



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

ISSN 1980-041X

Dezembro, 2005

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 21***

## **Módulo para Compostagem Rápida de Resíduos Orgânicos na Pequena Propriedade**

Carlos Alberto Ferreira  
Helton Damin da Silva  
Guilherme de Castro Andrade  
Washington Luis Esteves Magalhães

Colombo, PR  
2005

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

***Embrapa Florestas***

Estrada da Ribeira, km 111 - CP 319

83411-000 - Colombo, PR - Brasil

Fone / Fax: (41) 3675-5600

Home page: [www.cnpf.embrapa.br](http://www.cnpf.embrapa.br)

E-mail: [sac@cnpf.embrapa.br](mailto:sac@cnpf.embrapa.br)

Para reclamações e sugestões *Fale com o ouvidor*:

[www.embrapa.br/ouvidoria](http://www.embrapa.br/ouvidoria)

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: Luiz Roberto Graça

Secretária-Executiva: Elisabete Marques Oaida

Membros: Alvaro Figueredo dos Santos, Edilson Batista de Oliveira,

Honorino Roque Rodigheri, Ivar Wendling, Maria Augusta Doetzer

Rosot, Patrícia Póvoa de Mattos, Sandra Bos Mikich, Sérgio Ahrens

Supervisor editorial: Luiz Roberto Graça

Revisor de texto: Mauro Marcelo Berté

Normalização bibliográfica: Elizabeth Câmara Trevisan

Lidia Woronkoff

Fotos : Guilherme de Castro Andrade

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

**1ª edição** - 1ª impressão (2005): sob demanda

**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*

---

Módulo para compostagem rápida de resíduos orgânicos na pequena propriedade [recurso eletrônico] / Carlos Alberto Ferreira... [et al.]. Dados eletrônicos - Colombo : Embrapa Florestas, 2005.

1 CD-ROM. - (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Florestas,

ISSN 1980-041X ; 21) ISSN 1676-9449 (impresso)

1. Compostagem. 2. Resíduo orgânico. I. Ferreira, Carlos Alberto. II. Silva, Helton Damin da. III. Andrade, Guilherme de Castro. IV. Magalhães, Washington Luis Esteves. V. Série.

---

CDD 631.875 (21. ed.)

© Embrapa 2005

# Sumário

Módulo para Compostagem Rápida de Resíduos Orgânicos na Pequena Propriedade .....	1
Resumo .....	5
Module for Fast Decomposition of Organic Wastes in Small Farms .....	5
Abstract .....	5
1. Introdução .....	6
1.1 Caracterização do Problema .....	6
1.2 A Geração de Resíduos pela Atividade Florestal .....	7
1.3 Potencial Nutricional para Uso Agrícola e Florestal .....	8
2. Material e métodos .....	10
2.1 Esquema das Células de Compostagem .....	11
2.2 Disponibilidade de Materiais e Simplicidade de Montagem .....	12
3. Resultados .....	14
3.1 Caracterização da Inovação Tecnológica .....	14
3.2 Características e Vantagens do Sistema .....	15
3.3 Cuidados Especiais para Funcionamento Ideal do Sistema .....	16
3.4 Comprovação da Eficiência do Sistema .....	16
3.5 Produtos Obtidos ao Final do Processo de Compostagem. ....	18
3.6 Avaliação do Produto como Substrato para Produção de Mudas de Pímus	18
3.7 Impactos Ambientais da Tecnologia. ....	22
4. Conclusões .....	22
5. Referências .....	23



# Módulo para Compostagem Rápida de Resíduos Orgânicos na Pequena Propriedade

---

*Carlos Alberto Ferreira<sup>1</sup>*

*Helton Damin da Silva<sup>2</sup>*

*Guilherme de Castro Andrade<sup>3</sup>*

*Washington Luis Magalhães<sup>4</sup>*

## Resumo

Descreve-se um processo inovador de compostagem de material orgânico, de baixo custo e elevada eficiência operacional que permite obtenção de produtos homogêneos. O sistema dispensa o uso de energia para insuflação de ar e o revolvimento das pilhas de compostagem. O sistema pode ser utilizado tanto nas pequenas propriedades quanto nos grandes empreendimentos pois é baseado em módulos que podem ser acoplados para atender volumes variáveis.

## Module for Fast Decomposition of Organic Wastes in Small Farms

### Abstract

A new low cost and efficient process for composting organic wastes is described in this paper. The system does not need pumps for insuflating air or revolving the piles. The module developed can be adapted and utilized both for small and large quantities of wastes.

---

<sup>1</sup> Engenheiro-Agrônomo, Doutor, Pesquisador da *Embrapa Florestas*.

<sup>2</sup> Engenheiro Florestal, Doutor, Pesquisador da *Embrapa Florestas*. helton@cnpf.embrapa.br

<sup>3</sup> Engenheiro Florestal, Doutor, Pesquisador da *Embrapa Florestas*. andrade@cnpf.embrapa.br

<sup>4</sup> Engenheiro Químico, Doutor, Pesquisador da *Embrapa Florestas*. wmagalha@cnpf.embrapa.br

# 1. Introdução

## 1.1 Caracterização do problema

A preocupação em se desenvolver sistemas de produção florestal sustentáveis é uma imposição prática e política que vem ganhando importância desde o final do século 20. Esta preocupação, sem dúvida, envolve a utilização eficiente de insumos, particularmente nutrientes, água e energia, e a redução dos resíduos e efluentes, tanto de origem agrícola como industrial. O ideal seria que todo o resíduo orgânico gerado fosse transformado em produtos utilizáveis, por meio de processos de reciclagem práticos e econômicos, e destinados à reposição de nutrientes e da matéria orgânica do solo ou transformados em energia utilizável.

Vultosos investimentos em pesquisa têm sido empregados com a finalidade de desenvolver sistemas de produção sustentáveis de alimentos e fibras, principalmente nos países industrializados. O objetivo final desses esforços é beneficiar as futuras gerações, conservando os recursos naturais. Para muitos países subdesenvolvidos, o controle da poluição e a redução da geração de lixo estariam em uma ordem de prioridade bastante baixa. Igualmente, para boa parte das regiões brasileiras, a prioridade seria o aumento da produção agrícola e industrial para assegurar alimento, emprego e renda. Entretanto, nas regiões industrializadas, a realidade é diferente. A legislação ambiental é cada vez mais severa, exigindo investimentos de elevada monta para o controle eficiente dos resíduos e efluentes gerados. As áreas de descarte de resíduos sólidos estão se tornando escassas, distantes e com custos de implantação e gerenciamento cada vez maiores.

Deve-se ainda salientar que o nosso País precisa enfrentar a crescente concorrência internacional que impõe barreiras não tarifárias, exigindo, em muitos casos, a certificação de origem da matéria prima florestal e, ainda, dos processos envolvidos na produção dos diversos bens de base florestal exportados. Para a certificação desses processos, é necessário o desenvolvimento de métodos seguros e convincentes que não redundem na criação de um novo problema. O ideal seria que os resíduos de uma atividade fossem os insumos de outras, num circuito fechado sem geração de resíduos inúteis. Resíduos de outras origens podem complementar, tanto do ponto de

vista físico como químico, os resíduos do desdobro da madeira, notoriamente pobres em nutrientes. Esta abordagem pode trazer vantagens para diversos ramos de atividade, mas ainda estão pouco estudadas as possíveis misturas de diversos resíduos, de importância local e ou regional, suas limitações e potencialidades.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver métodos rápidos e econômicos de compostagem de resíduos orgânicos isoladamente ou em mistura, visando à obtenção de produtos padronizados para uso como insumo em plantios florestais e na fruticultura.

## **1.2 A geração de resíduos pela atividade florestal**

O beneficiamento da madeira em suas diversas fases gera resíduos, que pelos grandes volumes envolvidos trazem problemas logísticos e ambientais para sua disposição adequada. Os resíduos mais importantes são a cinza das caldeiras, resultante da queima de resíduos de biomassa de madeira, e as cascas provenientes do descascamento de toras nos pátios das fábricas e, ainda, o lodo das fábricas de celulose. Resultam ainda do desdobro da madeira, nas serrarias, fábricas de compensados e de laminados, além de cascas e maravalha, a serragem e as costaneiras.

A utilização mais comum dos resíduos do desdobro tem sido a queima direta e, mais recentemente, o fabrico de painéis reconstituídos tipo aglomerado e M.D.F. Entretanto, não se utiliza integralmente esses resíduos devido aos grandes volumes gerados, sua localização descentralizada, ou ainda às grandes distâncias dos centros consumidores, demandando altos custos de transporte. Por falta de uma destinação imediata, grandes quantidades desses resíduos foram simplesmente empilhadas, permanecendo nessas pilhas por muitos anos, e encontram-se hoje em diversos estágios de decomposição. Muitas vezes, os resíduos são simplesmente queimados a céu aberto, ou sofrem combustão espontânea com emissão de particulados finos para a atmosfera, provocando problemas respiratórios e reações adversas na população.

A deposição da serragem “in natura” pode provocar problemas nas culturas agrícolas e florestais. A presença de extrativos diversos nesse material pode atingir níveis tóxicos para as plantas. A relação C/N é muito elevada, induzindo a deficiência de N quando o processo de decomposição ocorre nas

proximidades das plantas. Esta limitação é comum à maioria dos resíduos orgânicos. Dessa forma, torna-se necessário um condicionamento prévio dos resíduos antes de sua aplicação. O tempo necessário para que ocorra a decomposição e se obtenha um “composto” em condições de poder ser aplicado diretamente ao solo é longo, sendo uma das principais limitações ao uso de resíduos.

A transformação da serragem num produto depende ainda da possibilidade técnica, prática e econômica de métodos que permitam a padronização dos compostos gerados. Entretanto, diversos predisponentes indicam grande potencial para sua utilização:

- É oriunda da madeira que é um recurso renovável;
- Está disponível em grandes quantidades e a custos baixos;
- Há evidências de que poderá ser processada por métodos simples e baratos;
- Apresenta em sua composição elementos essenciais ao crescimento das plantas.

### **1.3 Potencial nutricional para uso agrícola e florestal**

Segundo Zen et al., 1994, o destino dos resíduos normalmente são os aterros ou a incineração. O descarte em aterro, segundo o autor, é dispendioso e exige cuidados especiais, e a incineração é inviável, pois o lodo apresenta alto teor de água e baixo poder calorífico, por isso, a utilização de lodo como corretivo de solos descortina um horizonte técnico-econômico favorável.

Os resíduos de origem florestal são, de um modo geral, ricos em matéria orgânica, mas apresentam concentrações relativamente baixas de nutrientes. Entretanto, devido às elevadas quantidades geradas, está disponível a baixos custos, podendo constituir-se em importante fonte de nutrientes para as plantas. Esses resíduos podem ser empregados como cobertura ou serem compostados para uso no solo.



Diversos trabalhos foram desenvolvidos com a finalidade de avaliar a potencialidade de uso de resíduos de origem florestal, em plantios florestais e em espécies de ciclo longo utilizadas em fruticultura. Os principais resíduos incluídos nesses trabalhos foram: casca, cinza de caldeira e resíduos do processamento de celulose. Efluentes do processamento de madeira para produção de aglomerados também mostraram-se viáveis para aplicação direta em plantios florestais, sem efeitos danosos ao solo. No caso de frutíferas, a incorporação de resíduos em solos de baixa fertilidade podem gerar ganhos em produtividade, aumento no teor de nutrientes no solo, na capacidade de retenção de água e na densidade de raízes na camada superficial do solo (Kotze e Joubert, 1992).

A utilização da cinza de caldeiras foi alvo de um número maior de estudos, apresentando resultados extremamente positivos. Moro (1994) determinou doses e distâncias econômicas para o uso de cinza em plantios de *Eucalyptus grandis*, no Estado de São Paulo. Quando aplicadas isoladamente, ou em combinação com outros resíduos, promovem substanciais aumentos de produtividade. O efeito da cinza e dos resíduos não é apenas devido ao aumento da oferta direta de nutrientes que entram em sua composição, mas também pela aceleração da taxa de decomposição da serapilheira depositada e, conseqüentemente, na disponibilização mais rápida dos nutrientes presentes na serapilheira (FERREIRA et al., 1995). O aumento da capacidade de retenção de água no solo também contribui para os aumentos de produtividade (BELLOTE et al., 1994). Grez & Gerding (1977) também afirmam que a serragem contribui positivamente no regime de água e de nutrientes em solos de texturas extremas (argilosos e arenosos). Efeitos semelhantes foram igualmente constatados com o uso do composto de lixo urbano (ANDRADE, 2002). A cinza também tem outros usos como por exemplo nas indústrias cimenteiras, nas fábricas de pré-moldados e na recuperação de áreas de mineração. Por outro lado, Maia (1999), estudando a possibilidade do uso da casca de Pínus e lodo biológico como substrato para produção de mudas, encontrou melhora da porosidade e aeração do substrato. Ainda segundo Maia (1999), essas misturas de casca e lodo, além de utilizadas como substrato, possibilitam o manejo dos resíduos de acordo com as suas disponibilidades.

A exportação de nutrientes pela colheita florestal é um dos fatores a ser considerado quando há preocupação com a manutenção da produtividade dos sítios, principalmente em condições de baixo suprimento pelo solo de

elementos essenciais às árvores. As explorações intensivas em rotações curtas, sem previsão de um período mínimo necessário para reposição de nutrientes, têm sido apontadas como as maiores responsáveis potenciais pelo esgotamento de nutrientes do solo. Discussões sobre a intensidade de exploração e seu impacto sobre a exportação de nutrientes foram apresentadas por diversos autores, podendo-se concluir a inconveniência da exploração total da árvore e da importância da não retirada das galhadas, folhas, acículas e cascas. Quando possível, recomenda-se o descascamento das toras no local de exploração, ou mesmo o retorno da casca, e ou das cinzas provenientes de sua queima, ao solo, devido à quantidade relativamente alta de nutrientes destes compartimentos. Entretanto, por diversas razões, inclusive econômicas, essas práticas raras vezes são adotadas.

Reduções de produtividade em rotações florestais subseqüentes não têm sido comumente relatadas. Possivelmente, a troca de material propagativo por genótipos mais eficientes na extração e aproveitamento de nutrientes, e melhores cuidados de implantação e manutenção dos povoamentos, tenham encoberto as perdas de produtividade pela redução da oferta de alguns nutrientes. No entanto, torna-se claro que a manutenção ou aumento da produtividade de povoamentos florestais dependerá da reposição dos nutrientes exportados, atualmente, realizada através de adubações minerais, com resultados extremamente satisfatórios.

## 2. Material e métodos

Para realização desse trabalho, foram construídas células, denominadas “células de compostagem”, que serviram de base para a compostagem dos resíduos.

Na avaliação do sistema, foram utilizados diferentes resíduos orgânicos: serragem, resíduo da fabricação de cerveja (bagaço de cevada), resíduo da produção de papel reciclado, casca de pínus e esterco de caprinos.

Como parâmetro comparativo, utilizou-se pilhas ao ar livre, onde não houve revolvimento; células de compostagem com ventilação forçada e o modelo proposto, com ventilação natural.

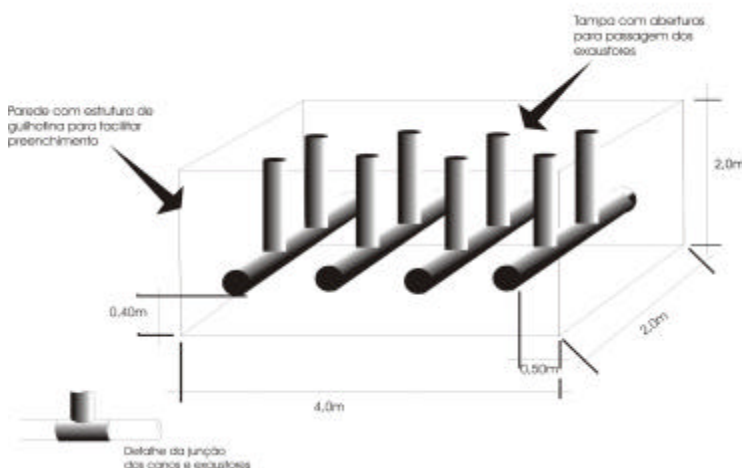
Um dos sistemas testados, foi a mistura da serragem com resíduo da produção de papel reciclado, na proporção 4:1 e com resíduo da fabricação de cerveja (bagaço de cevada), na proporção 4:1; como também, a mistura de casca de pínus com esterco de cabra, na proporção 4:1. Outro, foi a mistura de casca de pínus com esterco de cabra em diferentes proporções (1:1; 3:2; 4:1).

O composto obtido da mistura de casca de pínus e esterco na proporção 4:1 foi analisado quimicamente e testado para produção de mudas de pínus em comparação com um substrato vendido comercialmente, obtendo-se dados de biomassa da copa e de raízes das plantas.

## 2.1 Esquema das células de compostagem

O esquema mostra células de 2m X 4m X 2m (Figura 1). Nas fotos da Figura 2, os módulos com essas mesmas dimensões foram construídos em área coberta.

A tubulação para o sistema de aeração deve ser constituída de material resistente a temperaturas elevadas. O uso de tubulações comuns de esgoto não é recomendado. Tubulações de água para alta pressão, ou materiais de maior resistência, suportam as temperaturas elevadas, geradas pelo processo de compostagem no interior dos módulos.



**Figura 1.** Dimensões da célula e disposição da tubulação interna para a aeração do material acondicionado

## 2.2 Disponibilidade de materiais e simplicidade de montagem

Outra vantagem que torna o processo competitivo é o emprego de materiais facilmente encontrados no mercado e a simplicidade de montagem do módulo:

a) Lonas plásticas – utilizadas para revestir internamente as paredes e o fundo dos módulos.

A lona está prevista para evitar a deterioração rápida do material componente das paredes dos módulos e para impermeabilizar o fundo e coletar possível produção de chorume. Este revestimento permitirá que o módulo seja reutilizado, caso se opte por materiais de fácil decomposição, como por exemplo madeira não tratada.

O módulo deverá ser revestido por dentro e o envolvimento pela lona plástica deverá incluir o piso, as laterais e a parte superior, como um embrulho.

b) Chapas de compensado: para o piso, o fundo, as paredes laterais e, quando necessário, a cobertura.

Considerando o módulo mínimo de 2m x 2m x 2m, será necessário um total de 16 m<sup>2</sup> para as paredes. Além das placas de compensado, que podem ser refugos da indústria ou as mais baratas disponíveis, as paredes podem ser construídas também com outros materiais como cimento, tijolos, etc.

A cobertura do módulo necessita de um total de 4 m<sup>2</sup> de placas de compensado ou lonas plásticas ou outros materiais semelhantes, desde que proporcionem vedação que impeça o secamento do material no interior do módulo, e a entrada de água de chuva.

c) Marcos e/ou vigotas e tábuas - para a parede frontal do módulo.

Dois marcos com 2,5 m de altura por 15 cm de largura e 5 cm de espessura (Neste caso, podem ser utilizadas vigotas com dimensões aproximadas às descritas).

Dez tábuas com pelo menos 2 m de comprimento por 20 cm de largura e  $\frac{1}{2}$  polegada de espessura, quando se optar pela alimentação e descarregamento frontal do módulo.



**Figura 2.** Detalhes da construção dos módulos de compostagem com opção de paredes e fundo em compensado. Observar materiais como os tubos plásticos para o sistema de ventilação e as tábuas para fechamento dos módulos

d) Escoras para fixação das paredes - para que as paredes resistam ao excesso de pressão, em função do peso do composto orgânico.

Dois marcos com 2,5 m de altura por 15 cm de largura e 5 cm de espessura (Neste caso, podem ser utilizadas vigotas com dimensões aproximadas às descritas).

e) Termômetro com capacidade de registro de temperaturas de pelo menos 80°C. As temperaturas deverão ser medidas no interior das pilhas o mais próximo possível do centro da mesma, isso é possível mediante a introdução de um cano plástico de meia polegada de largura e aproximadamente um metro de comprimento. Podem ser utilizados termômetros comuns ou pares termoeletrônicos, desde que resistam à temperatura indicada anteriormente.

## 3. Resultados

### 3.1 Caracterização da Inovação Tecnológica

A preocupação de desenvolverem-se sistemas de produção sustentáveis é uma imposição prática, social, ambiental e política. O setor industrial brasileiro de base florestal é um dos mais competitivos internacionalmente e tem nas florestas plantadas a matéria prima necessária as suas atividades.

Ambientalmente, as florestas plantadas, além de contribuir para a preservação das florestas nativas, são estratégicas na retirada do carbono da atmosfera, imobilizando-o na madeira. Entretanto, as atividades industriais florestais geram resíduos, os quais idealmente deveriam ser transformados em produtos através de processos de reciclagem práticos e econômicos e, em parte, destinados à utilização em plantios.

Na produção de madeira serrada, gera-se uma grande quantidade de resíduos na serraria, como casca, pó de madeira, serragem, maravalha, cepilho, entre outros. Estes resíduos têm, em geral, um volume muito maior que o produto principal que é a madeira serrada. Na maioria das vezes, estes resíduos eram depositados ao ar livre, formando verdadeiras montanhas. Nessas condições, os microorganismos não conseguiam degradar a madeira, principalmente pela falta de oxigênio e nutrientes. Dessa forma, a tendência era a formação de imensos passivos ambientais criados pela disposição inadequada e não decomposição dos resíduos da madeira. A madeira é muito difícil de ser biodegradada por microorganismos anaeróbicos, ela é mais facilmente transformada em húmus por organismos aeróbicos. Entretanto, estes precisam de fontes de energia prontamente disponíveis e de nitrogênio e outros nutrientes que precisam ser adicionados aos resíduos da madeira.

A Embrapa desenvolveu/adaptou uma célula de compostagem de resíduos de

madeira com aeração natural de custo muito baixo e bastante eficiente. O módulo baseia-se na adaptação de digestor tipo Kner, e técnicas de aeração natural de pilhas de compostagem, baseadas em processos de convecção do ar quente gerado pelos processos biológicos de decomposição da matéria orgânica. Com cerca de 60 dias, atinge-se a maturação da matéria orgânica compostável. A grande vantagem do método é o seu custo relativamente baixo e sua eficiência muito próxima do sistema Kner.

A fabricação de modelos de bioreatores de compostagem com aeração por convecção natural e/ou forçada com tecnologia nacional possibilitará transformar resíduos florestais em produtos com alto valor agregado, por favorecer maior controle do processo e homogeneidade do produto final. Existem equipamentos com tecnologia importada disponíveis no país, mas, voltados para grandes produtores, pois os preços são proibitivos para empresas de pequeno porte.

O sistema de compostagem de resíduos orgânicos descrito neste trabalho dispensa o revolvimento e a aeração do material em compostagem, através da aeração forçada. Os materiais necessários para a construção dos módulos são de fácil obtenção, baratos, e o processo de montagem é rápido. Permite reutilização por tempo indefinido, desde que sejam adotados alguns cuidados, principalmente evitar o contato do material em compostagem com as paredes e o fundo do módulo, e se localizado em um ambiente protegido. Dessa forma, o módulo aqui descrito preconiza um processo operacionalmente simples, seguro e econômico, que pode ser dimensionado de acordo com a quantidade de resíduos gerados e a necessidade prevista para a compostagem, desde o volume inicial de 8 metros cúbicos, em diante. O modelo Embrapa a ser transferido para a iniciativa privada poderá, dependendo do material utilizado, ser construído a partir de três mil reais para um volume de 8 m<sup>3</sup> de resíduos.

## **3.2 Características e vantagens do sistema**

Devido à facilidade operacional e necessidade de acompanhamento diário pouco intensivo, não compete fortemente com outras atividades na propriedade rural. A possibilidade de produção de substratos e composto orgânico para produção de mudas e utilização em hortas, jardinagem e produção de flores, constitui uma oportunidade de renda suplementar para a pequena propriedade.

A utilização de tampões nas entradas de ar possibilita controlar a temperatura, elevando, mantendo ou reduzindo, simplesmente com a retirada ou colocação dos mesmos nas entradas de ar, em horas especificadas do dia.

### **3.3 Cuidados especiais para funcionamento ideal do sistema**

O módulo dispensa o uso de insufladores de ar, desde que mantidas as dimensões preconizadas, onde o principal cuidado é manter o módulo com altura e largura de 2 metros e o comprimento pode ser um múltiplo qualquer de 2 metros, dependendo da capacidade necessária.

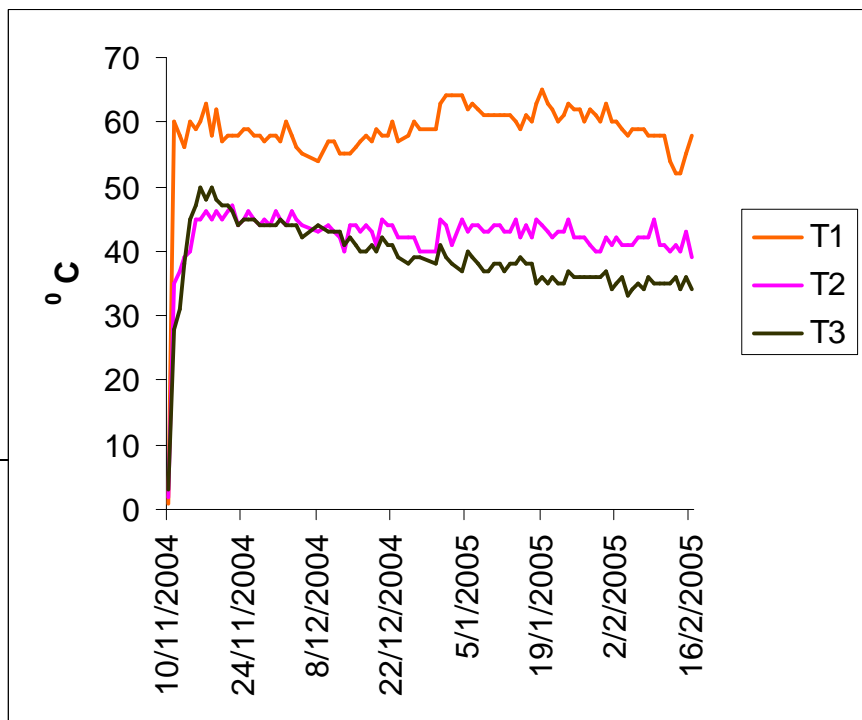
Outro cuidado é com relação às misturas de resíduos orgânicos, que devem ser adequadas para que o processo de compostagem seja rápido e eficiente. Recomenda-se que a relação Carbono : Nitrogênio seja próxima a 30:1 o que pode ser conseguido com adição de fontes de Nitrogênio quando se fizer necessário.

O revestimento por lona plástica e a instalação de sistema de coleta de chorume deve também ser providenciado para evitar possíveis contaminações do solo e do lençol freático.

### **3.4 Comprovação da eficiência do sistema**

A comparação com módulos, onde se procedeu a insuflação de ar por meio de insufladores elétricos, mostrou resultados similares aos obtidos com a insuflação natural, em termos de eficiência de aeração e controle da temperatura. O sistema com aeração natural possibilitou, como pode ser observado na Figura 3, o controle da temperatura em níveis adequados mesmo em condições de compostagem acelerada da serragem na presença de bagaço de cevada (Tratamento 1). A elevação descontrolada da temperatura, no módulo de compostagem, poderia levar à combustão do material orgânico a ser compostado.





**Figura 3.** Variação de temperatura durante a compostagem em módulos para diversas misturas de resíduos orgânicos e métodos de aeração.

T1 mistura da serragem com resíduo da fabricação de cerveja na proporção de 4:1, com insuflação natural.

T2 mistura de serragem com resíduo da produção de celulose a partir de papel reciclado, na proporção de 4:1, com insuflação forçada.

T3 mistura de serragem com resíduo da produção de celulose a partir de papel reciclado, na proporção de 4:1, com insuflação natural.

### 3.5 Produtos obtidos ao final do processo de compostagem.

Dos produtos obtidos neste processo (Tabela 1), destaca-se o composto de casca de Pínus com esterco de caprinos, que apresenta relação C:N com características de composto orgânico plenamente humificado, em período de compostagem inferior a noventa dias.

**Tabela 1.** Resultados obtidos das análises dos compostos orgânicos obtidos com diversas misturas de casca de Pínus, esterco de caprinos e uréia pelo método do módulo de compostagem com insuflação natural de ar.

Proporção		Uréia	Elementos %		Relação
Casca	esterco	kg/Mg	C orgânico	Nitrogênio	
1	1	14	13,6	2,0	6,8:1
3	2	19	13,2	2,1	6,3:1
4	1	25	16,4	2,0	8,2:1
4 (*)	1	-	13,9	0,9	15,4:1

(\*)Pilha ao ar livre com proporção estimada de 4 de casca e 1 de esterco e tempo de permanência em compostagem superior a 4 meses.

### 3.6 Avaliação do produto como substrato para produção de mudas de Pínus

O composto produzido a partir da casca de Pínus e do esterco de caprinos na proporção de 4:1, no interior do módulo de compostagem, após um período de noventa dias, foi comparado com substrato vendido comercialmente para produção de mudas.

**Tabela 2.** Levantamento do peso seco das mudas *Pinus taeda* produzidas em substrato comercial e em substrato com composto de casca de Pínus e esterco “Bom Solo”.

Comercial	Peso seco (g)		
Muda Nº	Copa	Raiz	Relação copa/raiz
1	0,80	0,32	2,5
2	0,75	0,35	2,1
3	0,89	0,37	2,4
4	0,94	0,39	2,4
5	0,77	0,30	2,6
<b>Média</b>	<b>0,83</b>	<b>0,35</b>	<b>2,4</b>
Bom Solo	Peso seco (g)		
Muda Nº	Copa	Raiz	Relação copa/raiz
1	0,91	0,28	3,2
2	0,85	0,34	2,5
3	0,88	0,32	2,7
4	0,84	0,34	2,5
5	0,90	0,36	2,5
<b>Média</b>	<b>0,88</b>	<b>0,33</b>	<b>2,7</b>

Como pode ser observado na Tabela 2 e figura 4, os coeficientes de avaliação de padrões de mudas, baseados na biomassa de seus diversos compartimentos, demonstram que as mudas são equivalentes. As pequenas diferenças entre os valores não as distingue em termos de qualidade, podendo ser classificadas como de excelente qualidade. Vale ressaltar, no entanto, que a produção a partir do substrato comercial exige a aplicação de adubo fundamental, de liberação lenta, conhecido comercialmente como osmocote. Pode ser constatado, na análise química dos substratos produzidos pela compostagem de casca de pínus misturada com esterco nas diferentes proporções testadas, (Tabela 3), que o processo conduzido dentro dos módulos preconizados resulta em um substrato de excelente qualidade.



**Figura 4.** Mudanças de *Pinus sp* produzidas em substrato adubado com osmocote (Comercial) e no substrato com composto de casca de Pínus e esterco de caprinos (Solo Bom) produzido em um módulo de compostagem rápida

**Tabela 3.** Análises químicas do composto obtido por compostagem no interior dos módulos de compostagem com casca de Pímus (C) e esterco de caprinos (E).

Tratamento	pH	cmol <sub>c</sub> / dm <sup>3</sup>					g/kg			mg/dm <sup>3</sup>			g/kg	
		aCl <sub>2</sub>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> + Al <sup>3+</sup>	C	P	Na	P	Na	N
Pilha ext.(1)	6.70	5.73	8.94	6.74	15.68	0.00	3.08	138.80	508	546	508	546	9.19	
1 C : 1 E	6.80	6.53	13.73	6.37	20.10	0.00	1.52	136.24	1355	1040	1355	1040	20.04	
3 C : 2 E	5.94	4.99	16.01	9.64	25.65	0.07	2.58	132.73	1401	572	1401	572	21.40	
4 C : 1 E	5.31	2.79	11.25	3.77	15.02	0.34	4.02	164.67	785	286	785	286	20.47	

(1) Pilha ao ar livre com proporção estimada de 4 de casca de pínus (C) para 1 de esterco de caprinos (E) e tempo de permanência em compostagem superior a 4 meses.

### 3.7 Impactos ambientais da tecnologia.

A tecnologia desenvolvida permite a viabilização da transformação de diversos resíduos orgânicos em produtos com possibilidade de inclusão no mercado, com evidente redução dos passivos ambientais de diversas atividades geradoras de resíduos orgânicos.

A transformação do resíduo orgânico em produto rico em ácidos húmicos contribui para a fixação do gás carbônico. Os ácidos húmicos são altamente resistentes à decomposição biológica e constituem parte integrante da matéria orgânica do solo, com importantes funções ligadas ao complexo sortivo de cátions do solo, exercendo a adsorção de cátions fundamentais à nutrição mineral das plantas.

A produção de substratos e compostos orgânicos para cobertura de gramados e jardins evita a remoção de grandes quantidades de solo para produção de mudas florestais, hortícolas e ornamentais. Essa retirada de solo é uma das principais causas de degradação e empobrecimento de extensas áreas de solo. Inclusive, constitui-se numa preocupação ambiental, para a qual existe legislação específica objetivando reduzir ou eliminar a atividade.

## 4. Conclusões

O sistema proposto revelou-se eficiente na compostagem de resíduos orgânicos.

O composto orgânico produzido apresenta características adequadas para o seu uso como substrato na produção de mudas de espécies florestais, na floricultura e na agricultura orgânica.

A temperatura máxima obtida durante a compostagem não excedeu a 70°C.

Em função dos materiais utilizados, o custo de implantação do sistema de módulos é menor do que o sistema Kner.

## Agradecimentos

Agradecemos aos parceiros que colaboraram no desenvolvimento deste trabalho:

Vitor Hugo Burko - Produtor rural - PR, Manasa - Madeireira Nacional S.A. - PR, Reunidos - Reflorestadores Unidos - RS e Sindimadeira de Caxias do Sul - RS

## 5. Referências

ANDRADE, G. de C. **Aplicação de composto orgânico de lixo urbano e de fertilizante mineral em *Eucalyptus grandis*: solo, água de chuva, biomassa e produtividade.** 2002. 117 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

BELLOTE, A. F. J.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D.; ANDRADE, G. C.; MORO, L. Implicações ecológicas do uso de cinza de caldeira e resíduo de celulose em plantios de *Eucalyptus grandis*. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. [Anais]. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1994. p. 167-187.

FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. da; BELLOTE, A. F. J.; ANDRADE, G. de C. Efecto de la aplicación de ceniza y residuo de celulosa en la descomposición y liberación de nutrientes de la hojarasca en plantaciones de *Eucalyptus grandis*. **Bosque**, Valdivia, v. 16, n. 1, p. 101-104, 1995.

GREZ, R.; GERDING V. Reciclaje de residuos de origen forestal en Chile: experiencias sobre aprovechamiento de ceniza, aserrín y corteza. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA, 1997, Curitiba. **Anais**. Colombo: Embrapa Florestas, 1997. p. 28-47.

MAIA, C. M. B. F. Uso da casca de *Pinus* e lodo biológico como substrato para a produção de mudas de *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 39, p. 81-92, 1999.

MORO, L. Caracterização, distribuição e análise econômica dos resíduos industriais da Champion Papel e Celulose Ltda. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. [Anais]. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas, 1994. p. 155-166.

ZEN, S.; BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. da; FERREIRA, C. A. Resíduos urbanos como fonte de nutrientes em povoamentos de eucalipto. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS URBANOS EM FLORESTAS, 1994, Botucatu. [Anais]. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agronômicas, 1994. p. 25-40.