

JUSTIFICAÇÃO

A produção deste manual teve como objectivo principal, proporcionar a agricultores, técnicos, estudantes e público em geral, um conjunto de noções fundamentais para a compreensão do processo de compostagem, contribuindo também com a nossa experiência ao nível do saber fazer.

A compostagem é um processo complexo, verificando-se interacções entre as componentes biológicas, físicas e químicas, algumas delas ainda mal compreendidas, razão pela qual este trabalho, embora observando o necessário rigor científico, tenta, tanto quanto possível, apresentar uma visão simplista dos factos, vulgarizando-os.

Os autores

INTRODUÇÃO

Numa região insular territorialmente exígua, em que a pecuária assume um papel preponderante no sector da economia, face aos desafios da época em que vivemos, faz todo o sentido falar em diversificação, essencialmente por duas razões. Diversificação cultural, para garantir sustentabilidade económica e ambiental e diversificação alimentar, para garantir melhorias na saúde das populações, com vantagens óbvias, quer sociais, quer económicas. A tudo isto poderíamos juntar a vantagem do reforço da identidade de um povo, que é também factor de sustentabilidade.

A hortofruticultura é, de um modo geral, uma actividade agrícola intensiva, adaptável às pequenas áreas, mas muito exigente em recursos humanos e materiais, capazes de garantir produções economicamente compensadoras.

Nos Açores, apesar do clima ameno e da característica fértil dos solos vulcânicos, a capacidade produtiva dos solos, tendo em conta as suas características físicas e químicas, pode não corresponder à capacidade de exportação nutritiva das culturas hortofrutícolas, quer de natureza herbácea, quer lenhosa, o que naturalmente afecta não só os quantitativos produzidos, mas também, e de um modo decisivo, a sua qualidade.

A qualidade das produções hortofrutícolas é actualmente um dos aspectos mais questionáveis no mundo desenvolvido, não só por afectar o elo terminal das cadeias alimentares, mas também porque a sua não observância é factor de desequilíbrio ambiental e, até mesmo em termos económicos, limitativo da capacidade concorrencial.

A agricultura intensiva, grande consumidora de recursos naturais, tem permitido, em termos quantitativos, aumentos substanciais de produção, pondo em causa frequentemente a qualidade. A alternativa encontrada passa por uma prática agrícola mais de acordo com o ambiente e com a saúde dos consumidores. A concretização desta nova prática implica uma redução drástica da utilização de determinado tipo de recursos, nomeadamente fertilizantes e pesticidas. A fertilidade do solo ficaria apenas dependente da sua riqueza natural, insuficiente para atender às necessidades das plantas. A solução passa pelo aproveitamento de recursos naturais renováveis, tais como resíduos de natureza orgânica, vegetal ou animal, que, isoladamente ou em conjunto, tenham um potencial nutritivo capaz de satisfazer as exigências em causa, garantindo simultaneamente outras condições essenciais para as plantas, quer ao nível da rizosfera onde se desenvolvem, quer ao nível das suas estruturas aéreas, defendendo-as contra as adversidades. Esta nova forma de agricultura, com base na utilização de matéria orgânica, é conhecida pela designação de agricultura biológica.

Por si só, os resíduos orgânicos não podem servir de substrato para as plantas, se não sofrerem modificações essenciais de ordem física e química. Os agentes dessa transformação são fundamentalmente de natureza biológica. Podem ser manipulados para permitir uma alteração correcta dos materiais orgânicos, no sentido de proporcionar um produto final estável e nutritivamente enriquecido, capaz de ser utilizado com vantagem pelas plantas. Ao produto chama-se composto e ao processo compostagem.

A MATÉRIA ORGÂNICA

A actividade humana gera uma quantidade considerável de resíduos orgânicos, sobretudo no domínio da produção de alimentos, quer de natureza vegetal ou animal. Uma vez incorporados ao solo, estes resíduos podem constituir um recurso nutritivo capaz de promover o crescimento das plantas, quando outros factores (tais como a luz,

humidade, temperatura e estrutura do solo) sejam favoráveis.

A intensificação da agricultura, associada à crescente concentração das populações em torno de grandes centros urbanos, proporcionou um aumento desmesurado de produção de resíduos orgânicos, que muitas vezes acumulados ou mal utilizados, passaram a ser fonte de problemas ambientais, capazes de prejudicar a actividade humana e a do meio que a rodeia.

Os benefícios da matéria orgânica do solo na produtividade das culturas, são reconhecidos pelos agricultores desde tempos imemoriais. Durante séculos esses benefícios têm sido motivo de controvérsia e ainda hoje são debatidos.

A matéria orgânica contribui para o crescimento das plantas através do seu efeito sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Vários dos benefícios da matéria orgânica do solo têm sido amplamente documentados em termos científicos, mas alguns dos seus efeitos estão tão intimamente associados a outros factores do solo, que é muito difícil atribuí-los apenas à matéria orgânica. De facto, o solo é um sistema complexo, possuidor de uma multiplicidade de materiais interactivos e as suas propriedades resultam do efeito médio de todas essas interacções.

Existiu e ainda existe alguma ambiguidade no domínio da terminologia utilizada no estudo da matéria orgânica. Para muitos, matéria orgânica é sinónimo de húmus. Actualmente o húmus é considerado como uma fracção da matéria orgânica, obtida num estado avançado de decomposição desta última.

A partir de informações localmente existentes, é possível estimar que nos Açores se produzem anualmente cerca de 2000 toneladas de resíduos urbanos biodegradáveis, 50% das quais correspondem a resíduos verdes. Estes valores não incluem os resíduos orgânicos de natureza vegetal e animal, produzidos nas explorações agrícolas e pecuárias. A compostagem constitui uma oportunidade para que estes materiais não sigam para os aterros e não se amontoem indevidamente junto às explorações. Contudo, para atingir o objectivo pretendido, é necessário saber como atingir as condições necessárias para que a sua decomposição decorra de modo correcto. Que misturas realizar? Em que proporções? Quando é que o composto estará pronto, em condições de poder ser utilizado em culturas em estufa, ou ao ar livre? Para responder a todas estas questões, é necessário entender de que modo se pode compostar, assim como os fundamentos do processo.

A PRODUÇÃO DE COMPOSTO

A compostagem pode ser realizada de várias formas. Do sistema doméstico, que utiliza pequenas caixas, onde se podem produzir alguns quilos de composto, às unidades de produção industrial, onde semanalmente se processam várias toneladas de matéria orgânica, o princípio de funcionamento é idêntico. Todos os sistemas têm como base a acção dos microrganismos, fundamentalmente as bactérias e os fungos, que executam o trabalho de decomposição, em função das condições disponíveis. A decomposição da matéria orgânica também pode resultar da acção conjunta de microrganismos e invertebrados como as minhocas, falando-se neste caso de vermicompostagem.

O trabalho que os microrganismos executam na presença de quantidades suficientes de oxigénio, água e nutrientes, gera calor. Esta capacidade termogénea, permite que no processo de compostagem a temperatura se possa elevar a valores consideráveis, da ordem de 55-60 °C. Neste caso a compostagem é designada por termofílica, isto é, executada por organismos que se adaptam bem ao calor. Existem também situações, em que em função da natureza química das matérias primas iniciais ou das condições de trabalho dos microrganismos, a elevação de temperatura é mais

moderada (da ordem de 30-40 °C). Designam-se estes processos por mesofílicos, caracterizados por uma decomposição mais lenta. A decomposição levada a cabo pelas minhocas e outros invertebrados ocorre a temperaturas moderadas (normalmente inferiores a 30 °C). É curioso verificar que nos processos de compostagem termofílica, as minhocas só surgem no composto na fase de arrefecimento, evitando os núcleos mais quentes.

COMPOSTAGEM E SEGURANÇA

Tratando-se da utilização de materiais orgânicos, alguns, em especial os de natureza animal, podem conter microrganismos prejudiciais a quem os manipula, daí a necessidade de serem observadas algumas normas de segurança. Restos de refeições, carnes, lacticínios, dejectos de animais de estimação, latrinas, entre outros materiais, não devem ser utilizados em processos de compostagem. Para além de poderem alojar uma multiplicidade de microrganismos prejudiciais, atraem insectos e ratos, vectores de doenças graves. Normalmente a decomposição deste tipo de materiais proporciona a libertação para a atmosfera de gases de cheiro intenso e desagradável (gás sulfídrico, por exemplo).

Existem ainda outros perigos potenciais, nomeadamente de se desenvolverem reacções alérgicas em quem trabalha em compostagem. Os fungos que ocorrem durante o processo de decomposição, podem dar origem a reacções alérgicas fortes, evoluindo por vezes para graves problemas pulmonares.

Um dos fungos mais passíveis de causar esse tipo de problemas pertence ao género *Aspergillus*. Os actinomicetes, organismos muito vulgares no solo, também se desenvolvem no composto, em particular em condições de temperatura elevada, podendo os seus esporos causar sérias complicações respiratórias. Por estes motivos aconselham-se as pessoas que trabalham em processos de compostagem, a utilizar máscaras do tipo anti poeiras, particularmente reforçadas se as operações decorrerem em recinto fechado, mesmo com ventilação forçada.

FUNDAMENTOS DA COMPOSTAGEM

Simple restos de cozinha amontoados num balde de lixo, produzem, ao fim de relativamente pouco tempo, odores desagradáveis e atraem insectos. Em condições apropriadas, o mesmo tipo de material pode ser compostado para dar origem a um produto manuseável, higienizado, capaz de ser utilizado com vantagem pelas plantas. Quais serão as condições referidas?

A matéria orgânica constitui fonte de alimento para um número incalculável de microrganismos. Para se poderem desenvolver, os microrganismos têm certas necessidades químicas, tais como carbono para fornecimento de energia, azoto para a construção das proteínas e oxigénio para a respiração. Em função da natureza física dos componentes orgânicos, podem ser fornecidos níveis adequados de oxigénio e água, essenciais para o crescimento dos microrganismos.

Temperatura

A generalidade dos processos de compostagem é de natureza termofílica. Uma das vantagens dos sistemas de compostagem termofílica baseia-se no facto de as temperaturas elevadas proporcionarem um processo de decomposição de matéria orgânica mais acelerado, eliminando organismos patogénicos e sementes de infestantes. A elevação de temperatura é o resultado de actividade respiratória muito intensa, por parte dos microrganismos predominantes.

A compostagem termofílica pode ser dividida em três fases: uma fase mesofílica, de temperaturas moderadas mas crescentes (até 40 °C), que pode durar desde algumas horas, até alguns dias, função da reactividade dos materiais envolvidos e das condições criadas; a fase termofílica, em que a temperatura se eleva muito rapidamente acima de 40 °C, podendo atingir valores da ordem de 60-65 °C, e que pode durar alguns dias ou alguns meses, de acordo com o volume de materiais a compostar, assim como da composição dos ingredientes da mistura inicial; uma fase de cura ou maturação, mais ou menos prolongada, até que o produto final esteja em condições de ser utilizado pelas plantas (figura 1).

A evolução da temperatura proporciona o surgimento de vários grupos de microrganismos. Os componentes químicos mais solúveis, são decompostos por microrganismos mesofílicos, proporcionando a sua actividade o calor necessário para o surgimento de microrganismos termofílicos. Estes, por sua vez, decompõem as unidades químicas mais complexas da matéria orgânica, tais como as proteínas, os lípidos e os hidratos de carbono de estrutura mais complexa (a celulose e a hemicelulose). A temperatura no composto elevar-se-á tanto mais, quanto mais satisfatórias forem as condições de natureza física e química que controlam o funcionamento dos microrganismos termofílicos.

O aumento progressivo de temperatura vai contribuir para a eliminação de muitos dos organismos que para tal contribuíram, chegando-se a um ponto (entre 65-70 °C) em que as reacções biológicas vão sendo rapidamente substituídas por reacções essencialmente químicas, responsáveis pela posterior estabilidade da matéria orgânica. O volume de material a compostar é determinante para que a temperatura no seu interior se possa elevar. Para o mesmo tipo de materiais iniciais e restantes condições idênticas, pequenos volumes dificilmente atingem temperaturas superiores a 30-35 °C. Para que a temperatura se possa elevar acima de 45 °C e atingir valores da ordem de 60 °C, é necessário trabalhar com pelo menos 1 m³. Pequenos volumes perdem calor mais rapidamente, por processos de condução e convecção.

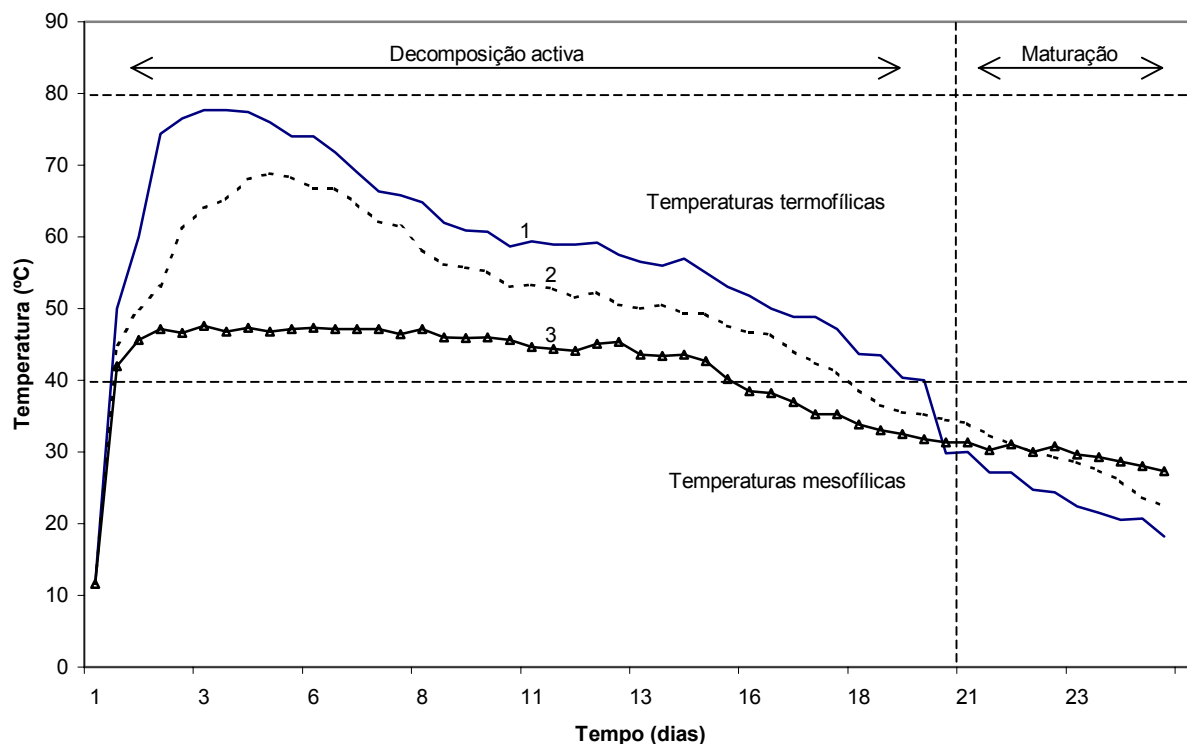


Figura 1 – Curvas de evolução de temperatura de diferentes substratos orgânicos. Curva 1 – substrato muito reactivo; curva 2 – substrato medianamente reactivo; curva 3 – substrato pouco reactivo

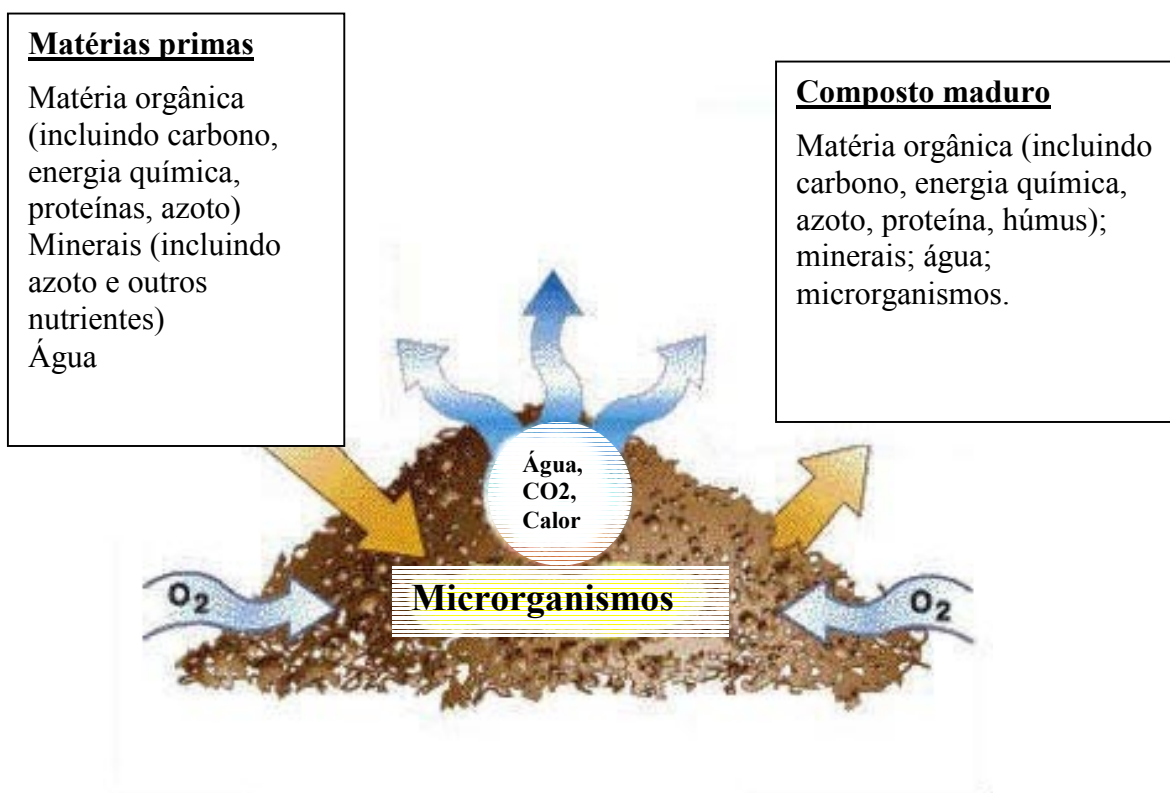
É possível controlar a temperatura durante a compostagem, revirando periodicamente a massa de matéria orgânica. O reviramento permite misturar as camadas interiores, mais quentes, com as exteriores, mais frias. Durante o reviramento, é normalmente adicionada água, que para além de compensar as perdas por evaporação, contribui para a diminuição de temperatura, dado o seu comportamento como bom condutor térmico. O reviramento também contribui para criar condições que facilitem a infiltração de oxigénio, essencial para a acção dos microrganismos aeróbios, e a libertação de dióxido de carbono e água resultantes da actividade respiratória. Nestas condições, perante a renovação do fornecimento de oxigénio e água, os microrganismos retomam a sua actividade em pleno, o que provoca um novo aumento da temperatura do composto.

Depois de finalizada a fase termofílica, a temperatura do composto diminui, não voltando a subir, independentemente de se realizarem reviramentos ou não.

Química do composto

Quer a compostagem decorra de modo termofílico ou mesofílico, o composto sofre várias transformações químicas. As transformações químicas são despoletadas pela acção de enzimas produzidas pelos microrganismos. As enzimas são substâncias que actuam como catalizadores em organismos vivos, regulando a taxa de ocorrência de reacções químicas, sem que se alterem durante o processo (Encyclopedia Britannica, 2003). Na matéria orgânica, as enzimas catalizam as reacções químicas que vão oxidar hidratos de carbono, proteínas e outros compostos orgânicos. Do processo de oxidação

resulta a produção de dióxido de carbono, água, energia e compostos resistentes à decomposição.



Esquema 1 – Esquema das principais transformações que ocorrem numa meda de composto.

Existem enzimas especializadas na decomposição de vários compostos químicos, entre as quais se podem citar a celulase, como a enzima especializada na decomposição de celulose, a amilase que intervém na decomposição do amido e a protease para as proteínas.

Poucos são os microrganismos capazes de produzir enzimas que catalizem a decomposição da lenhina. A estrutura molecular da lenhina é de tal modo complexa, que só um grupo reduzido de fungos é capaz, em circunstâncias especiais, de produzir a lenhinase, enzima específica para a sua decomposição.

À medida que a matéria orgânica se decompõe, vão-se libertando nutrientes, que são incorporados no metabolismo de microrganismos e invertebrados presentes no composto. A evolução do processo permite atingir um nível de maturação, em que esses nutrientes, normalmente sob forma inorgânica, passam a estar disponíveis para futura utilização pelas plantas.

A decomposição microbiana da matéria orgânica pode também dar origem a polímeros, compostos caracterizados por possuírem cadeias químicas longas, que resistem à decomposição.

Durante a compostagem termofílica o consumo de proteínas, lípidos e celulose por parte dos microrganismos é intenso, de modo que estes compostos se vão esgotando progressivamente, o que conduz a um abaixamento de temperatura, iniciando-se o processo de maturação, em que alguns polímeros se decompõem lentamente, enquanto outros, mais resistentes, se incorporam em húmus. Para que este tipo de compostagem

possa ocorrer, é necessário criar condições ótimas para o crescimento dos microrganismos. Os factores mais importantes para este crescimento são a proporção entre a disponibilidade em carbono e em azoto, o equilíbrio entre a concentração em oxigénio e teor em humidade e o valor de pH.

Relação carbono : azoto

Os dois nutrientes mais importantes para o funcionamento dos microrganismos são o carbono e o azoto. Os valores da relação carbono : azoto que ocorrem durante a compostagem afectam o processo e o produto.

Do carbono total, apenas uma parte está disponível para os microrganismos. Durante o crescimento destes últimos, são necessários 25 a 30 partes de carbono para 1 parte de azoto.

O carbono é utilizado para o crescimento celular. Durante a actividade dos microrganismos, parte do carbono é perdido durante o processo respiratório, sob forma de dióxido de carbono, que se liberta para a atmosfera. À medida que os microrganismos morrem, o carbono é incorporado no ciclo. O carbono mais disponível é utilizado no início do processo. No decurso da compostagem, a taxa de produção de dióxido de carbono diminui como resultado da redução da actividade metabólica dos microrganismos e do carbono disponível.

O azoto é essencial para que os microrganismos sintetizem proteínas. Em termos de percentagem de peso seco, as bactérias podem conter entre 7 a 11% de azoto e os fungos de 4 a 6% (Anderson, 1956, cit. Epstein, 1997).

Para que o processo de compostagem decorra da melhor forma, considera-se, de um modo geral, que a relação carbono : azoto da mistura inicial de materiais orgânicos deve ser igual a 30, isto é, 30 partes de carbono para 1 parte de azoto. Relações carbono : azoto inferiores a 30 dão origem a um crescimento microbiano mais rápido, com consequente rapidez na decomposição, mas o azoto em excesso pode perder-se, ou como gás amoniacal causando odores indesejáveis, ou arrastado para fora do composto através da água de rega. A concentração excessiva em azoto amoniacal pode ainda constituir uma fonte de inibição para a actividade dos microrganismos. Relações carbono : azoto superiores a 30, não proporcionam uma quantidade de azoto suficiente para um bom crescimento dos microrganismos. O aumento de temperatura é menos progressivo, de características essencialmente mesofílicas, o que significa um processo de decomposição mais lento, cuja taxa passa a ser determinada pela disponibilidade em azoto.

À medida que decorre o processo de decomposição, a relação carbono : azoto diminui, pois uma parte significativa do carbono (cerca de 2/3) perde-se para a atmosfera sob a forma de dióxido de carbono, enquanto que a maior parte do azoto é incorporado na célula microbiana. O valor da relação carbono : azoto de uma mistura inicial pode variar de acordo com as características dos seus constituintes. Quando se compostam materiais lenhificados, a relação carbono : azoto inicial deve ser mais elevada, da ordem de 50-60, pois a sua decomposição é dificultada devido às ligações químicas que podem existir entre as moléculas de celulose e as de lenhina, muito resistentes ao ataque enzimático dos microrganismos. Compostar materiais deste tipo a partir de relações carbono : azoto inferiores, significa que muito do azoto disponível não é aproveitado pelos microrganismos, perdendo-se irremediavelmente. Como as relações carbono : azoto mais elevadas dão origem a actividade microbiana mesofílica, de acção decomponente lenta, o problema pode por vezes ser ultrapassado, adicionando à mistura outro tipo de material orgânico que proporcione carbono mais facilmente biodegradável.

A textura dos materiais, caracterizada pela dimensão das suas partículas, também afecta a disponibilidade em carbono. Deste modo, quando se reduz a dimensão das partículas dos materiais mais lenhificados, aumenta-se a sua superfície de exposição à acção dos microrganismos, proporcionando maior taxa de degradação. Outra solução passa por adicionar ao material lenhificado de textura mais grosseira, um outro material, que apesar de possuir o mesmo teor em carbono, apresente textura mais fina, proporcionando também um aumento da superfície de exposição. Quando, por exemplo, se pretende compostar aparas de madeira, o processo de decomposição é facilitado se lhes for adicionada uma quantidade ideal de serradura, que graças à sua textura mais fina, permite aumentar a superfície de exposição, com maior disponibilidade em carbono para os microrganismos, independentemente do seu teor em carbono poder ser idêntico ao das aparas.

Para além do carbono e do azoto, o metabolismo dos microrganismos também necessita de níveis adequados em fósforo, enxofre, cálcio e potássio, assim como de magnésio, ferro e cobre. De um modo geral, os materiais orgânicos que compõem as misturas a compostar disponibilizam quantidades suficientes destes elementos.

Oxigénio

O oxigénio é um elemento necessário para o metabolismo e para a respiração dos microrganismos ditos aeróbios¹, assim como para a oxidação das moléculas orgânicas presentes nos resíduos. À medida que os microrganismos oxidam a matéria orgânica para se nutrirem e obterem energia, utilizam oxigénio e produzem dióxido de carbono. Se se esgotar a disponibilidade em oxigénio, o processo de compostagem torna-se anaeróbio², mais lento, produzindo-se gases com cheiro desagradável e compostos tóxicos. Por essa razão, os sistemas de compostagem têm que ser idealizados de modo a prevenir a formação de zonas anaeróbias. Fala-se então de processos de ventilação passiva e de ventilação forçada.

pH

O pH é um índice prático utilizado para medir o grau de acidez ou de alcalinidade de um material, variando numa escala de 0 a 14, correspondendo o valor de 7 à neutralidade.

Numa compostagem termofílica, o valor de pH pode variar de um mínimo de 5,5 a um máximo entre 7,5 e 8,5. No início do processo, a digestão da matéria orgânica pelas bactérias e pelos fungos resulta na formação de ácidos orgânicos, o que implica um abaixamento do valor de pH. Por sua vez, a acidez favorece o crescimento de fungos, que graças à sua capacidade enzimática, conseguem decompor a celulose e a lenhina.

O decréscimo de valor de pH também pode ficar a dever-se à dissolução em água do dióxido de carbono produzido durante o processo de decomposição, formando-se ácido carbónico.

O valor de pH volta contudo a aumentar, quer devido à produção amoniacal a partir da degradação das proteínas e compostos azotados, quer pela libertação de bases anteriormente integradas na matéria orgânica.

¹ Metabolismo e respiração na presença de oxigénio.

² Na ausência de oxigénio.

Aspectos físicos da compostagem

Proporcionar boas condições para o desenvolvimento de organismos termofílicos, implica a existência de situações de equilíbrio entre as várias propriedades físicas do sistema de compostagem e seus ingredientes.

Quer no caso dos materiais serem empilhados para formarem uma meda, ou dispostos em contentor, em ambos os casos os sistemas devem possuir dimensões suficientes para que se verifique uma boa circulação de ar, que garanta a oxigenação do composto. É necessário existir um teor em humidade que permita o crescimento dos microrganismos, sem que contudo se atinja um valor que o iniba, proporcionando condições anaeróbias.

O tamanho das partículas dos materiais orgânicos deve proporcionar uma textura porosa, capaz de garantir uma situação de equilíbrio entre a água e o ar.

Mecanismos de perda de calor

O valor de temperatura num ponto qualquer da massa em compostagem, depende da diferença entre a quantidade de calor produzida pela actividade dos microrganismos e a quantidade de calor perdida para fora do sistema, através de processos de radiação, condução e convecção.

A radiação consiste num modo de propagação de calor por emissão de energia radiante, por todo e qualquer corpo que se encontre a uma temperatura superior à do ambiente. O calor da massa em compostagem perde-se para a massa de ar, mais fria, que a circunda.

A condução refere-se à energia que é transferida entre dois pontos, por diferença de temperatura. Nas extremidades da meda de compostagem, a condução causa perdas de calor para as moléculas do ar circundante. Quanto mais pequeno for o bioreactor ou a meda de composto, maior a relação superfície / volume e, conseqüentemente, maior quantidade de calor perdida por condução. Quando se utilizam pequenos bioreactores, o isolamento ajuda a reduzir este tipo de perda.

A convecção resulta de um movimento de massas entre uma zona quente, onde o calor é aceite e uma zona fria, onde o calor é cedido. Quando o composto aquece, o ar quente eleva-se dentro do sistema e as correntes de convecção resultantes causam um movimento constante de ar aquecido através do composto na direcção do topo, o chamado “efeito chaminé” (figura 2).

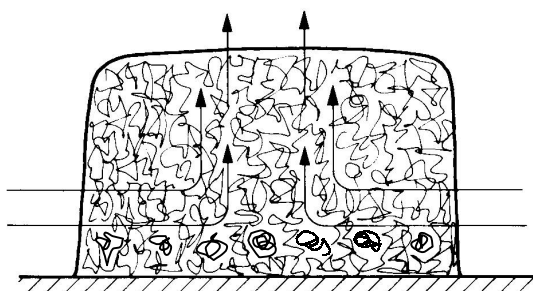


Figura 2 – Representação gráfica do “efeito de chaminé”.

Como complemento da convecção natural, alguns sistemas reforçam o movimento do ar através da utilização de ventiladores mecânicos, com funcionamento controlado por termostatos. Quando o valor da temperatura se eleva acima de um valor crítico, o termostato activa o ventilador, aumentando o fluxo de ar e reduzindo a temperatura (figura 3). Grande parte da energia é transferida sob a forma de calor latente, o tipo de energia necessária para evaporar água, razão pela qual a libertação de calor num processo de compostagem é acompanhada pela libertação de vapor de água.

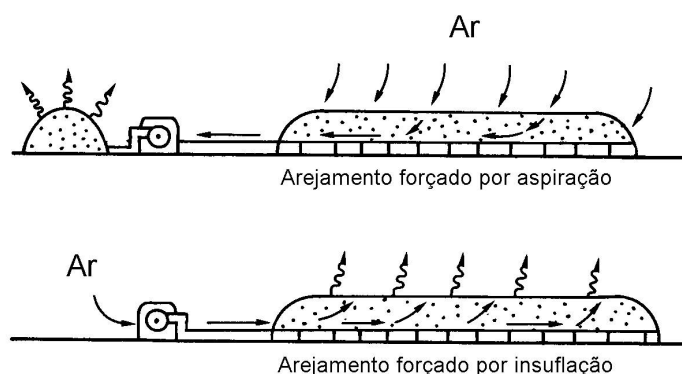


Figura 3 – Sistemas de ventilação forçada (adaptado de Mustin, 1987)

As perdas de calor são mais significativas através do processo de radiação, seguindo-se a condução e a convecção.

Uma vez que a água actua como um bom estabilizador térmico, as misturas de materiais orgânicos mais secos tendem a aquecer ou arrefecer mais rapidamente do que as mais húmidas, desde que exista água suficiente para a actividade dos microrganismos.

Arejamento

A actividade dos microrganismos depende do fornecimento adequado em água e oxigénio.

A difusão do oxigénio na água faz-se a uma taxa relativamente lenta. Se o espaço poroso entre as partículas de composto for preenchido com água, o fornecimento de oxigénio aos microrganismos fica limitado ou mesmo impedido. Pelo contrário, a falta de água no espaço poroso também lhes causa a inactividade. Uma situação ideal corresponde então à de um equilíbrio entre o fornecimento de ar e o de água.

Durante a compostagem o valor da concentração em oxigénio tende a diminuir, aumentando a de dióxido de carbono. Para evitar situações em que a concentração em oxigénio seja muito baixa, desenvolvendo-se núcleos anaeróbios, deve proceder-se ao reviramento do composto.

Existe a convicção de que para manter níveis adequados de oxigénio, as medas devem ser reviradas de 15 em 15 dias. Parece contudo que são a difusão e a convecção os mecanismos que mantêm o composto aeróbio (através do “efeito de chaminé”) e não o reviramento, pois é possível demonstrar que o oxigénio introduzido pelo reviramento de uma meda é rapidamente utilizado pelos microrganismos (Trautmann e Krasny, 1998).

O reviramento permite uma reorganização das partículas do composto, aumentando o espaço poroso e, conseqüentemente, o fluxo de ar. O reviramento permite ainda misturar os materiais mais frios e secos das zonas marginais da meda, com os das zonas centrais, mais quentes e húmidas, provocando uma decomposição homogénea.

Humidade

De um modo geral, considera-se que o valor da humidade da mistura inicial se deve situar entre 50 e 60%, de modo a proporcionar água suficiente para a actividade dos microrganismos e não limitar o fornecimento de oxigénio. Contudo, este valor varia de acordo com o tipo e textura dos materiais componentes. Uma mistura que contenha, por exemplo, palhas de cereais misturadas com um catalizador como o estrume de galinha, necessita de uma percentagem de humidade inicial muito elevada, em regra da ordem de 65 a 70%, pois a reactividade inicial da mistura é de ordem tal, que se libertam quantidades apreciáveis de vapor de água, pondo em risco a disponibilidade em água, necessária para a actividade dos microrganismos. Por outro lado, uma mistura em que predomine um material de textura grosseira, como as aparas de madeira, terá que possuir um valor de humidade inicial da ordem de 70 a 75%, a não ser que o espaço poroso seja preenchido com um material de textura mais fina, devendo o valor da humidade inicial reduzir-se para 60-65%.

A humidade do composto regula a actividade dos microrganismos. Valores reduzidos são limitativos. A partir de 35-40%, é inibida a actividade das bactérias. Para valores muito elevados, a decomposição é lenta, podendo formar-se núcleos anaeróbios e ocorrer lixiviação de nutrientes.

Tamanho das partículas

Como a maior parte da actividade dos microrganismos tem lugar na superfície das partículas de composto, ao diminuir o tamanho destas aumenta-se a superfície de exposição, e a disponibilidade em oxigénio e azoto, acelerando a taxa de decomposição.

O limite da diminuição do tamanho das partículas corresponde ao ponto em que o fornecimento em oxigénio passar a ser restritivo, reduzindo a taxa de decomposição.

No caso da compostagem de materiais de textura fina, o arejamento pode ser fomentado através da adição de materiais de textura mais grosseira, tais como aparas de madeira, farinhas ou carolo de milho. No final da compostagem, os agentes de arejamento que não se decompuseram, podem ser separados por crivagem e reutilizados num novo processo.

ASPECTOS BIOLÓGICOS DA COMPOSTAGEM

Embora a acção dos microrganismos seja preponderante em qualquer sistema de compostagem, a acção de outros organismos, nomeadamente a dos invertebrados, não é negligenciável. As minhocas, por exemplo, constituem um dos invertebrados que assumem um papel importante no processo de decomposição.

A população microbiana de bactérias, fungos e actinomicetes é responsável por 95% das alterações provocadas à matéria orgânica inicial. Conjuntamente com estes microrganismos, alguns invertebrados como miriápodes, nematodes, caracóis, lesmas e minhocas, também se alimentam dos resíduos orgânicos que formam a base do composto.

Estes consumidores primários servem de alimento a consumidores secundários, grupo nos quais se incluem colembolos, algumas espécies predadoras de nematodes,

ácaros e escaravelhos. Segue-se um outro grupo de predadores, que inclui as centopeias, os besouros e os pseudo escorpiões, que se alimentam uns dos outros e dos invertebrados do grupo secundário (figura 4).

De facto, é difícil identificar um determinado grupo de organismos como responsável por qualquer das fases de decomposição, uma vez que se verificam várias interacções entre todos os intervenientes.

De entre a macrofauna do composto, podemos encontrar larvas de insectos e anelídeos. Formas larvares de formigas, moscas, nóctuas, escaravelhos, térmitas, entre outras, desenvolvem-se muito bem em materiais orgânicos.

As minhocas são anelídeos pertencentes à família *Lumbricidae*, que assumem uma grande prevalência na macrofauna do composto e são responsáveis por uma parte da sua decomposição. Alimentam-se de material vegetal não decomposto e vivem sobretudo nas camadas mais superficiais do solo. Possuem um sistema digestivo capaz de decompor compostos orgânicos simples, solúveis ou não, como os açúcares, podendo em alguns casos digerir a celulose. Esta capacidade varia com as espécies, não tendo até à data sido encontrada nenhuma que consiga degradar materiais lenhificados.

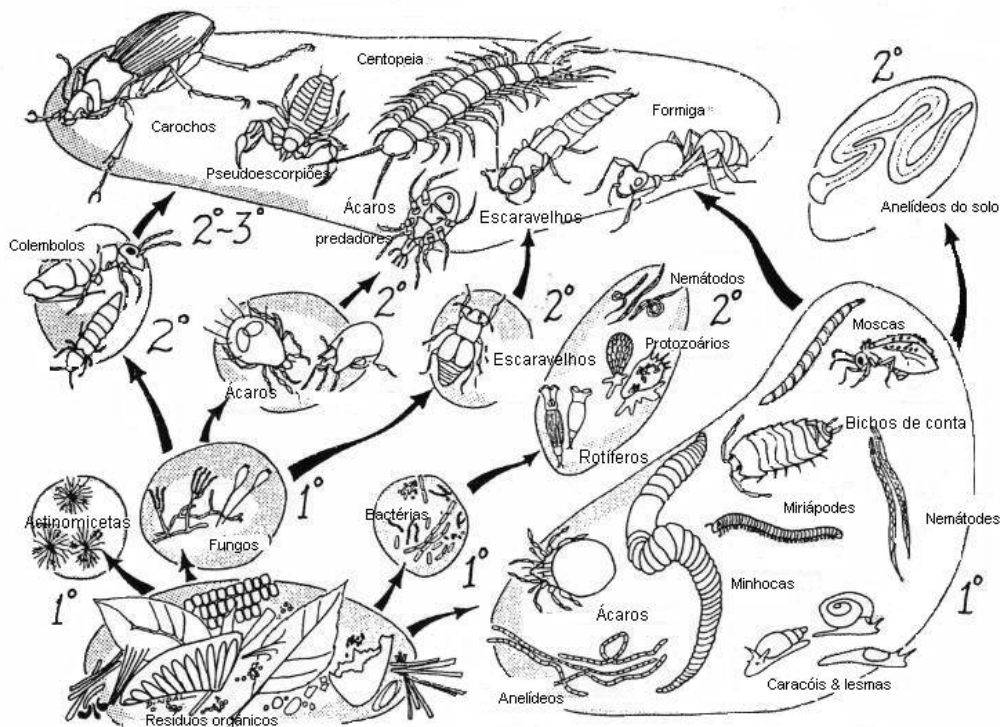


Figura 4 – Exemplo de cadeias alimentares no processo de decomposição da matéria orgânica (adaptado de Dindal, 1978). 1º - consumidores de 1º nível; 2º - consumidores de 2º nível; 3º - consumidores de 3º nível

As minhocas interagem com outros organismos presentes no composto. Existe uma relação simbiótica entre minhocas e microrganismos que vivem no seu sistema digestivo. De facto, o seu muco intestinal serve de alimento para os microrganismos, que, em contrapartida, decompõem os compostos orgânicos mais complexos em substâncias simples, que são absorvidas pelo organismo das minhocas. Os excrementos das minhocas podem continuar a estimular o crescimento dos microrganismos e a sua actividade no composto.

A passagem dos materiais orgânicos através do sistema digestivo das minhocas, permite a formação de elementos químicos mais rapidamente disponíveis para as plantas.

A água é indispensável para a sobrevivência das minhocas, que a consomem em grandes quantidades. A sua movimentação é facilitada em meio húmido. Como o oxigénio necessário à respiração é absorvido a partir da água através da cutícula, a manutenção do corpo húmido é essencial para a sua sobrevivência. A água também protege os anelídeos contra as substâncias tóxicas.

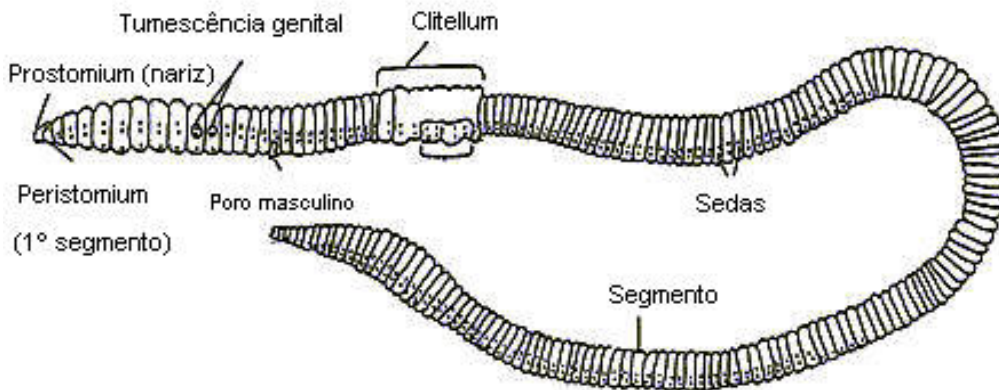


Figura 5 – Morfologia externa de uma minhoca

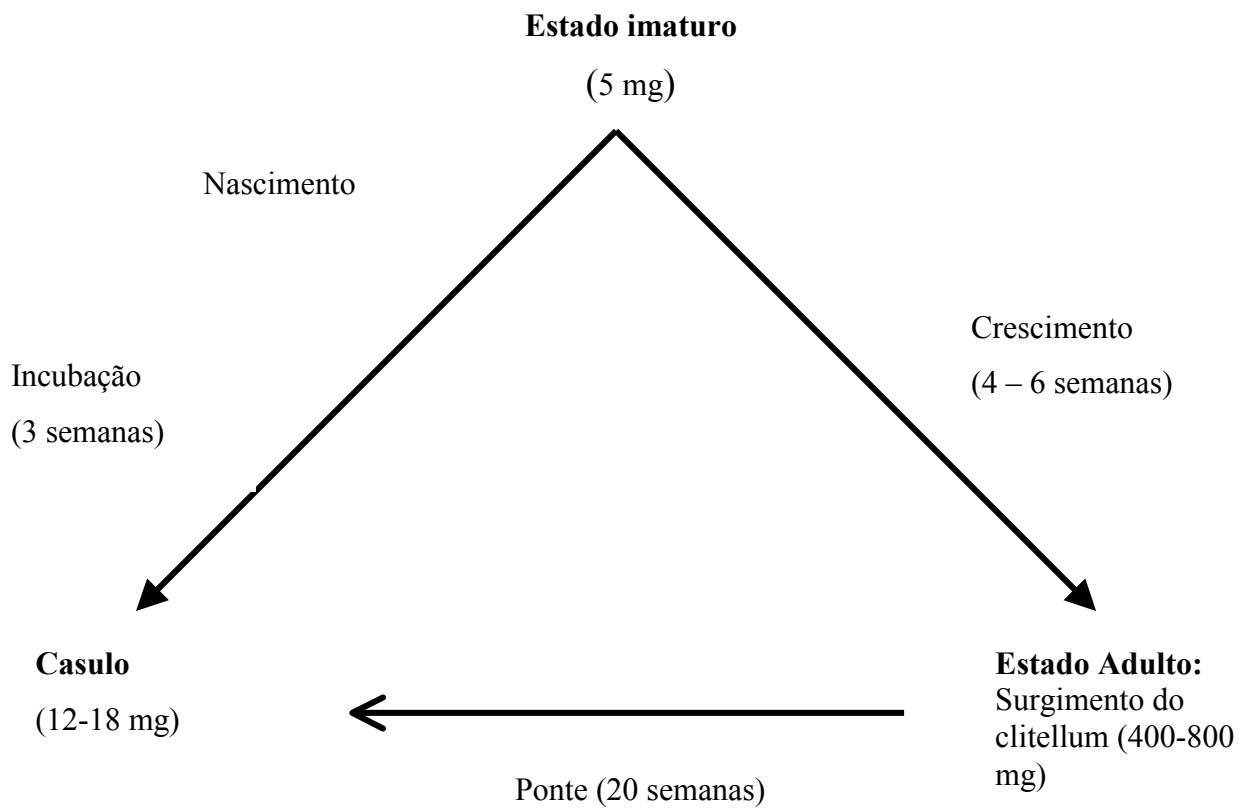
A família *Lumbricidae* é originária da Europa. A colonização europeia de outros continentes transportou consigo as minhocas, que face a novos solos e climas se tornaram frequentemente dominantes, substituindo em muitos casos as minhocas endémicas. Actualmente as minhocas de origem europeia encontram-se em quase todas as regiões do mundo de clima temperado.

Lumbricus terrestris é uma das minhocas mais comuns na Europa e na América do Norte. Vive numa vasta gama de habitats, incluindo pastagens, culturas extensivas, hortas, jardins, pomares e florestas. Alimenta-se de folhas e outros materiais vegetais, enterrando-os no solo.

Eisenia fetida é uma das espécies favoritas para utilização em vermicompostagem, pelo facto de ser muito prolífera e de se desenvolver bem em materiais orgânicos. Tolerava variações de temperatura e de humidade e pode ser facilmente manuseada. Embora frequentemente designada como “minhoca californiana”, é originária da Europa (Trautmann e Krasny, 1998).

Esquema 2 - Algumas características biológicas das minhocas (Anred, 1983, cit. Mustin, 1987)

Crescimento e reprodução a 25 °C



SISTEMAS DE COMPOSTAGEM

Compostagem em interiores

As condições ambientais prevalecentes numa determinada região e época do ano, podem ser fortemente limitativas para a condução de um processo de compostagem, tornando os períodos de decomposição demasiado alongados. Por este motivo a compostagem deve decorrer em condições protegidas, como por exemplo em telheiros. Porém, o espaço para compostagem pode ser limitativo, e nesse caso a utilização de bioreactores pode ser vantajosa. Não nos referimos aos bioreactores industriais, de grandes dimensões e complexidade, mas a sistemas de construção simples, capazes de compostar pequenos volumes de materiais orgânicos em relativamente curto espaço de tempo. Trata-se portanto de um sistema de compostagem à escala doméstica.

Bioreactores de dois tambores

Um sistema de compostagem deste tipo consiste num tambor idêntico aos que se utilizam como recipiente para o lixo, que se coloca dentro de um outro de maior dimensão (figura 6). Embora a capacidade destes recipientes seja reduzida, é contudo possível desenvolver no seu interior uma compostagem de características termofílicas.

O fundo do tambor de menor dimensão deve ser perfurado (15 a 20 furos, com um diâmetro de 1-2,5 cm). Na parte inferior do bordo do tambor maior, devem ser feitas 4 a 5 perfurações com 1-2,5 cm de diâmetro, protegidas interiormente com um pedaço de rede fina. No fundo do tambor maior deve construir-se um dreno, devendo para tal inserir-se logo acima da base (1-2 cm), um pedaço de tubo de PVC com uma secção de 1/2-3/4". O local do orifício deve ser selado com material apropriado (vedante de PVC ou espuma de formaldeído). A extremidade exterior do tubo pode ser tapada com uma rolha, que poderá ser retirada quando for necessário deixar correr o lixiviado do composto. A extremidade interior do tubo deve ser coberta com uma rede de malha fina, de modo a impedir a saída de partículas sólidas.

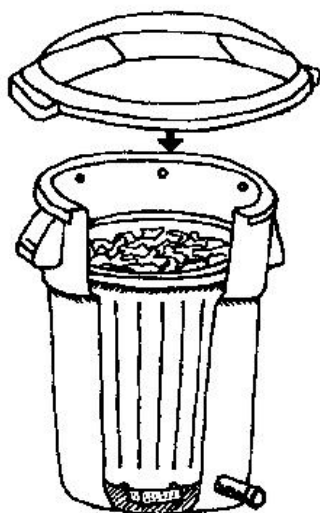


Figura 6 – Bioreactor de dois tambores (adaptado de Trautmann e Krasny, 1998).

No fundo do tambor de maior dimensão, deve ser colocado um pequeno bloco, de modo a permitir a acumulação de lixiviado entre os dois tambores. O terço inferior do tambor, deve ser preenchido com uma camada de material absorvente, como turfa ou composto maduro, a fim de reduzir cheiros desagradáveis.

À volta da tampa do tambor maior pode fazer-se um isolamento com fita apropriada, para evitar a intrusão de animais ou prevenir derrames acidentais.

O enchimento do reactor (tambor interior) deve iniciar-se com uma camada de 5 a 10 cm de materiais, tais como aparas de madeira, composto maduro ou ramagem triturada. O enchimento pode efectuar-se de uma só vez, ou ser periódico. O enchimento de uma só vez permite que a temperatura do material orgânico se eleve rapidamente a valores superiores a 40 °C. O enchimento progressivo produz acréscimos sucessivos do valor de temperatura, num período mais alongado. A elevação de temperatura está contudo dependente das características químicas e físicas dos materiais que compõem a

mistura. Para manter uma estrutura adequada, com conseqüente disponibilidade em oxigénio, não se devem comprimir muito os materiais de enchimento, sendo preferível dispô-los em camadas, agitando o conjunto para um correcto preenchimento dos espaços vazios.

Compostagem ao ar livre

De um modo geral, os sistemas de compostagem ao ar livre envolvem quantidades de matéria orgânica muito superiores às utilizadas nos bioreactores anteriormente descritos. De entre os sistemas mais utilizados, poderemos distinguir os de finalidade industrial, que envolvem grandes quantidades de matéria orgânica e os de finalidade doméstica, que se destinam a produzir composto para utilização em pequenas hortas, pomares ou jardins.

Um sistema de compostagem capaz de produzir entre 100 a 120 toneladas de composto por ano, já pode ser considerado comercial, pois envolve uma quantidade inicial de materiais orgânicos bastante significativa (200 a 350 toneladas).

Um pequeno sistema montado nas traseiras de uma horta ou de um jardim, pode envolver a utilização de 1 a 2 m³ de material fresco, o que pode conduzir a quantidades de composto final na ordem de 0,5 a 0,7 m³.

Compostagem em medas

Este tipo de compostagem envolve operações preparatórias importantes, tais como o cálculo de uma mistura em função dos ingredientes disponíveis, assim como o pré-tratamento dos materiais. O espaço e as condições para a compostagem são importantes. Para a capacidade de produção indicada, é necessária uma área de trabalho mínima, da ordem de 300 m². Se possível, o pavimento deve ser impermeabilizado, com declive suficiente para drenar os efluentes, devendo os mesmos ser canalizados para uma caixa colectora, de modo a poderem ser reciclados e reincorporados na massa em compostagem. A exposição à chuva ou ao efeito de arrefecimento causado pelo vento, pode limitar o processo. Para atenuar o efeito do vento, a construção de protecções laterais, recorrendo a construção em alvenaria ou à utilização de vários materiais (pneus, paletes, silos de terra, etc.), revela-se muito vantajosa. A característica hidrófoba de muitos dos materiais orgânicos, pode atenuar os efeitos da precipitação. Contudo, em caso de zonas muito pluviosas, a construção de um telheiro é essencial.

Por razões de ordem ambiental, o local de compostagem não deve estar situado próximo a habitações, mas deve ter acesso fácil a água e energia eléctrica. O fornecimento de água canalizada não deve ser feito em canalização de diâmetro inferior a 2 polegadas, para assegurar um bom caudal. Armazenar água pode constituir uma boa solução, embora o custo de aquisição de um tanque de dimensões adequadas possa ser elevado.

Independentemente da área destinada ao processo de compostagem propriamente dito, deve existir uma área anexa, onde os diversos materiais possam ser recebidos e acumulados. Os resíduos provenientes de aviários, cavaliças ou estábulos, devem ser amontoados, homogeneizados e humedecidos de acordo com as condições de recepção. Nesta fase, o teor médio em água deve situar-se entre 55 e 60%. Deve evitar-se que o valor da temperatura no seu interior se eleve acima de 40-45 °C.

Os resíduos lenhosos devem ser tratados de modo a obterem textura adequada. A trituração de resíduos lenhosos pode já ter sido feita no local de colheita. Para triturar resíduos lenhocelulósicos terá que se recorrer a equipamento especializado. O mercado dispõe de trituradores (também designados por estilhaçadores) de diferentes tipos. A

unidade motriz pode funcionar com um propulsor eléctrico ou a gasóleo, próprio ou acoplado (caso da acoplagem a um tractor). O sistema de corte pode ser constituído por martelos ou lâminas. Os sistemas acoplados a um tractor e equipados com lâminas de resistência abrasiva são muito eficientes, mas relativamente dispendiosos. O teor em humidade dos materiais lenhocelulósicos, pode limitar as capacidades do equipamento. Os moinhos de martelos, por exemplo, independentemente de poderem trabalhar a uma rotação elevada, têm uma tendência para empaparem, se a alimentação for demasiado húmida. Os moinhos de martelos são muito úteis para triturar determinados resíduos agrícolas, como é o caso de carolo de milho, casca seca de árvores, pinhas, etc. Neste caso, a utilização de crivos possibilita a obtenção de texturas adequadas ao fim em vista.

A trituração de palhas exige equipamento especial, de corte seccional. A palha enfardada corta-se mais facilmente do que a granel.

As serraduras não exigem trituração, mas quando se considere necessário, podem ser previamente crivadas, antes de serem utilizadas (caso da percentagem de pedras ser muito elevada). Tal como as palhas, as serraduras necessitam de um humedecimento prévio.

As palhas só devem ser humedecidas depois de cortadas. De acordo com a sua natureza, o processo de humedecimento das palhas pode ser mais ou menos demorado, nunca inferior a quatro ou cinco dias. Quanto à serradura, independentemente da sua constituição dominante, quanto mais fresca for, maior é o período de tempo necessário para o seu humedecimento.

À escala considerada, toda a operação de mistura deve ser realizada com a pá frontal de um tractor. A rega pode ser feita à mangueira, com o auxílio de um espalhador. O mercado dispõe de mangueiras resistentes à torção, apropriadas para grandes caudais.

Uma vez preparados os ingredientes, processo que no conjunto pode demorar cerca de uma semana, inicia-se a fase de mistura, de acordo com os cálculos estabelecidos.

Em primeiro lugar, deve-se misturar os materiais de natureza lenhocelulósica de diferentes texturas. Aos de textura mais grosseira, devem ser misturados os de textura mais fina, garantindo uma certa interpenetração de partículas.

Em seguida, incorporam-se os materiais orgânicos de origem animal, preferindo em primeiro lugar os menos reactivos. Um estrume de bovinos deve anteceder um estrume de aviário. Dos materiais muito reactivos (caso do estrume de galinha) deve incorporar-se apenas metade da dose calculada. A eventual incorporação de azoto mineral, deve seguir a mesma regra.

Durante dois ou três dias, deve proceder-se a uma homogeneização criteriosa, com as regas necessárias. Aqui aplica-se uma regra empírica para a determinação do teor óptimo de humidade: apertando com a mão uma amostra da mistura, o “ponto ideal” corresponde ao momento em que comecem a escorrer gotas de água entre os dedos.

O material assim amontoado e misturado, não deve exceder uma altura de 1 a 1,5 metros, podendo a largura atingir de 2 a 3 metros. Está assim constituída a “meda rasa” (figura 7). A temperatura no seu interior não se irá elevar a valores muito superiores a 40 – 45 °C; os materiais vão-se interligar e regista-se uma perda mais ou menos acentuada de efluentes por escorrência, que devem ser recuperados e utilizados na rega, caso a temperatura ambiente assim o justifique. A utilização de uma motobomba provida de filtro, torna-se imprescindível.

A “meda rasa” pode durar de 7 a 10 dias, procedendo-se então ao seu reviramento. Nesta ocasião incorpora-se o restante material orgânico (ou a sobra de

azoto mineral), misturando-o à restante massa. Pode ser necessário corrigir o teor em água. Constitui-se então a “meda alta” (figura 8), que em regra não deve ultrapassar 2 metros de largura e 1,80 m de altura. O comprimento é limitado pelo espaço disponível. Deve reservar-se um espaço suficiente entre as medas, para permitir a operacionalidade do próximo reviramento.



Figura 7 – Meda rasa

O amontoamento dos materiais pode ser dificultado pela sua textura e teor em humidade. Materiais de textura grosseira, como é o caso das aparas de madeira, são difíceis de amontoar, desborando-se as medas com facilidade, mesmo quando se adiciona serradura. As palhas, pelo contrário, dispõem-se melhor em camadas e garantem uma estrutura agregada, que facilmente assume a forma desejada.



Figura 8 – Meda alta

Para auxiliar a formação inicial das medas, garantindo dimensões constantes, é habitual utilizar dois taipais em madeira, que colocados a distância conveniente e escorados lateralmente, permitem que os materiais sejam amontoados a largura e altura pretendidas. Uma ligeira compressão superior, exercida pelo peso dos operadores, pode por vezes ser necessária, para garantir a coesão do conjunto. Contudo, de acordo com a textura e humidade dos materiais, esta prática pode ser desaconselhável. Os taipais podem acompanhar a evolução da construção da meda.

O número de reviramentos é determinado pela intensidade da actividade microbiológica. A temperatura atingida e a taxa de decomposição estão relacionadas com as características dos materiais iniciais e com as condições ambientais prevalentes, assim como pela metodologia utilizada.

Num processo de compostagem deste tipo, a taxa de perda de matéria orgânica, considerando uma relação carbono : azoto inicial ideal, varia entre 30 a 50%.

Compostagem em unidades estáticas

A compostagem em unidades estáticas proporciona um método simples e de baixo custo para a produção de composto, permitindo a reciclagem de vários tipos de materiais. É especialmente adaptada à compostagem de resíduos domésticos (restos de hortaliças, relva cortada, folhas, etc.), proporcionando uma produção contínua de composto, que vai sendo utilizado de acordo com as necessidades.

Em primeiro lugar, há que considerar a sua dimensão. O sistema envolve a utilização de mais de 1 m³ de matéria fresca. Segue-se a sua localização, devendo ser montado num local fresco, próximo de uma torneira e relativamente afastado da habitação.

O pavimento pode ser isolado com um pedaço de polietileno. O recipiente propriamente dito, pode ser constituído por vários tipos de materiais: redes de capoeira, paletes de madeira, pneus usados, etc. Constituindo uma forma cilíndrica ou rectangular, estes materiais devem caracterizar-se por permitirem bom arejamento e resistirem à acção do tempo e dos microrganismos (figura 9).

Em todas as situações, o sistema deve começar a ser preenchido com materiais mais lenhificados e de textura mais grosseira, seguindo-se os de textura mais fina e os resíduos mais ricos em azoto. Deve evitar-se a adição de restos de comida, pois podem atrair parasitas indesejáveis, tais como ratos. Os materiais orgânicos devem ser dispostos em camadas não muito espessas (10 a 15 cm), devendo alternar com camadas de solo (figura 10).

Em função da composição da mistura, a temperatura elevar-se-á tanto mais rapidamente, quanto maior for a quantidade de material utilizado, não sendo contudo de esperar temperaturas muito elevadas, o que implica uma decomposição relativamente lenta. Para larguras superiores a 1 metro, é de esperar a ocorrência de núcleos anaeróbios no centro e nas zonas inferiores do composto. Este problema pode atenuar-se inserindo uma estaca de madeira tratada ao centro e na vertical do sistema, de modo a perfurar toda a massa e atingir o fundo. A agitação periódica da estaca, proporciona condições de arejamento das zonas interiores.

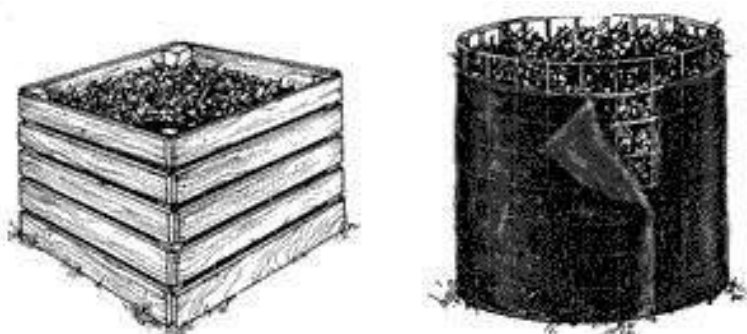


Figura 9 – Compostagem em unidades estáticas

Os materiais das camadas inferiores decompõem-se mais rapidamente, atingindo o ponto de maturação. A presença de anélidos, como as minhocas, pode constituir um bom indicador. O material maduro pode ser retirado do fundo, elevando ou soltando a estrutura exterior, adicionando-se novos constituintes frescos ao conjunto. A taxa de perda de matéria orgânica é elevada, podendo atingir valores da ordem de 50 a 60%.

Compostagem em unidades articuladas

Este sistema é constituído por várias unidades interligadas, com capacidade individual de 1 m³, permitindo que uma delas possa constituir espaço suficiente para revirar o composto que preencha a mais próxima (figura 11). Deste modo obtêm-se os benefícios do reviramento, nomeadamente aquecimento mais rápido e decomposição mais acelerada.

Adapta-se, tal como o sistema anterior, à compostagem de pequenos volumes de matéria orgânica, trabalhados manualmente.

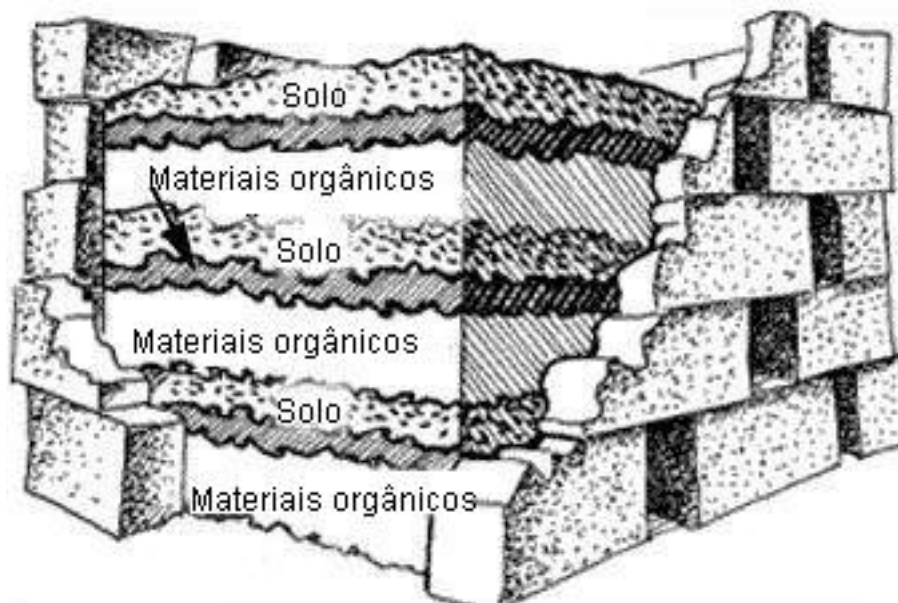


Figura 10 – Disposição das camadas em compostagem estática

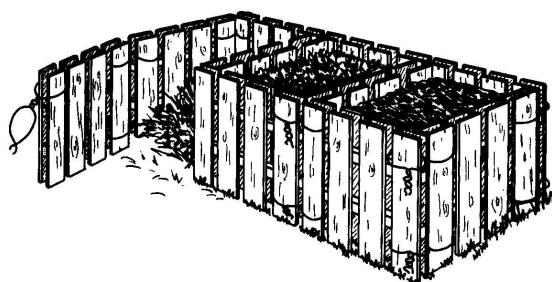


Figura 11 – Compostagem em unidades articuladas (adaptado de Trautmann e Krasny, 1998).

Vermicompostagem

A vermicompostagem, também designada por lombricompostagem, é uma técnica relativamente recente. Foi desenvolvida em vários países nos anos 30 do século passado, essencialmente para a produção de isco para pesca (Mustin, 1987).

Trata-se de uma compostagem realizada numa camada pouco espessa de material orgânico, conduzida de modo contínuo ou descontínuo.

Os principais parâmetros que regulam a actividade das minhocas são as boas condições de arejamento, um valor de humidade elevado (50 – 60%), temperatura moderada (25 °C), pH próximo da neutralidade (entre 6,5 e 8) e a presença de matéria orgânica fresca em quantidade e de boa qualidade.

As minhocas desenvolvem-se mal em materiais orgânicos frescos, demasiado ricos em azoto amoniacal. Estrumes frescos de aviário ou de cavalariças, não são colonizáveis por minhocas. Só depois de assegurada a decomposição termofílica desses materiais e uma vez reduzida a temperatura para valor conveniente, é que se verifica uma colonização natural. Estrumes “frios”, como os de porco ou de coelho, são mais rapidamente colonizados.

Resíduos domésticos, como restos de hortaliças e frutas, misturados com materiais mais ricos em celulose, como as serraduras, folhas secas, relva cortada, entre outros, podem proporcionar um bom substrato para o desenvolvimento das minhocas. A relação carbono : azoto não deve ser muito elevada. É importante que o substrato disponibilize cálcio suficiente, essencial para o metabolismo das minhocas.

Uma minhoca adulta dá origem a uma descendência de 1000 a 1500 minhocas por ano (Mustin, 1987). Em geral, utiliza-se uma densidade de 10 000 a 40 000 minhocas por m² de composto (Mustin, 1987), o que equivale, respectivamente, a 5 e 20 kg de minhocas frescas. Uma massa de 10 kg de minhocas consome de 1 a 2,75 kg de matéria seca por dia (Mustin, 1987).

A nível comercial, existem vários métodos de produção de vermicomposto. O mais simples, consiste na construção no solo, de pequenas valas, também designadas por trincheiras, pouco profundas (50 – 100 cm), revestidas por material semi-permeável. São preenchidas com a mistura orgânica e “semeadas” com uma densidade adequada de minhocas, variável de acordo com a sua superfície. As valas não devem ter exposição directa, tanto ao Sol, como à precipitação intensa. O local deve ser arejado e protegido contra a acção de predadores (ratos e pássaros, principalmente). Trata-se de um método de baixo investimento inicial e de controlo limitado de algumas das condições essenciais para a actividade das minhocas, tais como a temperatura, o arejamento e a humidade. Uma vez decomposta a matéria orgânica, é necessário separar as minhocas, recorrendo a processos de crivagem. A crivagem, no caso de ser manual, pode ser um processo moroso e a mecânica é eficiente, mas pode ser dispendiosa. De um modo geral, a crivagem pode causar lesões ao organismo das minhocas, enfraquecendo-as e limitando a sua reutilização. Por vezes as minhocas resultantes da crivagem são congeladas e vendidas posteriormente como alimento para peixes.

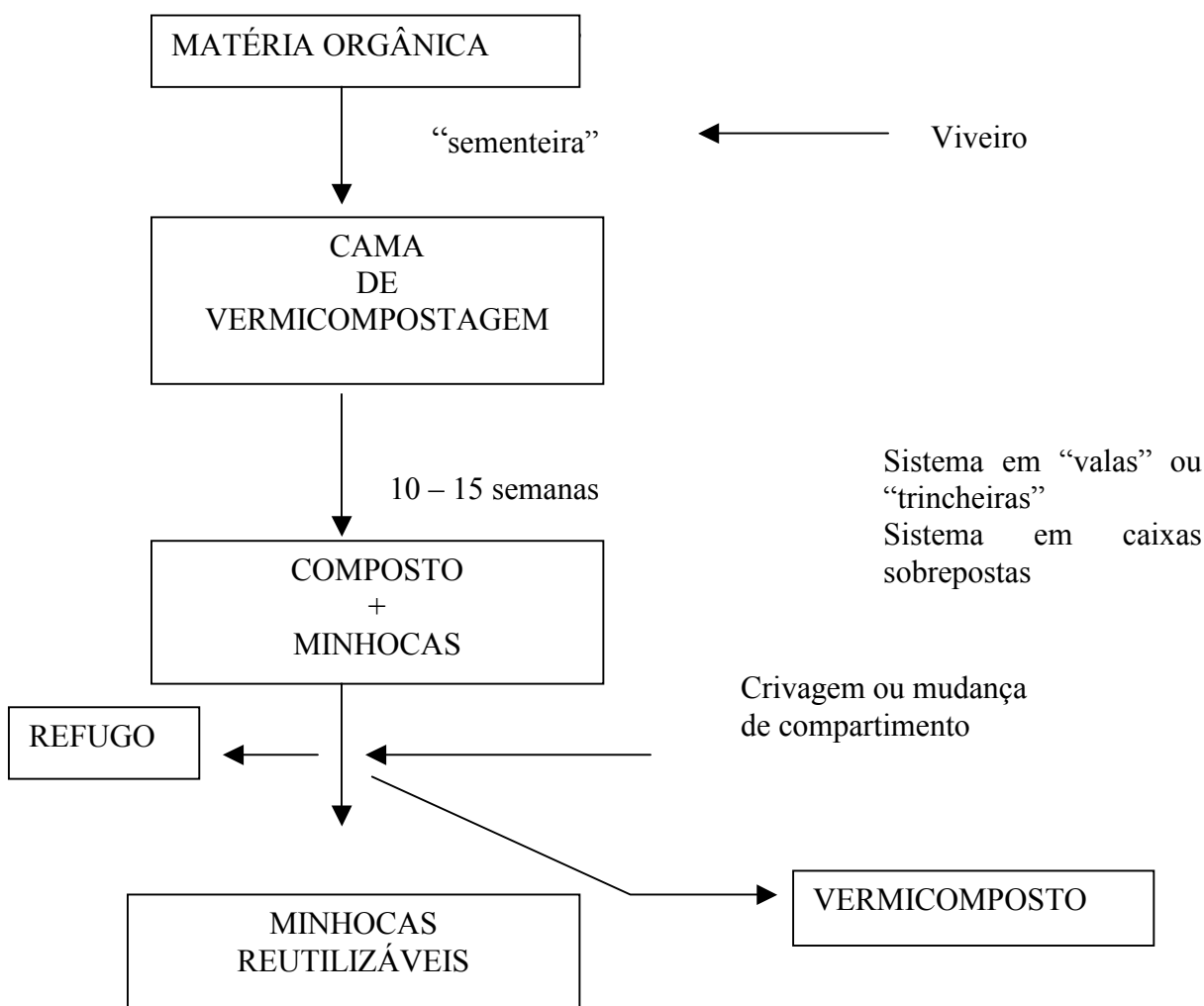
Um outro processo, de características mais industriais, consiste na compostagem em caixas sobrepostas, de fundo removível, coberto com rede de malha com dimensões adequadas, que permite que uma vez decomposta a matéria orgânica da caixa superior, as minhocas migrem para a seguinte, assegurando uma separação natural. O processo permite uma notável economia em espaço. Pode ser conduzido em recinto fechado, desde que se providenciem as necessárias condições ambientais.

Qualquer dos métodos implica a existência de um viveiro, para produção de reprodutores (também designados como “matrizes”). A produção de “matrizes” implica uma escolha criteriosa de materiais orgânicos, no sentido de evitar a contaminação por organismos patogénicos, prejudiciais para as minhocas.

Existem firmas especializadas na produção e comercialização de “matrizes”. As mesmas firmas também podem comercializar casulos. Neste caso, é necessário reunir condições para a incubação e crescimento, até se atingirem as formas adultas, o que pode demorar de dois a dois meses e meio.

Quanto ao produto final, o vermicomposto, não é excepcionalmente rico ou enriquecido pela acção das minhocas. A qualidade do vermicomposto reflecte essencialmente a composição da mistura inicial. A vantagem comparativa da vermicompostagem pode residir em menores perdas em azoto e num melhor poder de agregação da matéria orgânica, facto que pode estar relacionado com a riqueza em

polissacáridos do muco das minhocas. O vermicomposto é normalmente mais humificado, quando comparado com compostos produzidos por outros métodos.



Esquema 3 – Organização da produção de vermicomposto (adaptado de Mustin, 1987)

De um modo geral, o vermicomposto é rico em sais. Quando utilizado isoladamente em produção hortícola, pode limitar o processo germinativo ou de desenvolvimento de plantas mais sensíveis aos sais.

As minhocas podem acumular metais pesados, razão pela qual não se devem utilizar resíduos sólidos urbanos em vermicompostagem. Existem indícios de que a acção das minhocas pode diminuir os teores em organismos patogénicos, pelo que poderão ser utilizadas em processos de despoluição.

Para muitos autores, a vermicompostagem deve ser essencialmente utilizada como uma técnica para acelerar a maturação do composto. No entanto, em função das características dos materiais orgânicos disponíveis, a utilização de vermicomposto em hortofruticultura pode revelar-se muito vantajosa, tudo dependendo dos custos económicos da operação.

CÁLCULO DE MISTURAS PARA COMPOSTAGEM

Independentemente de se conseguirem as condições materiais para executar um processo de compostagem, o seu sucesso passa inevitavelmente pelo conhecimento, o mais pormenorizado possível, das características dos ingredientes, para se poder avaliar a validade das possíveis misturas, tendo em vista a produção de um substrato que possa ser utilizado com vantagem pelas plantas.

Tal como na culinária, também aqui podem surgir receitas, de maior ou menor sucesso, de acordo com a habilidade e sensibilidade do “cozinheiro”. Todavia, as características dos ingredientes podem variar, o que acontece com frequência, aumentando as probabilidades das receitas falharem. É necessário portanto entender, pelo menos no essencial, as regras que determinam as misturas.

Escolha dos ingredientes

Humidade

Referimo-nos anteriormente à importância da água no funcionamento do metabolismo dos organismos decomponentes da matéria orgânica. Independentemente do teor em água de cada um dos ingredientes da mistura, é necessário entender que se verificará uma tendência para que alguma água se transfira dos materiais mais húmidos para os mais secos, afectando o valor final em humidade do conjunto. De um modo geral, o valor óptimo de humidade da mistura deve situar-se entre 50 a 60%.

A partir destes valores poder-se-á calcular um valor médio da humidade de uma mistura, tendo em atenção a proporção de cada componente. Os valores obtidos dificilmente corresponderão à realidade, sendo necessário assumir uma margem de erro. É portanto aconselhável, sempre que possível, proceder à determinação do valor representativo de percentagem de humidade da mistura.

A operação é relativamente simples. A primeira regra reside numa amostragem correcta. Devem colher-se pequenas amostras (3 a 6) de vários pontos da mistura, escolhidos de modo aleatório. As amostras, de volume individual correspondente a uma mão cheia, podem ser colocadas dentro de um balde e criteriosamente misturadas. Da mistura retiram-se três novas amostras com um peso individual de 10 g, que podem ser colocadas em três formas de alumínio ou material equivalente, previamente pesadas. As formas devem ser colocadas dentro de um forno, regulado para 105-110 °C, a fim de proceder à secagem do material. A utilização de um forno de microondas é possível, mas exige muita experiência e um aparelho bem regulado, de modo a que a amostra venha a atingir peso constante. O período de secagem em forno é de 24 horas. Seguidamente, retiram-se as formas do forno e procede-se à sua pesagem. É necessário então efectuar os seguintes cálculos:

$$PMF = Pt - Pf \quad [1]$$

$$PMS = Pt - Pf \quad [2]$$

em que:

PMF – peso do material fresco

PMS – peso do material seco

Pt – peso total da amostra

Pf – peso da forma (tara)

$$PHM = \frac{PMF - PMS}{PMF} \times 100 \quad [3]$$

em que:

PHM – percentagem de humidade da mistura

PMF – peso do material fresco

PMS – peso do material seco

Relação carbono : azoto

Como anteriormente se referiu, para além do teor em água, a relação entre disponibilidade em carbono total e a disponibilidade em azoto total de uma mistura é determinante para a acção eficiente dos vários grupos de microrganismos responsáveis pelo processo de decomposição.

Materiais vegetais mais lenhificados, de cor mais acastanhada, serão, em princípio, mais ricos em carbono. Pelo contrário, os materiais de natureza herbácea são em geral verdes e tendem a possuir mais azoto.

A qualidade dos estrumes é função da natureza, alimentação e tipo de actividade dos animais que os produziram, assim como das características dos materiais vegetais que lhe são adicionados (as camas). O tipo de metabolismo, alimentação, actividade e cama das aves em aviário, faz do seu estrume um dos mais ricos em azoto, sobretudo amoniacal, o que o classifica entre os estrumes “quentes”, devido aos processos termogéneos a que dá origem. Pelo contrário, o estrume de suínos enquadra-se no grupo dos estrumes “frios”, de menor reactividade, devido à sua composição característica. A tabela do anexo 2, refere-se aos valores da relação carbono : azoto característicos de vários resíduos de natureza vegetal e animal. Convém aqui realçar que o valor do carbono total pode ser calculado de duas maneiras, podendo dar origem a valores de relação carbono : azoto bastante diferentes. Para muitos autores, o carbono total é calculado como 47% da matéria orgânica. Para outros, o carbono total é obtido pelo quociente do valor de matéria orgânica por 1,8. Este último método conduz a valores de relação carbono : azoto superiores ao do primeiro.

Cálculo simultâneo da humidade e da relação carbono : azoto

Na tentativa de obter uma mistura adequada para um determinado objectivo, é possível proceder ao cálculo da humidade e da razão carbono : azoto dos ingredientes, individualmente e em conjunto. Em álgebra, este objectivo pode atingir-se através da resolução simultânea de várias equações. Tom Richard, da Universidade de Cornell, desenvolveu uma folha de cálculo para resolução simultânea das várias equações, que nós adaptámos e utilizamos no cálculo de misturas para compostagem (ver exemplo, quadro 1).

A utilização da folha de cálculo é relativamente simples. Em primeiro lugar, é necessário definir os objectivos da compostagem, em termos de percentagem de humidade e relação carbono : azoto iniciais da mistura. Conhecidas as características dos ingredientes, no que respeita ao seu teor em humidade e disponibilidade em carbono e azoto e conhecendo a quantidade a aplicar de um ou mais dos componentes, é possível calcular a massa dos restantes, em função dos objectivos pretendidos. A escolha da massa a utilizar na mistura, depende das características dos materiais disponíveis. Se se pretender iniciar a compostagem com uma percentagem de humidade elevada e se de entre os ingredientes disponíveis, existirem vários com valores de percentagem de humidade iguais ou superiores à pretendida, e um deles com valor manifestamente

inferior, será precisamente este último ingrediente que deve ser escolhido como o de massa desconhecida. É difícil diminuir a percentagem de humidade de uma mistura, adicionando um material húmido. O mesmo raciocínio deve ser feito em relação à razão carbono : azoto.

A obtenção de resultados negativos, indica que não é possível atingir os objectivos propostos a partir da mistura considerada. Deve-se utilizar outros ingredientes, ou reavaliar os objectivos

Em termos de massa de cada ingrediente, a utilização do valor de carbono total, pode conduzir à obtenção de resultados superiores aos que se obteriam se se utilizasse apenas a percentagem de carbono disponível. Este problema é particularmente válido quando se tratar de ingredientes de natureza lenhocelulósica, razão pela qual quando se compostam materiais deste tipo, se deva utilizar como objectivo uma relação carbono : azoto mais elevada. O valor de carbono disponível pode ser obtido através da determinação do teor em fibras.

UTILIZAÇÃO DE COMPOSTOS EM HORTOFRUTICULTURA

Enquanto actividade agrícola intensiva, a prática hortofrutícola beneficia bastante com a adição de matéria orgânica decomposta. Aliás, a noção generalizada dos benefícios do húmus, está associada ao aumento de fertilidade.

Na realidade, é ideia consensual de que a adição de composto ao solo contribui, entre outras vantagens, para o aumento da capacidade de retenção de água, para o fornecimento de nutrientes e para a supressão de algumas doenças, razões suficientes para justificar o aumento de produção das culturas.

Porém, a resposta à adição de composto é frequentemente tanto mais pronunciada quanto menor for a intensificação cultural, ou quando as plantas se encontrarem sob condições de stress ambiental.

A adição de composto ao solo aumenta a eficiência da utilização de fertilizantes minerais, respondendo as plantas mais positivamente à sua acção conjunta, do que quando considerados separadamente. Na verdade, os níveis de nutrientes no composto nem sempre se encontram nas proporções mais correctas para utilização pelas plantas. A aplicação de grandes quantidades de composto ao solo, pode conduzir à acumulação excessiva de um determinado nutriente, com consequências para o ambiente e para a qualidade do produto final. O mesmo acontece com a utilização de vermicomposto.

Finalmente, o composto pode conter poluentes potencialmente perigosos, tais como metais pesados e organismos prejudiciais à saúde. Contrariamente ao que se poderá supor, este perigo não resulta apenas da utilização de composto proveniente da decomposição de resíduos sólidos urbanos. A utilização de estrumes animais pode envolver a contaminação com metais pesados, dependendo da qualidade da sua alimentação ou do tipo de tratamentos veterinários a que tenham sido submetidos.

MANUAL DE COMPOSTAGEM

João Guilherme Ferreira Batista & Edite Romana Bessa Batista
2003

Folha de cálculo da massa dos diferentes ingredientes.

(Adaptado de Tom Richard, Department of Agricultural and Biological Engineering, Cornell University,
<http://www.cbe.cornell.edu/com-post/calc/1b.htm>)

Ingredientes	% Humidade	% Carbono	% Azoto	Massa (kg)
Banksia	50,0	46,0	1,0	250,00
Aparas	50,0	47,0	0,1	120,00
Serradura	70,0	46,0	0,1	10,00
Estr. Frango	46,5	38,8	2,6	

Cálculo da percentagem de humidade da mistura:
Cálculo da relação C/N da mistura:

Cálculo da massa dos diferentes ingredientes, em função dos objectivos a atingir:

% Humidade
Relação C/N

Cálculo da massa do terceiro ingrediente: Serradura

Para atingir a percentagem de humidade pretendida:

Para atingir a relação C/N pretendida:

Cálculo da massa do quarto ingrediente, conhecendo a dos restantes, em função dos mesmos objectivos a atingir:

Cálculo da massa do quarto ingrediente: Estr. Frango

Para atingir a percentagem de humidade pretendida:

Para atingir a relação C/N pretendida:

Cálculo da massa de dois ingredientes para uma mistura de três componentes, conhecendo a do primeiro, em função dos objectivos anteriormente pretendidos:

Cálculo da massa do segundo ingrediente: Aparas

Cálculo da massa do terceiro ingrediente: Serradura

Cálculo da massa do terceiro e quarto ingredientes, para uma mistura de quatro componentes, em função dos objectivos anteriormente pretendidos:

Cálculo da massa do terceiro ingrediente: Serradura

Cálculo da massa do quarto ingrediente: Estr. Frango

Quadro 1 – Folha de cálculo da massa dos diferentes ingredientes (adaptada de Tom Richards, Cornell Composting, Science & Engineering)

Referências bibliográficas

Dindal, D.L. (1978). Soil organisms and stabilizing wastes. *Compost Science and Land Utilization*, 19(8): 8-11.

Encyclopedia Britannica (2003). “Enzyme” *Encyclopedia Britannica* from Encyclopedia Britannica Premium Service.

(<http://www.britannica.com/eb/article?eu=33311>). [Acedido, Março, 10, 2003].

Epstein, E. (1997). *The Science of Composting*. Technomic Publishing Company, Lancaster.

Mustin, M. (1987). *Le compost. Gestion de la matière organique*. Éditions François Dubusc. Paris.

Richard, T. (2003). Solving the moisture and carbon – nitrogen equations simultaneously. *Cornell Composting, Science & Engineering*.

(<http://www.cfe.comell.edu/compost/calc/simultaneous.html>). [Acedido, Março, 10, 2003].

Trautmann, N.M., Krasny, M.E. (1998). *Composting in the classroom. Scientific inquiry for high school students*. Kendall / Hunt Publishing Company.

ANEXO 1

Características de algumas matérias primas utilizadas em compostagem

Material	% Humidade	% C	% N	C/N
Algas	53	32,3	1,9	17
Aparas de madeira	50	47	0,09	522
Estrumes				
- cavalo	72	48	1,6	30
- vaca	81	45,6	2,4	19
- porco	80	43,4	3,1	14
- ovelha	69	43,2	2,7	16
- galinha	69	48	8	6
- pintos	37	37,8	2,7	14
Fenos	10	11,4	2,1	24
Folhas	12	56	0,7	80
Madeiras duras	-	50,4	0,09	560
Madeiras moles	-	57,6	0,09	640
Palhas	12	56	0,7	80
Podas				
-arbustos	15	53	1,0	53
-árvores	70	49,6	3,1	16
Ramada incenso	80	45	0,95	47
Ramada banksia	50	46	0,98	45
Relva (corte)	82	57,8	3,4	17
Restos de fruta	80	56	1,4	40
Restos de legumes	-	52	4	13
Restos de pescado	76	38,2	10,6	3,6
Restos de sangue (matadouro)	78	49	14	3,5
Serradura	70	46	0,14	329
Silagem de milho	68	60,2	1,4	43