



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Florestas
Ministério da Agricultura e do Abastecimento

ISSN 1517-526X

Documentos 87

Compostagem de Resíduos Florestais: um guia para produção de húmus através da reciclagem e aproveitamento de resíduos florestais

Claudia Maria Branco de Freitas Maia
Cristiane Regina Budziak
Ronei Ezequiel da Paixão
Antonio Salvio Mangrich

Colombo, PR
2003

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Florestas

Estrada da Ribeira, km 111 - CP 319

83411-000 - Colombo, PR - Brasil

Fone: (41) 666-1313

Fax: (41) 666-1276

Home page: www.cnpf.embrapa.br

E-mail: sac@cnpf.embrapa.br

Para reclamações e sugestões Fale com o ouvidor:

www.embrapa.br/ouvidoria

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Luciano Javier Montoya Vilcahuaman

Secretária-Executiva: Guiomar Moreira Braguinha

Membros: Antônio Carlos de S. Medeiros, Edilson B. de Oliveira,

Erich G. Schaitza, Honorino R. Rodigheri, Jarbas Y. Shimizu,

José Alfredo Sturion, Patricia P. de Mattos, Sérgio Ahrens,

Susete do Rocio C. Penteadó

Supervisor editorial: Luciano Javier Montoya Vilcahuaman

Normalização bibliográfica: Elizabeth Câmara Trevisan

Lidia Woronkoff

Editoração eletrônica: Cleide da S. N. Fernandes de Oliveira

Fotos: Amilton J. Baggio (p.22); Césio Righesso (p.14); Claudia

Maia (p.1 O, 21, 26, e 27; Francisco Santana (capa e p. 25)

Rosana C. Higa (p.15 foto na parte superior)

1ª impressão (2003): 1000 exemplares

Todos os direitos reservados.

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

CIP-Brasil. Catalogação na publicação

Embrapa Florestas

Com postagem de resíduos florestais: um guia para produção de

húmus através da reciclagem e aproveitamento de resíduos

florestais / Claudia Maria Branco de Freitas Maia ... [et al.] -

Colombo: Embrapa Florestas, 2003.

28 p. (Embrapa Florestas. Documento, 87)

ISSN 1517-526X

1. Compostagem. 2. Resíduo orgânico. 3. Húmus. I. Maia, Claudia Maria Branco de Freitas. II. Budziak, Cristiane Regina. III. Paixão. Ronei Ezequiel da. IV. Mangrich, Antonio Salvio.

CDD 631.875 (21. ed.)

e Embrapa 2003

Autores

Claudia Maria Branco de Freitas Maia
Engenheira-Agrônoma, Doutora, Pesquisadora da
Embrapa Florestas.
maia@cnpf.embrapa.br

Cristiane Regina Budziak
Química, Mestre, Universidade Federal do Paraná
crisbk@quimica.ufpr.br

Ronei Ezequiel da Paixão
Físico, Mestre, Tecpar
ronei@tecpar.br

Antonio Salvio Mangrich
Químico, Doutor, Professor da Universidade Federal do
Paraná.
mangrich@quimica.ufpr.br

Apresentação

Este documento é uma amostra do que é possível fazer, em termos de transferência de tecnologia para o setor produtivo da sociedade, a partir de novos conhecimentos científicos gerados pelas universidades em parceria com as empresas. Embora tratando de aspectos práticos, o trabalho envolve conhecimentos científicos avançados. Exemplifica a maneira moderna de se dar destino a rejeitos da indústria madeireira que, se não utilizados, ficariam como fonte de poluição e desequilíbrio ambiental. Com a realização da pesquisa, de onde este documento derivou, foram produzidas uma dissertação de mestrado e uma tese de doutorado, produtos da pesquisa nas universidades que, na maioria das vezes leva somente a publicações científicas. Aqui, além das indispensáveis publicações científicas, transfere-se também para os agricultores e empresas conhecimentos de última geração, beneficiando a sociedade como um todo. As pessoas podem usar este documento para conduzir, de modo econômico e adequado, com postagem de resíduos da indústria madeireira e, também para se iniciarem nos intrincados detalhes da compostagem. Os autores gostariam de ter notícias sobre a receptividade e nível de entendimento que os leitores tiveram desta obra (mangrich@quimica.ufpr.br). Somos gratos ao Departamento de Química da Universidade Federal do Paraná, ao Programa Paraná 12 meses da Secretaria de Agricultura do Estado do Paraná, à Embrapa Florestas, Colombo, PR, ao Dipartimento di Scienze dei Suolo, della Pianta, e dell' Ambiente da Università di Napoli Federico II, em Portici, Itália, à Tibagi Ambiental, São José dos Pinhais, PR, à Fundação Araucária da Secretaria/de Ciência Tecnologia e Ensino Superior do Paraná, à CAPES/MEC e ao CNPq/MCT.

Antonio **Salvio Mangrich**

Professor da Universidade Federal do Paraná.

Sumário

1. Resíduos florestais e o ambiente	9
2. A compostagem	10
2.1 Qualidade do Composto	12
2.2 Substâncias Húmicas	13
3. O que pode ser compostado	13
4. O que influencia a velocidade de compostagem	16
<i>a) aeração</i>	16
<i>b) temperatura</i>	16
<i>c) umidade</i>	17
<i>d) relação carbono/nitrogênio</i>	18
<i>e) estrutura</i>	18
<i>f) acidez e pH</i>	18
5. Como preparar uma boa mistura de resíduos	19
6. Tipos de compostagem e reatores	19
7. A compostagem da serragem	22
8. Usos do composto e produtos comerciais	26
9. Conclusões	27
10. Referências bibliográficas	27

Compostagem de Resíduos Florestais: um guia para produção de húmus através da reciclagem e aproveitamento de resíduos florestais

Claudia Maria Branco de Freitas Maia

Cristiene Regina Budziak

Ronei Ezequiel da Paixão

Antonio Salvio Mangrich

1. Resíduos florestais e o ambiente

No Brasil, um sério problema ambiental é a contaminação dos solos e de lençóis freáticos por causa do acúmulo de resíduos das indústrias madeireiras, tais como serragem, cascas, cepilhos, etc.

Cerca de 14% do volume de toras processadas em serrarias da Região Sul do Brasil se transformam em serragem. Embora parte deste volume seja usado como combustível ou como componente da indústria de chapas, existe um grande excedente não utilizado, principalmente nas pequenas serrarias, onde o rendimento no processamento é geralmente mais baixo. Normalmente, parte desta serragem é queimada ou disposta em aterros inadequados, acarretando o desprendimento de chorumes, de alta carga orgânica tóxica, provocando danos ao ambiente, principalmente em córregos, rios e mananciais de uso municipal.

O grande volume de resíduos gerados pelas indústrias de transformação da madeira é um problema existente em praticamente todas as serrarias brasileiras.

Embora as empresas modernas incluam em sua atividade o gerenciamento ambiental e o aproveitamento integrado de seus subprodutos, a maioria das serrarias instaladas ainda está despreparada para o descarte apropriado de seus rejeitos. O sistema mais utilizado no descarte é o depósito a céu aberto em pátios desprovidos de controle ambiental.

O acúmulo de serragem no ambiente traz grandes problemas, principalmente pelo desprendimento de chorumes tóxicos que acabam atingindo os recursos hídricos.



Por outro lado, práticas agrícolas inadequadas tornam os solos áridos, erodidos e inférteis. A adição no solo de matéria orgânica originada das atividades industriais ajuda na recuperação da fertilidade dos solos e é uma maneira promissora de reciclar estes materiais que antes eram desperdiçados.

Resíduos orgânicos, de origem industrial ou agrícola são fontes importantes de carbono (C) proveniente de diversos ecossistemas. O C contido em florestas e nos solos contribui significativamente para a imobilização e o seqüestro deste elemento, evitando o aumento de gases atmosféricos de efeito estufa e, portanto, contribuindo para o menor aquecimento do planeta.

2. A compostagem

Há muito tempo, por todo o mundo, agricultores espalham esterco animal e outros dejetos orgânicos no campo para melhorar a fertilidade do solo. A aplicação de resíduos orgânicos no solo requer, no entanto, que estes materiais sejam apropriadamente tratados. Resíduos orgânicos, de origem animal ou vegetal, apresentam várias espécies de microorganismos e alguns deles podem ser perigosos para a saúde de animais e plantas.

A COMPOSTAGEM é geralmente considerada o processo mais eficiente de tratamento e estabilização de resíduos orgânicos, produzindo a custos aceitáveis um produto higiênico e útil: o COMPOSTO.

A compostagem é definida como um processo biológico e aeróbio de tratamento de resíduos orgânicos para a produção de composto. A compostagem elimina fatores adversos ao meio ambiente, causados pela degradação não controlada da biomassa, e aumenta o valor nutricional do composto resultante em relação ao material de partida.

Na compostagem atuam diferentes microorganismos, tais como fungos, bactérias e actinomicetos, que podem ser agrupados em duas classes quanto à resistência à temperatura do substrato: os microorganismos mesófilos, os quais atuam a temperaturas ótimas entre 25° C e 40° C e os microorganismos termófilos, os quais atuam a temperaturas ótimas entre 50° C e 60° C. O processo da compostagem consiste, de modo simplificado, em 3 etapas:

- uma breve fase inicial onde microorganismos mesófilos atuam;
- uma fase intermediária onde atuam microorganismos termófilos;
- uma fase de maturação, onde microorganismos mesófilos voltam a dominar e onde ocorrem os principais processos da humificação.

Em um sistema de boa eficiência, a fase termófila se instala já nos primeiros dias de compostagem. Nesta fase, ocorre intensa atividade biológica com alto consumo de oxigênio (O) e alta produção de dióxido de carbono (CO₂). Neste momento, o regime de aeração é fundamental para o sucesso e a velocidade da compostagem.

O principal componente orgânico do composto é o HÚMUS, que é também o principal componente da matéria orgânica natural (MON). O termo húmus remonta ao tempo dos antigos romanos e tem sido usado tanto para descrever os constituintes húmicos e não húmicos da MON, quanto como sinônimo de SUBSTÂNCIAS HÚMICAS (SH). O termo húmus será definido aqui como o conjunto de substâncias orgânicas do solo, excetuando-se os tecidos biológicos não degradados, seus produtos de decomposição e a biomassa total do solo. O húmus possui propriedades físico-químicas inteiramente diferentes do material vegetal ou animal original.

A adição de húmus ou composto ao solo pode aumentar sua fertilidade e produtividade agrícola. Por outro lado, a adição de matéria orgânica não

amadurecida no solo causa vários problemas relacionados com a fertilidade, sanidade e erosão dos solos.

2.1 Qualidade do Composto

Dois termos definem a qualidade do composto quanto ao seu grau de decomposição: a ESTABILIDADE e a MATURIDADE. A estabilidade está relacionada à atividade microbiana e a maturidade ao potencial de crescimento vegetal. Compostos instáveis contêm altas quantidades de matéria orgânica facilmente degradável e sua aplicação no solo pode levar à perda de MON e quebra de estrutura e erosão dos solos. Além disso, compostos instáveis podem afetar a atividade microbiana, causar deficiência de nitrogênio e oxigênio no solo e mesmo liberar substâncias fitotóxicas no ambiente. A maturidade do composto está relacionada com a presença de SH no composto, que são produzidas principalmente no último estágio da compostagem ou na fase de maturação. A caracterização química de SH ao longo do processo de compostagem é, portanto, uma etapa fundamental para compreender o processo de humificação e suas implicações na qualidade do composto.

A adição regular de MON e SH no solo melhora suas propriedades químicas e físicas através da:

- função nutricional, servindo como fonte de nutrientes para as plantas, especialmente N, P e micronutrientes;
- função biológica, incrementando a atividade microbiana benéfica e aumentando a diversidade biológica;
- função físico-química, promovendo a estruturação adequada, melhorando a aeração, a retenção de umidade, a capacidade de troca catiônica (CTC) e a capacidade tampão do solo.

Além disso, a MON interage com diversos poluentes, incluindo metais pesados, pesticidas, herbicidas, etc., diminuindo o potencial tóxico e aumentando a velocidade de degradação dos contaminantes.

2.2 Substâncias Húmicas

Durante a compostagem, parte da MON é mineralizada a CO_2 , a amônia (NH_3) e a água (H_2O), e outra parte é transformada em substâncias húmicas. As SH constituem um conjunto complexo de substâncias orgânicas, resultantes de transformações microbianas e químicas. Nos solos, as SH podem constituir mais de 80% da MON.

Os ácidos húmicos (AH), ácidos fúlvicos (AF) e humina (HU) são as principais frações dos componentes húmicos da MON. A fração AH é solúvel a pH alcalino, a fração AF é solúvel a qualquer valor de pH e a fração HU é insolúvel a toda faixa de pH.

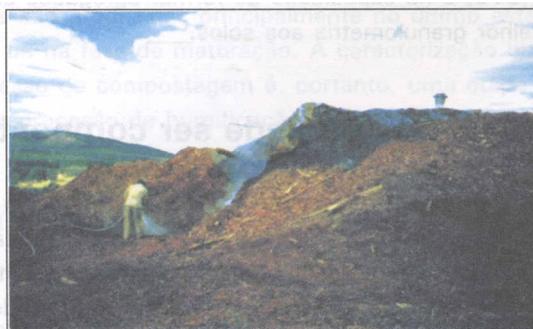
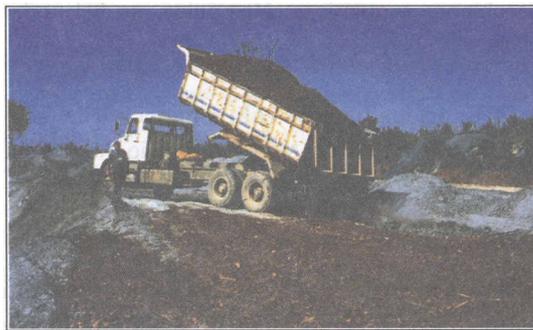
A natureza química e a reatividade das substâncias húmicas ditam as propriedades físicas, químicas e bioquímicas do solo, interferindo principalmente na (CTC) e na capacidade de formar agregados estáveis, conferindo uma melhor granulometria aos solos.

3. O que pode ser compostado

Tradicionalmente, são compostados materiais de origem agrícola. Este tipo de material em geral é isento de contaminantes e, quando compostado corretamente, produz fertilizante orgânico de boa qualidade e apto para uso nas lavouras. Porém, atualmente, o composto pode ser produzido de outras fontes orgânicas como:

- resíduos de indústrias agrícolas ou de alimentos - em geral estes resíduos são boa fonte de matéria orgânica e isentos de contaminação. A relação carbono/nitrogênio (C/N) pode variar muito. Leguminosas são fontes ricas em N e gramíneas em C. A mistura destes dois tipos de material é quase sempre adequada;
- resíduos da horticultura de áreas urbanas e jardinagem (restos de poda, folhas de árvores e gramas) - estes resíduos podem estar contaminados por chumbo proveniente da queima da gasolina e com outros metais produzidos por atividades urbanas (zinco e cádmio, por exemplo). Recomenda-se proceder a análise de metais do composto pronto, uma vez que existe a tendência à acumulação destes contaminantes após a compostagem;

- lodos municipais - a compostagem destes materiais com outros resíduos ricos em carbono é uma maneira de diluir o teor de contaminantes a níveis ambientalmente aceitáveis. Geralmente é um resíduo prontamente disponível e de baixo custo;

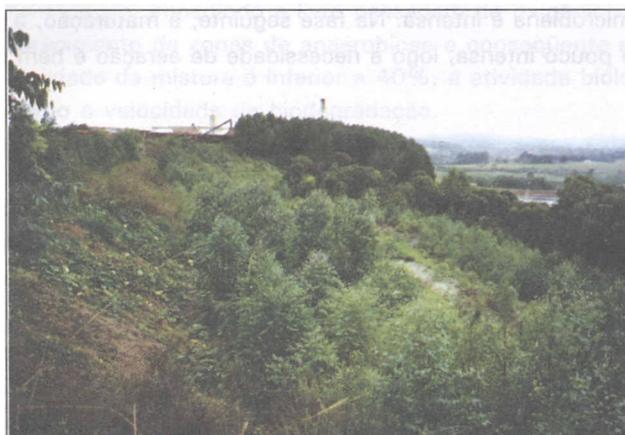


- cascas de árvores, serragem, cavacos de madeira - em face da alta relação CtN, estes materiais precisam da adição de um outro resíduo rico em nitrogênio, tais como os esterco ou camas de aviário. Os lodos municipais e de estações de tratamento de efluentes (ETE) também podem ser usados. Porém, sempre se deve monitorar o teor de metais pesados;
- lodos industriais - lodos ricos em matéria orgânica em geral são provenientes de ETE e sua qualidade e periculosidade dependem tanto da atividade industrial envolvida em sua geração quanto da eficiência da ETE. Lodos ativados são ricos em nutrientes e em microorganismos. A análise de metais pesados e microorganismos patogênicos pode garantir a qualidade do produto final;

- refugo doméstico - por ser produzido em pequenas quantidades, este resíduo é indicado para uso não comercial e pode ser usado em misturas com podas e aparas de jardins e gramados.



Reciclar resíduos orgânicos é retornar para os solos e florestas parte do carbono que dela foi extraído, contribuindo para a sustentabilidade dos ecossistemas.



4.0 que influencia a velocidade de compostagem

A velocidade de compostagem depende de fatores como a aeração, temperatura, umidade, relação carbono/nitrogênio (C/N), estrutura e pH.

a) aeração

Sendo a compostagem um processo aeróbio, o fornecimento de ar é vital à atividade microbiana, pois os microorganismos aeróbios têm necessidade de O_2 para oxidar a matéria orgânica que lhes serve de alimento.

Durante a compostagem a demanda por oxigênio pode ser bastante elevada, e a falta deste elemento pode se tornar um fator limitante para a atividade microbiana e prolongar o ciclo de compostagem. A circulação de ar na massa do composto é, portanto, de importância primordial para a compostagem rápida e eficiente. Esta circulação depende da estrutura e umidade da massa e também da tecnologia de compostagem utilizada.

A aeração também influi na velocidade de oxidação do material orgânico e na diminuição da emissão de odores, pois quando há falta de aeração o sistema pode tornar-se anaeróbio. Seja qual for a tecnologia utilizada, a aeração da mistura é fundamental no período inicial da compostagem, fase de degradação rápida, onde a atividade microbiana é intensa. Na fase seguinte, a maturação, a atividade microbiana é pouco intensa, logo a necessidade de aeração é bem menor.

b) temperatura

A compostagem ocorre tanto em temperatura termófila ($45^\circ C$ a $60^\circ C$) como mesófila ($25^\circ C$ a $40^\circ C$). Embora a elevação da temperatura seja necessária e interessante para a eliminação de microorganismos patogênicos, alguns pesquisadores observaram que a ação dos microorganismos sobre a matéria orgânica aumenta com a elevação da temperatura até $65^\circ C$ e que, acima deste valor, o calor limita as populações aptas, havendo um decréscimo da atividade biológica.

A temperatura é um fator indicativo do equilíbrio biológico, de fácil monitoramento e que reflete a eficiência do processo. Se o processo de compostagem registrar temperatura entre 40° C e 60° C no segundo ou terceiro dia, é sinal que o ecossistema está bem equilibrado e que a compostagem tem todas as chances de ser bem sucedida. Caso contrário, é sinal de que os parâmetros físico-químicos (pH, relação CtN, umidade, aeração) não estão adequados, limitando assim a atividade microbiana.

Depois de iniciada a fase termófila (em torno de 45° C), o ideal é controlar a temperatura entre 55° C e 65° C. Esta é a faixa de temperatura ótima que permite a máxima intensidade de atividade microbiológica.

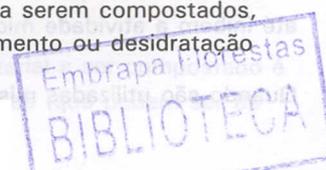
A aeração também é usada como meio de controlar a temperatura. Em certos casos, a injeção de ar comprimido na massa do composto pode ser de 5 a 10 vezes maior do que o estritamente necessário à respiração microbiana, tendo assim a função de dissipar o calor liberado no processo (processo Kneer).

c) umidade

A água é fundamental para a vida microbiana. No composto, o teor ótimo de umidade, de modo geral, situa-se entre 50% e 60%. O ajuste da umidade pode ser feito pela mistura criteriosa de componentes ou pela adição de água. Na prática, verifica-se que o teor de umidade depende também de eficácia da aeração e das características físicas dos resíduos (estrutura, porosidade). Elevados teores de umidade (> 65%) fazem com que a água ocupe os espaços vazios do meio, impedindo a livre passagem do oxigênio, o que pode provocar o aparecimento de zonas de anaerobiose e conseqüente mau cheiro. Se o teor de umidade da mistura é inferior a 40%, a atividade biológica é inibida, bem como a velocidade de biodegradação.

Porém, como há perdas de água por causa da aeração, em geral o teor de umidade do composto tende a diminuir ao longo do processo. Portanto, o teor de umidade é um dos parâmetros que devem ser monitorados durante a compostagem para que o processo se desenvolva satisfatoriamente.

Resíduos com alto teor de umidade, como os lodos, a serem compostados, devem passar previamente por processo de desaguentamento ou desidratação para eliminar o excesso de água.



d) relação carbono/nitrogênio

Os microorganismos necessitam de carbono como fonte de energia e de nitrogênio para síntese de proteínas. É por esta razão que a relação CtN é considerada como o fator que melhor caracteriza o equilíbrio do substrato.

Teoricamente, a relação CtN inicial ótima do substrato deve se situar em torno de 30. Na realidade, constata-se que ela pode variar de 20 a 70, de acordo com a maior ou menor biodegradabilidade do material de partida. Tanto a falta de nitrogênio quanto a falta de carbono limita a atividade microbiológica. Se a relação CtN for muito baixa pode ocorrer grande perda de nitrogênio pela volatilização da amônia. Se for muito elevada, os microorganismos não encontrarão N suficiente para a síntese de proteínas e terão seu desenvolvimento limitado. Como resultado, o processo de compostagem será mais lento. Independentemente da relação CtN inicial, no final da compostagem ela converge para um mesmo valor, entre 1 e 20, por conta de perdas maiores de carbono do que de nitrogênio no desenvolvimento do processo.

e) estrutura

Quanto mais fina é a granulometria, maior é a área exposta à atividade microbiana, o que promove o aumento das reações bioquímicas, visto que aumenta a área superficial em contato com o oxigênio. De modo geral, condições ótimas de compostagem são obtidas com substratos apresentando de 30% a 36% de porosidade, o que dá um tamanho médio das partículas entre 25 e 75 mm para ótimos resultados.

Porém, caso o substrato apresente granulometria muito fina, como por exemplo o lodo de esgoto, a aeração do composto torna-se difícil, sendo necessária a mistura com outro resíduo de granulometria mais grossa para conferir melhor estrutura porosa à mistura a ser compostada.

f) acidez e pH

É fato conhecido que níveis de pH muito baixos ou muito altos reduzem ou até inibem a atividade microbiana.

Quando são utilizadas misturas com pH próximo da neutralidade, o início da

compostagem (fase mesófila) é marcado por uma queda sensível de pH, variando de 5,5 a 6,0, por causa da produção de ácidos orgânicos.

Quando a mistura apresentar pH próximo de 5,0 ou ligeiramente inferior, há uma diminuição drástica da atividade microbiológica e o composto pode não passar para a fase termófila. Na fase termófila ocorre rápida elevação do pH, que se explica pela hidrólise das proteínas e liberação de amônia. Assim, normalmente o pH se mantém alcalino (7,5 - 9,0) durante esta fase.

De qualquer forma, e principalmente se a relação CtN da mistura for conveniente, o pH geralmente não é um fator crítico da compostagem.

5. Como preparar uma boa mistura de resíduos

Uma boa mistura para ser compostada consiste portanto de um material rico em C, triturado a uma granulometria que permita a aeração adequada, e um material rico em N, que geralmente é também portador dos microorganismos necessários ao início do processo, o inóculo.

Boas fontes de C são as palhas, a serragem, cascas, etc. Boas fontes de N e inóculos são os esterco, os lodos municipais ou industriais, algumas tortas da agroindústria, etc.

6. Tipos de compostagem e reatores

Basicamente, existem dois processos de compostagem: os SISTEMAS COM REATORES E SEM REATORES. A decisão pela utilização de alguns destes sistemas deve considerar a variabilidade dos substratos, condições do tempo, espaço disponível, proximidade de residências, escala desejada e a disponibilidade de recursos.

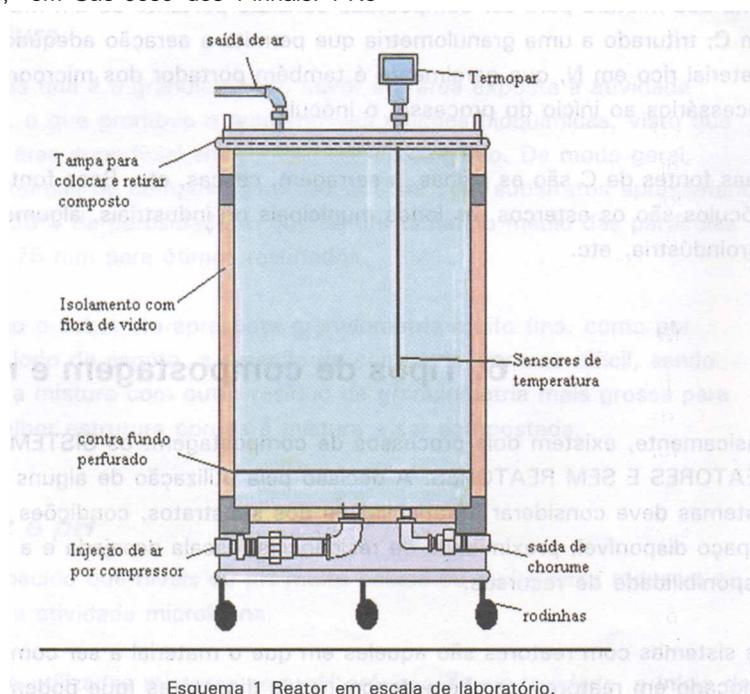
Os sistemas com reatores são aqueles em que o material a ser compostado é colocado em reatores, também denominados digestores (que podem ser de

vários tipos, como por exemplo Dano, Kneer), Estes sistemas possuem as seguintes vantagens:

- reduzida duração da fase termófila;
- produto final com maior segurança sanitária;
- tempo de compostagem menor.

A desvantagem destes sistemas é o custo elevado da instalação.

Na compostagem em reator, o operador pode ter maior controle dos parâmetros importantes na velocidade de compostagem, tais como umidade, temperatura e aeração, podendo-se utilizar reatores em pequenas e grandes escalas. Para exemplificar, o Esquema 1 e a Figura 1 mostram dois reatores utilizados em pesquisas na Universidade Federal do Paraná - UFPR. O primeiro é um pequeno modelo em escala laboratorial de 50 kg, e o segundo em escala piloto de 13 toneladas (processo Kneerl de propriedade da Tibagi Projetos Ambientais, em São José dos Pinhais. PRo



Após a saída do reator, geralmente o material em processo de compostagem segue para o pátio de cura, onde a fase de maturação do composto é realizada.



Figura 1. Reator tipo Kneer em escala piloto.

Os sistemas sem reator não utilizam o digestor, como por exemplo leiras reviradas (windrow) e pilha estática aerada.

A compostagem de leiras reviradas é mais simples de ser operada e implantada, porém apresenta homogeneização menos eficiente e tempo maior de fase termófila em comparação com o sistema que utiliza reatores. Para a montagem da leira de compostagem recomenda-se um tamanho aproximado de 1 m a 2 m de altura e 2 m a 5 m de largura e comprimento variável, de formato triangular ou trapezoidal. Preferencialmente, deve-se montar a leira sobre galhos e gravetos para facilitar a aeração. Em lugares onde não há equipamento para homogeneizar os materiais a serem compostados (lodo, esterco, resíduo de galhos, serragem), pode-se utilizar o método "indore", no qual se dispõe camadas alternadas de 15 cm do resíduo rico em C seguido de uma camada de 5 cm de inóculo (estercos, lodos, etc) até atingir a altura desejada. Deve-se revirar a leira continuamente para arejar e homogeneizar eficientemente, além de controlar a umidade.

No sistema de pilha estática aerada não é necessário o revolvimento periódico, sendo somente a leira montada sobre tubos perfurados e a aeração forçada sob a pilha (Figura 2). Como na compostagem em leiras, o tamanho e a quantidade dos materiais devem ser controlados para manter a porosidade da pilha, assegurando o fluxo adequado do ar.



Figura 2. Pilha estática aerada em escala piloto.

Para a escolha da melhor opção entre as diversas possibilidades e formas de realizar a compostagem deve-se observar as vantagens e desvantagens de cada sistema para obtenção do produto final desejado com o melhor custo benefício.

7. A compostagem da serragem

A SERRAGEM pode ser usada como fertilizante orgânico, e seus nutrientes podem ser reciclados através do sistema solo-planta. Todavia, a aplicação direta de materiais lignocelulósicos no solo pode apresentar algumas desvantagens, tais como fitotoxicidade, imobilização de nutrientes e concentração de sais desequilibrada. O uso da serragem como condicionador de solos é limitado pela lentidão com que este material é degradado em condições naturais e a relativa estabilidade estrutural dos componentes da madeira, como a lignina e a celulose. O baixo teor de N nas estruturas químicas da serragem e a consequente relação C/N muito alta é desfavorável em termos

microbiológicos e levam à necessidade de se adicionar outros materiais ricos em N à serragem para facilitar sua biodegradação. A compostagem é a alternativa mais indicada para tratar a serragem estocada e já em algum estágio de decomposição. A Tabela 1 apresenta os valores de C total e N (determinado pelo método de Kjeldal) de diferentes amostras de serragens do Paraná.

Tabela 1 - Teores de C total e N de algumas amostras de serragens:

Propriedade	C(%)	N(mgtkg)	CtN	Umidade a 65°C
<i>Pinus</i> 3 meses	14,87	1,24	119,92	68,80
<i>Pinus</i> nova	22,10	1,24	178,23	52,67
<i>Pinus</i> 6 meses	16,73	1,17	142,99	64,16
Imbuia	16,38	4,08	40,15	66,83
<i>Pinus</i> 3 a 4 meses	9,11	1,09	83,58	80,29
<i>Pinus</i> nova	18,98	1,02	186,08	60,67
<i>Pinus</i> nova	15,75	1,17	134,62	66,66
<i>Pinus</i> 2 a 3 meses	19,54	1,38	141,59	59,06
<i>Pinus</i> 6 meses	14,07	1,31	107,40	66,34

A adição de uma fonte de nitrogênio e de agentes microbianos ligno-celulolíticos à serragem visa aumentar a velocidade de sua decomposição. O LODO dos rejeitos de fábricas de papel e celulose é um material adequado para suprir as necessidades de nitrogênio nos processos biológicos de transformação da serragem. Esses lodos, conhecidos como lodos biológicos, advêm de lagoas de transformação e decantação de efluentes, onde são tratados com fertilizantes contendo nitrogênio e fósforo antes de serem descartados. Uma análise de fertilidade de um lodo biológico de fábrica de papel e celulose apresentou os seguintes resultados:

pH	K+	Ca ²⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	N total*	H+ +Al ³⁺	MO	P	Na ⁺
CaCl ₂	g/kg	cmole/drrr'	cmok/drrr'	g/100g	cmoe/drrr'	g/kg	mg/kg	mg/kg
5,76	1,66	9,70	11,70	0,87	3,68	105,19	567	690

* Análise feita no TECPAR [6].

Dada a importância da MON e a gravidade dos problemas ambientais decorrentes do acúmulo de resíduos orgânicos nas indústrias florestais, torna-se cada vez maior o interesse em reciclá-los como fertilizantes ou condicionadores de solo.

A compostagem da serragem de *Pinus taeda* com lodo biológico de fábrica de celulose, misturados em volumes iguais (1:1), foi estudada por alunos de pós-graduação do Departamento de Química da UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, em um projeto financiado pelo PROGRAMA PARANÁ 12 MESES. Neste estudo foi utilizado reator fechado de 13 t sob regime de aeração e controle de temperatura. A compostagem durou 30 dias e produziu um composto de alta qualidade que foi testado com sucesso nos viveiros de produção de mudas de *Pinus* e *Eucalyptus* da Embrapa Florestas, em Colombo-PR. O composto produzido neste estudo apresentou as seguintes características químicas:

Caracterização química do composto serragem - lodo

Amostra	pH	cmols/dm ³				g/dm ³	mq/drrr'		g/100g	
		CaCl ₂	K ⁺	Ca ²⁺	Ca ²⁺⁺ Mg ²⁺ W + Al ³⁺		M.a	P	Na ⁺	C%
Composto	5.10	0.41	5.59	9.15	4.61	640.0	548.0	10735.75	10.57	
Solo	5.60	0.09	6.73	11.75	4.28	67.0	14.4	04	3.80	1.82
Substrato'	5.52	1.87	25.77	37.03	3.69	214.0	858.0	68	11.90	2.76
Vermiculita	5.95	0.32	0.94	7.35	1.45	117.0	1.0	06	6.50	

• Substrato utilizado regulamente no viveiro

Laboratório de Solos e Nutrição Florestal - Embrapa Florestas (03/09/2001)

Este trabalho demonstrou que o processo Kneer, usado para a preparação do composto foi eficiente para a transformação de resíduos serragem e lodo em material fertilizante orgânico, em curto espaço de tempo (30 dias), com perspectivas de aplicação agrícola.



Entre os diferentes aspectos químicos estudados foi demonstrado que:

- existe correlação entre a curva de temperatura do processo e o teor de radicais livres do tipo orto-semiquinonas. estruturas responsáveis pela capacidade de complexação com metais como zinco, cobre, manganês e ferro, micronutrientes importantes à nutrição vegetal; mostrou ainda que íons ferro (Fe^{3+}), inicialmente na fase inorgânica do material sendo compostado, passam para a fase orgânica com o desenvolvimento do processo;
- as razões H/C e N/C mais elevadas que na média dos AH de solos, indicando que durante a compostagem a MON tornou-se mais alifática e rica em funções nitrogenadas;
- as razões O/C aumentam, e diminuem de valor no decorrer do processo de compostagem, indicando processos oxidativos, no início, e de redução, no final, evidenciando a importância da aeração nas fases iniciais do processo.

8. Usos do composto e produtos comerciais

Diversos usos podem ser dados ao composto e a finalidade pode influenciar e ajudar na escolha do tipo de planta de compostagem que se deseja e o custo que pode estar envolvido em sua implantação. O composto pode ser comercializado como:

- fertilizante orgânico a granel - geralmente destina-se à olericultura, fruticultura, floricultura e paisagismo de larga escala;
- fertilizante orgânico ensacado - destinado à floricultura doméstica ou em pequena escala; esse produto é geralmente comercializado em supermercados e casas especializadas;
- composto para produção de substratos de mudas florestais - neste caso o composto é diluído com outros componentes tais como solo, casca de árvores ou de cereais, para propiciar uma boa textura e granulometria;
- húmus de minhoca - aqui a compostagem é feita através de ação de minhocas e gera um húmus de alta qualidade e valor econômico. Geralmente o produto é comercializado ensacado.
- composto para cultivo de cogumelos - este tipo de composto possui características químicas apropriadas para o cultivo da espécie de interesse, geralmente cogumelos do gênero *Agaricus*. O mercado para este produto é restrito e localizado e merece um estudo econômico prévio;



composto para uso florestal - geralmente esta atividade está associada às empresas florestais e a proximidade à área de plantio é fundamental à viabilidade econômica da atividade, pois os custos de frete e transporte costumam ser muito altos.



9. Conclusões

A compostagem é uma das alternativas mais eficientes para o tratamento de resíduos lignocelulósicos, como a serragem, tanto sob o ponto de vista econômico como ambiental, uma vez que a reciclagem de resíduos orgânicos tem grandes implicações no manejo de solos e do ambiente, com aplicações diretas em tecnologias de recuperação de solos contaminados com pesticidas ou outros resíduos orgânicos tóxicos, de minimização de riscos de erosão e de desertificação de solos, de controle de emissão de CO_2 através do uso de húmus mais estáveis e ainda de manejo de nutrientes. As substâncias húmicas, quando associadas a fertilizantes químicos inorgânicos, podem servir como fertilizantes de liberação controlada, resultando em economia de recursos e menor impacto negativo no ambiente.

10. Referências bibliográficas

BUDZIAK, C. R. **Grupos ácidos e capacidade de oxidação de ácidos húmicos como método de avaliação de processos de compostagem.** 2002. 73 f. Dissertação (Mestrado em Química Inorgânica) - Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

GOMEZ, A. The evaluation of compost quality. Trends in Analytical Chemistry, Amsterdam, v. 17, n. 5, 1998.

HAUG, R. T. Compost engineering: principles and practice. Ann Arbor: Ann Arbor Science, 1980.

KIEHL, E. J. Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto. Piracicaba: Ed. do Autor, 1998. 171 p.

LYNCH, N. J.;CHERRY, R. S. Design of passively aerated compost piles: vertical air velocities between the pipes. Biotechnology Progress, New York, v. 12, p. 624-629, 1996.

MAIA, C. M. B. F. Acompanhamento do processo de compostagem da serragem de Pinus taeda pelas características químicas e espectroscópicas das substâncias húmicas em formação. 2003. Tese (Doutorado em Química Orgânica) - Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Em andamento.

MAIA, C. M. B. F., MANGRICH, A. S., BUDZIAK, C. R.; SANTOS, J. C. P. Spectroscopic and chemical characterization of humic structures through composting advance of sawdust/paper mill sludge. In: INTERNATIONAL MEETING OF THE INTERNATIONAL HUMIC SUBSTANCES SOCIETY - IHSS, 11., 2002, Boston. Proceedings... Boston: Northeastern University, 2002. 359-361.

PAIXÃO, R. E. Avaliação química e espectroscópica do grau de maturidade do composto de podas e lodo de esgoto industrial. 2003. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Em andamento.

PEIXOTO, R. T. G. Compostagem: opção para o manejo orgânico do solo. Londrina: IAPAR, 1988. 14 p.

PEREIRA NETO, J. T. Manual de compostagem. Belo Horizonte: UNICEF, 1996. 56 p.

TOMASELLI, I. Resíduos da indústria de processamento primário: uma oportunidade. In: WORKSHOP SUL AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA, 1997, Curitiba. Anais ... Colombo: Embrapa Florestas, 1997. Conferência não publicada.