvido em 2 estágios:
- 1) A matéria orgânica é compostada de acordo com os padrões normais: estabilização da matéria orgânica, redução de patógenos e temperatura ambiente.
- 2) O material é transferido para leitos rasos (para não se aquecer e não se compactar) onde é realizada a inoculação das minhocas, e após 45 a 90 dias obtêm-se o vermicomposto, com aumento na disponibilização de macro e micronutrientes.

# Vermicompostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **A Minhoca:**

- Vermes segmentados com metâmeros (semelhantes a anéis, daí o nome anelídios).
- Não ouvem, possuem olfato fraco e não possuem olhos. Porém seu tato é bem desenvolvido. Sofrem com a luz (U.V.) e fogem.
- Umidade do meio é sumamente importante para que não ocorra a secagem da pele.
- Pertencem à classe das oligochaetas.
- Exudam líquidos quando em contato com a terra seca.
- São pecilotermos (sangue frio). A temperatura de seu corpo acompanha a do meio ambiente.
- Apresentam respiração cutânea.

# Vermicompostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **A Minhoca:**

- Habitat: solos úmidos, fofos, porosos, nitrogenados, ligeiramente alcalinos, com reservas de nutrientes.
- Sobrevivem com 3 mg/L de O<sub>2</sub>.
- Temperaturas ótimas entre 12°C e 25°C
- Fogem de ambientes encharcados (pela falta de oxigênio e pela concentração de CO<sub>2</sub> que se eleva).
- São hermafroditas, mas ocorre acasalamento para troca de material genético.

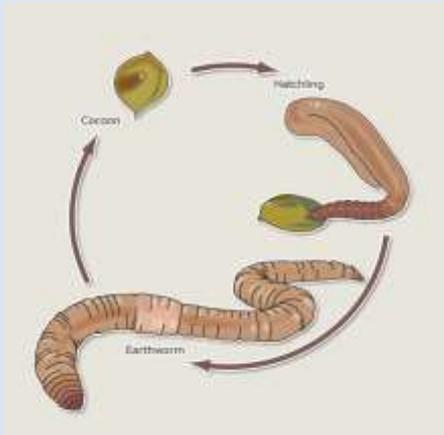


# Vermicompostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **A Minhoca:**

- Entre os anéis 32 e 37 há uma formação distinta, de coloração branco-amarelada chamada clitelo, responsável pela formação de invólucro que contém ovos fertilizados, denominado casulo.
- Os casulos são expelidos e em cerca de 2 a 3 semanas eclodem os ovos (10 a 20 ovos e desenvolvem-se 2 a 3 larvas). Minhoca com cerca de 1 mm, de cor branca.



# Vermicompostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **A Minhoca:**

- Cresce rapidamente e atinge a maturidade sexual em 30 dias.
- Produção: dependendo da espécie, são produzidos de 3 a mais de 50 casulos/ano.
- ***Eisenia foetina*** também conhecida como **minhoca vermelha da Califórnia** é o verme mais utilizado pela sua fácil adaptação e fornece um casulo a cada 5 dias.
- Possuem cérebro, 5 corações, papo, moela e intestinos.
- O aparelho digestivo é composto de um único tubo, da boca ao ânus.
- Na faringe, o alimento recebe um muco (saliva) para facilitar o escoamento e ainda enzimas que atacam as proteínas.
- Na moela o alimento é triturado pela forte ação da musculatura e o intestino onde ocorre a presença de vários fermentos.

# Vermicompostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

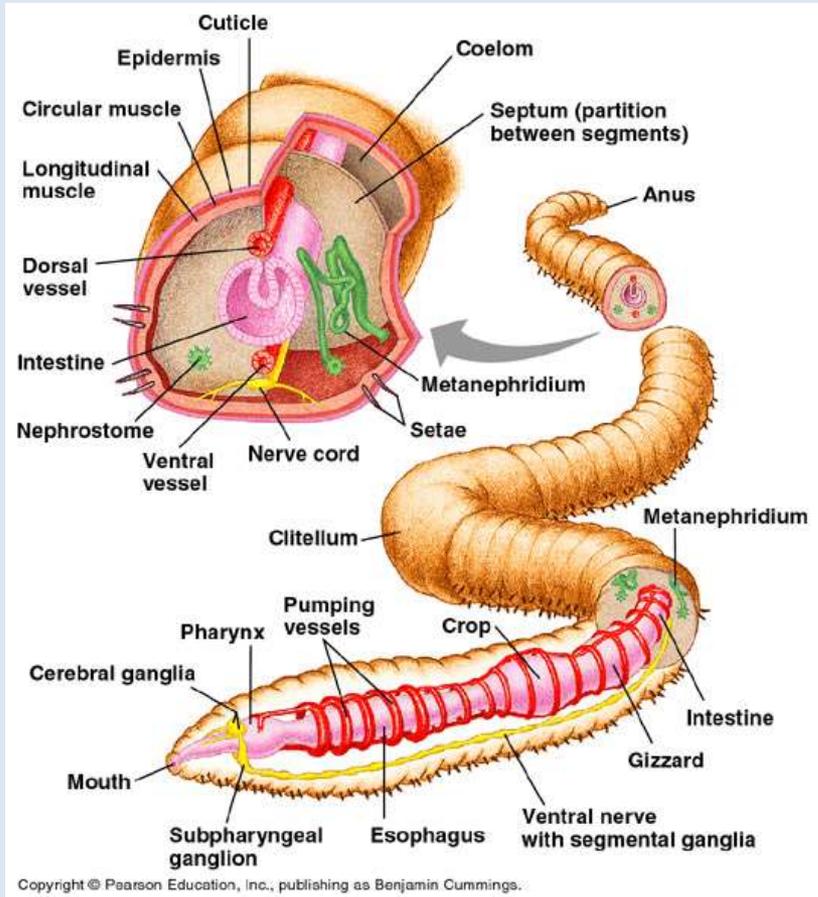
- **A Minhoca:**

- O sangue é vermelho (hemoglobina).
- Os rins são substituídos por um complexo e perfeito sistema de nefrídios, pelos quais são eliminados os excessos de amônia, uréia, creatina (substância cristalina encontrada nos músculos), e outras.
- A umidade necessária à sobrevivência do animal é perfeitamente controlada e vigiada pelo complexo nefrídio.
- Tem grande capacidade de regeneração. Quando seccionados entre os anéis 6 ou 9 - incluindo a boca e certa região de cérebro - elas podem recompor essas áreas segmentais.
- Vivem de 1 a 2 anos.
- Experimentalmente se desenvolvem minhocas com 10 cm de comprimento com peso de 0,2 g a 0,3 g.

# Vermicompostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **A Minhoca:**



# Vermicompostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fatores Intervenientes:**

- Ação é mais mecânica de que bioquímica. Após a ingestão de um alimento, excretam-no com forma especial: **Caprólitos** que são produto da transformação bioquímica promovida pelos microrganismos do seu intestino.



- Os fatores que interferem no processo refletem suas necessidades ou restrições impostas, de forma a garantir sua reprodução, peso e adaptação ao meio.

# Vermicompostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fatores Intervenientes:**

- Umidade:

- O material deve se encontrar na faixa de 70% a 75% embora já se tenham obtidos resultados com umidades da ordem de 25% a 35%.

- Oxigenação:

- Ambiente aeróbio, embora se tenham informações de sobrevivência em ambientes anaeróbios. Vivem com 3 mg/L (Oxigênio do ar) através de leiras de 0,30 m de altura. Pode-se aumentar a altura aerando-se as leiras.

# Vermicompostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fatores Intervenientes:**

- Temperatura:

- As minhocas só podem ser introduzidas no material se a temperatura estiver em torno de 20°C e 28°C. (fogem ou morrem em temperaturas mais altas). Por isso as leiras são baixas (h = 30 cm).

- Relação C/N:

- Idênticas à compostagem (relações entre 26 a 35:1).
- Experiências com composto (10:1) mostram que elas atuam bem e o vermicomposto apresenta relação final de 5:1.

# Vermicompostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fatores Intervenientes:**

- pH:

- Atuam em ampla faixa. Engolem toda matéria orgânica desde que não seja ácida e não tenha cheiro pronunciado.

- Tamanho das Partículas:

- Melhores resultados com material bem triturado e peneirado em malhas de 2,0 mm. Com granulometrias maiores, a degradabilidade é bem mais difícil, pois a ingestão é dificultada.

# Vermicompostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Fases da Vermicompostagem:**

- Ao se fixar o período de vermicompostagem deve-se definir indiretamente o peso de vermes para o processamento, isto é, com base na sua capacidade de ingestão (da ordem de seu equivalente em peso por dia). Ou então distribuir sobre a leira um número absoluto de indivíduos por metros quadrados (1500 a 2500 indivíduos por m<sup>2</sup>).
- Para períodos de processamento de 45 a 90 dias (normais no Brasil) verifica-se que o máximo crescimento dos vermes ocorre entre 2 a 5 semanas, com sobrevivência de 100% dos indivíduos num intervalo de 2 a 7 semanas. Com o decorrer do tempo cai a sobrevivência para 90% de 8 a 9 semanas e 40% após 10 semanas.
- Morrem em ambientes com concentrações elevadas de seus excrementos.

# Vermicompostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Aspectos Epidemiológicos e Parasitológicos:**

- A vermicompostagem é efetuada utilizando-se composto aeróbio que, como se sabe, tem garantia sanitária, tendo em vista que se desenvolve a temperaturas da ordem de 55 °C, que praticamente erradica patógenos e outros.
- O vermicomposto obtido a partir do lixo não apresenta ovos, cistos ou parasitas viáveis após o processamento.
- As minhocas não interferem significativamente nas populações de coliformes fecais que dependem e são afetados pelos condicionantes ambientais das próprias leiras.
- É, portanto, um produto seguro do ponto de vista sanitário.

# Vermicompostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Unidades Empregadas:**

- Para escala industrial as leiras são montadas em pátios e os canteiros apresentam 1,50 m de largura, altura de 0,30 m, dotados de drenagem de fundo.
- Proteção lateral (de alvenaria ou madeira) e cobertura (sombrit ou palhas) contra predadores (pássaros) e da ação solar intensa.



Fonte: <http://www.futuramb.com/>



Fonte: [estagiositiodosherdeiros.blogspot.com.br](http://estagiositiodosherdeiros.blogspot.com.br)



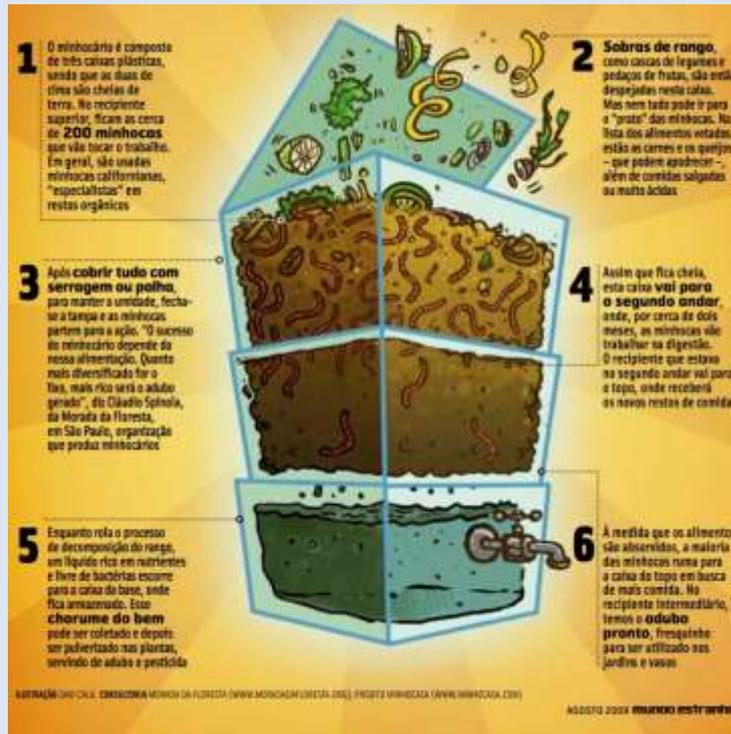
Fonte: <http://www.cpt.com.br/artigos/como-criar-minhocas>

# Vermicompostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Unidades Empregadas:**

- A vermicompostagem também pode ser realizada em residências utilizando-se vermicomposteiras domésticas.



Fonte: <https://odedoverde.wordpress.com/2014/12/22/humus-de-minhoca-e-melhor-do-que-composto/>

# Vermicompostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Inoculação das Minhocas:**

- Deve ser realizadas preferencialmente durante o período da manhã e em dia ensolarado, quando as minhocas penetram mais rapidamente no substrato (fogem da radiação solar).
- CRITÉRIOS: Área e Peso.
  - 1500 a 2500 minhocas/m<sup>2</sup> de superfície de leira, para 0,30 m de altura, com humificação em 45 a 60 dias;
  - Melhor controle quando se utiliza a relação peso de minhocas por peso de substrato. Como ela come diariamente o equivalente ao seu peso, basta fixar o tempo de humificação, tendo-se assim a relação. (Ex. 60 dias, 1/60).
- Cuidados com a água de rega, com predadores, não se deve revolver as leiras (estresse).
- Controle pela relação C/N (10:1 a 5:1).

# Vermicompostagem

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

- **Uso Agrícola:**

- Corretivo e fertilizante do solo;
- É um produto natural;
- Pode ser utilizado em qualquer tipo de cultura;
- Evita ou reduz o uso de fertilizantes químicos;
- Melhora a porosidade e a aeração do solo;
- Grande capacidade de absorção de umidade, disponibilizando nutrientes na forma solúvel;
- Favorece a proliferação dos micronutrientes no solo;
- Aumenta a CTC, retendo elementos essenciais para as plantas, aumentando a fertilidade do solo;
- Por possuir reação alcalina, eleva o pH do solo, corrigindo a acidez (solos ácidos apresentam baixa disponibilidade de nutrientes).

# Bibliografia e Leitura Recomendada

Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera — Resíduos Sólidos — Prof. Dr. Ronan Cleber Contrera

## Bibliografia e Leitura Recomendada:

- BIDONE, F.R.A. e POVINELLI, J. (1999), Conceitos básicos de Resíduos Sólidos. EESC USP, Projeto REENGE, Escola de Engenharia de São Carlos. **Capítulo 5.**
- Lund, H. F. (2000), McGraw-Hill Recycling Handbook. McGraw-Hill , 2nd Edition. **Chapter 26.**
- Virginia Polytechnic Institute and State University (2009), The Virginia Yard-Waste Management Manual. Second Edition. In:  
[http://pubs.ext.vt.edu/452/452-055/452-055\\_pdf.pdf](http://pubs.ext.vt.edu/452/452-055/452-055_pdf.pdf)
- Alberta Environment & Olds College (1999), Mid-Scale Composting Manual, 1st Edition. In: <https://open.alberta.ca/dataset/fb92b1de-7b71-4f8a-9e5d-154264fb20d1/resource/8190ea46-3167-4d46-aed8-8f085e019c89/download/1999-MidscaleCompostingManual-Dec1999.pdf>