



### III-029 - ANÁLISE EXPERIMENTAL DOS BENEFÍCIOS DA APLICAÇÃO DE BORRACHA DE PNEUS EM COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

**Regina Mambeli Barros**<sup>(1)</sup>

Engenheira Civil pela Unita. Doutora e Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP). Professora Adjunta II da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

**Iara Corsi Okabayashi**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

**Herlane Costa Calheiros**

Engenheira Civil pela UFES. Doutora e Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP). Professora Adjunta III da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

**Geraldo Lúcio Tiago Filho**

Engenheira Mecânico pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Doutor em Hidráulica pela Universidade de São Paulo (USP) e Mestre em Engenharia Mecânica na área de Máquinas de Fluxo pela UNIFEI. Professor Titular da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

**Fernando das Graças Braga da Silva**

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia Civil de Araraquara. Pós-Doutor, Doutor e Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP). Professor Adjunto II da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI).

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Av. BPS, 1303 - Bairro Pinheirinho - Itajubá-MG - CEP: 37500-903, tel.: (35) 36291224 - fax: (35) 36291265 - e-mail: [mambeli@unifei.edu.br](mailto:mambeli@unifei.edu.br).

#### RESUMO

Como forma de participar da filosofia contemporânea dos 3Rs (Reduzir, Reutilizar e Reciclar), o presente trabalho aborda um estudo de caso no *campus* da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), relacionado com a compostagem de resíduos orgânicos provenientes de áreas agrícolas (esterco) e do *Campus* da UNIFEI, a saber: restos de alimentos do restaurante acadêmico (RA) e resíduos de poda, visando à produção de um composto orgânico natural de boa qualidade, a ser utilizado no viveiro de mudas do *Campus* UNIFEI. Destaca-se, no presente estudo, o aprimoramento da aeração das leiras da compostagem, por meio da inserção de fragmentos de pneus usados nas mesmas. Desta maneira, o estudo tem por objetivo também, a minimização do problema de disposição final de pneus usados, ora utilizados nas fases de aquecimento e biodegradação ativa do processo de compostagem. As análises de demanda biológica de oxigênio (DBO), de demanda química de oxigênio (DQO) e de nitrogênio total foram realizadas no Laboratório de Química (LACONFIQ) da UNIFEI, a fim de analisar benefícios do uso de pneus no processo de compostagem.

**PALAVRAS-CHAVE:** Compostagem, Resíduos Alimentares, Pneu, Esterco.

#### INTRODUÇÃO

A problemática do gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos (RSU) abrange alguns aspectos relacionados à sua origem e produção, assim como envolve o conceito de escassez de recursos naturais. Nesse aspecto, inevitavelmente existem reflexos relacionados com o comprometimento do meio ambiente, principalmente, a poluição do solo, do ar e dos recursos hídricos, por meio da disposição inadequada dos resíduos sólidos (RS).

Os RSU resultam da atividade antrópica cotidiana, e os fatores principais que regem sua origem e produção são, basicamente, os seguintes: o aumento populacional e a intensidade da industrialização. Observando o comportamento destes fatores ao longo do tempo, verifica-se que existem fortes interações entre os mesmos. Por exemplo, o aumento populacional exige maior incremento na produção de alimentos e bens de consumo direto. A tentativa de atender à esta demanda faz com que o homem transforme cada vez mais matérias-primas



em produtos acabados, consumindo maior quantidade de energia e matéria-prima, e gerando maiores quantidades de resíduos que, dispostos inadequadamente, comprometem o meio ambiente.

Com relação ao tratamento e disposição final dos resíduos sólidos urbanos, destacam-se como alternativas tecnológicas de destino final: aterros sanitários, incineração, reaproveitamento, reciclagem e compostagem.

No contexto da reciclagem, destaca-se a tecnologia de compostagem, ou seja, processo de decomposição do material orgânico biodegradável existente nos RSU, em um composto (húmus) com características completamente diferentes daquele que deu origem (BIDONE e POVINELLI, 1999). Tal processo deve ocorrer sob condições adequadas, de forma a obter um composto orgânico, para utilização na agricultura. Esse processo permite também diminuir o volume da massa de RS destinada a aterros sanitários, uma vez que a matéria orgânica representa cerca de 65% de resíduos sólidos urbanos no Brasil.

A compostagem pode ser praticada por meio de técnicas bastante simples, acessíveis à população em geral, e abre espaço para a participação popular, no tocante à reciclagem do material orgânico dos RSU. Porém, esta atividade ainda não é praticada com todo seu potencial entre os órgãos municipais de limpeza e empresas privadas. Sendo assim, os projetos de compostagem ainda são escassos no País. Somente 3% dos RSU orgânicos e passíveis de compostagem gerados no Brasil eram, no ano de 2007, reciclado por meio da compostagem; e em Minas Gerais, considerando somente a área urbana, 4% dos resíduos orgânicos gerados são reciclados. (CEMPRE, s/d). De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (PNSB/IBGE), no Brasil de um total de 157.708,1t de RS gerados, apenas 6.534,6t são encaminhados à estação de compostagem; e em Minas Gerais de um total de 14.380,5t de RS gerados, somente 304,5t são enviados à estação de compostagem (IBGE, 2000).

Outra forma peculiar, e não menos importante, de reciclagem constitui-se na utilização de pneus no processo de compostagem, como agente promotor de volume de vazios na leira, facilitando a aeração nas primeiras etapas da confecção do composto orgânico.

A partir deste quadro, dá-se maior importância para atividades na área da reciclagem e reutilização, envolvendo a política dos 3Rs (Reduzir, Reutilizar e Reciclar), no cotidiano do *Campus* da Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI), por intermédio do uso de RS provenientes do próprio *Campus*, a saber: restos de material orgânico oriundo de atividades de poda e pneus usados. O momento para a realização deste presente trabalho é oportuno devido à existência de um anteprojeto sobre Implantação da Coleta Seletiva no *Campus* da UNIFEI (GERES, 2006), proposto pelo Grupo de Estudos de Resíduos Sólidos (GERES) e aprovado como Projeto Institucional.

Faz-se útil este trabalho no sentido de complementar e auxiliar o GERES nas futuras ações na área de compostagem e gestão de RS, como o pneu. Como maior ênfase a este Estudo, menciona-se o Decreto Federal nº 5.940 de 25 de outubro de 2006 (BRASIL, 2006) - que institui a segregação dos resíduos recicláveis descartados pelos órgãos e entidades da administração pública federal direta e indireta, na fonte geradora, e a sua destinação às associações e cooperativas dos catadores de materiais recicláveis -, surge para modificar a conduta atual da comunidade acadêmica. Essa comunidade conta hoje com 3656 pessoas entre estudantes, docentes e funcionários. Desta forma, espera-se gerar uma possível modificação da consciência individual e coletiva quanto aos resíduos gerados e seus potenciais usos, como no escopo desse projeto.

## OBJETIVO DO TRABALHO

Avaliar e comparar experimentalmente o desempenho de maturação de leiras de compostagem, com aeração auxiliada e não auxiliada pela presença de fragmentos de borracha de pneus.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A confecção do extrato de compostagem, bem como as análises de pH, umidade, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), carbono e nitrogênio foram realizadas no Laboratório de Controle Físico-Químico (LACONFIQ) do Instituto de Recursos Naturais da Universidade Federal de Itajubá (IRN/UNIFEI). A determinação de *Escherichia coli* foi analisada no Laboratório de



Microbiologia, na mesma Instituição. A montagem das leiras e as medições de temperaturas foram realizadas no viveiro de mudas do *campus* da UNIFEI.

Foram retalhados oito pneus sem a trama de aço (dentre eles quatro radiais), cujas dimensões foram idealizadas conforme estudo de Higgins *et al.* (1987), isto é, um quadrado de cinco (5) cm de lado.

As leiras de compostagem foram montadas na área aberta do viveiro de mudas do *campus*. Foram confeccionadas seis leiras de compostagem, para posterior tratamento estatístico dos resultados obtidos de análises laboratoriais dos extratos das leiras. Dentre as seis leiras estabelecidas, três foram consideradas controle – nas quais não foi realizado nenhuma manipulação adicional à de montagem - e as outras três foram completadas com pedaços de pneu obtidos no corte. Ressalta-se que, inicialmente na denominada 1ª etapa, foram confeccionadas duas leiras (uma de controle e uma com Pneu). As outras quatro leiras foram construídas na segunda quinzena de maio de 2007, isto é, 2ª etapa.

A proporção entre pneu e material orgânico para a montagem foram determinadas conforme Higgins *et al.* (1987), que mencionaram como sendo as melhores opções as proporções pneus/material orgânico de 2:1 e 3:1. No presente estudo, foi estabelecida a proporção 2:1. Ressalta-se que, como houve a confecção de leiras em meses distintos (março e abril), o processo de compostagem foi dividido em duas etapas: 1ª etapa, referente à primeira bateria de experimentos das pilhas de março; e 2ª etapa, referente à abril.

A proporção dos componentes da leira foi tal a garantir 50% de matéria orgânica proveniente de esterco e restos de comida do restaurante acadêmico (RA) e 50% de resíduos de poda do *campus*. Para obter uma leira de aproximadamente 1,0 metro de largura, 2,5 metros de profundidade e 1,0 metro de altura, foram necessários aproximadamente 300 litros de resíduos de comida, que foram transportados em galões de plástico preto de 50 litros cada. O esterco, basicamente de origem equina, foi adquirido em propriedades rurais do município. Ressalta-se que, previamente à disposição nas pilhas, tanto a comida quanto o esterco foram adequadamente inseridos em um triturador de resíduos orgânicos, visando a diminuir e homogeneizar a granulometria dos mesmos. Os resíduos de poda já se encontravam no viveiro, advindos da poda periódica da área gramada e de árvores do *campus*. Pelo fato das pilhas estarem a céu aberto, em cada leira foram construídas barreiras de contenção com blocos de concreto, a fim de impedir escoamento e perda de material em compostagem. A metodologia de montagem das pilhas foi seguida de acordo com o manual da ASPAN (2002).

A confecção do extrato do material em processo de compostagem foi adotada conforme Mangkoedihardjo (2006), utilizando como proporção 500 mL de água destilada para 50 gramas de amostra de composto orgânico, sendo homogeneizado em liquidificador doméstico. As amostras coletadas foram retiradas do centro de cada pilha e as análises foram realizadas quinzenalmente nos dois primeiros meses e mensalmente a partir do mês de maio.

A metodologia envolveu também, as análises desses extratos, a saber:

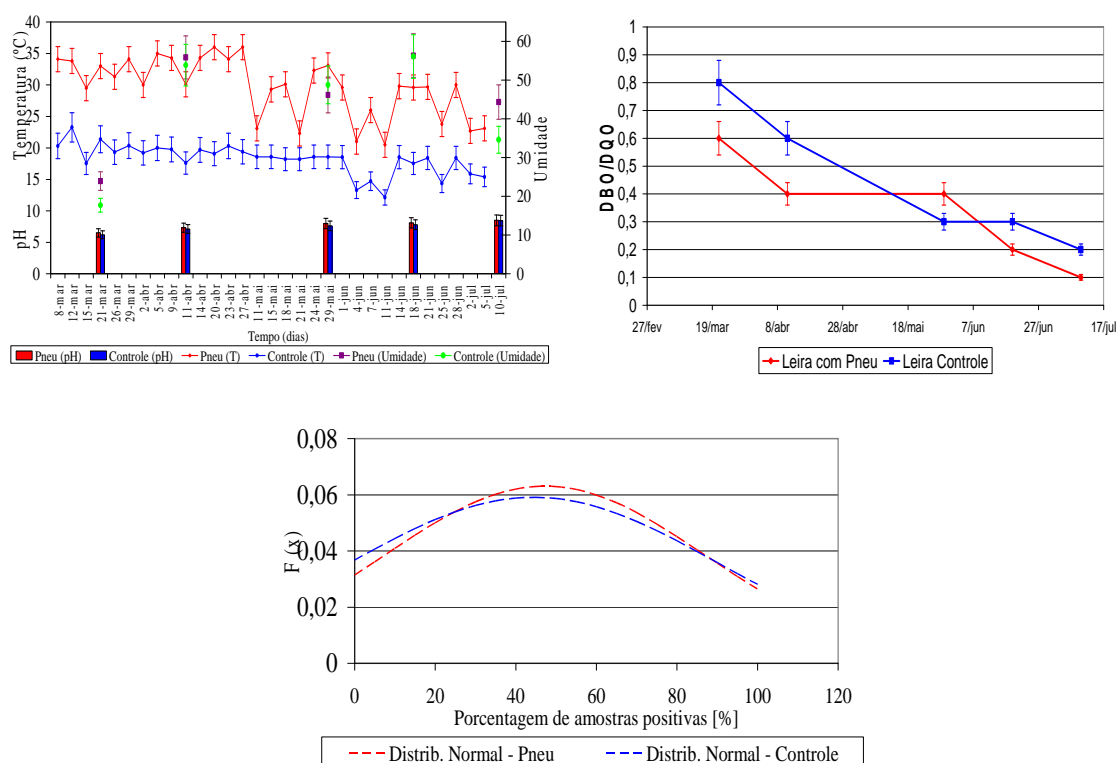
- **Valores de pH:** por meio do uso do pHmetro Digimed DM-20;
- **Temperatura:** medidas periodicamente a cada três dias com a ajuda de um termômetro digital, acompanhado do revolvimento das mesmas nessa periodicidade ou quando houvesse chuva em demasia, o que poderia acarretar em alta umidade. Valores aferidos em °C.
- **Umidade:** por meio do uso de uma balança analítica, em mufla a 550°C por duas horas e estufa a 100°C durante 24 horas;
- **Demanda Química de Oxigênio (DBO):** de acordo com o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998). Valores aferidos em mg/L;
- **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO):** conforme o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998). Valores aferidos em mg/L; e
- **Determinação de *Escherichia coli*:** por meio de tubos de Durham, conforme Almeida *et al* (2005). O experimento foi dividido em duas etapas, com dois tipos de meio de cultura diferentes para cada uma:

Caldo Verde Bile Brilhante concentrado (5% p/v – 25 gramas de meio de cultura Caldo Verde Brilhante em 0,5 litro de água destilada, distribuindo 10 mL do caldo em tubos de ensaio com tubos de Durham invertidos) e outro com 4% p/v (20 gramas de Caldo Verde Brilhante diluídos em 0,5 litro de água destilada, distribuindo 9 mL nos tubos de ensaio). Essas etapas correspondem à fase presuntiva e confirmativa, respectivamente. Para a preparação das amostras a serem inseridas nos tubos com meio de cultura, adotou-se o procedimento de diluição em Tubos Múltiplos. Foram utilizadas variações de concentração de  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  g<sub>composto</sub>/mL. Foram utilizadas diluições de  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$  e  $10^{-5}$  g<sub>composto</sub>/mL, as quais se coletaram 0,1 mL de cada e injetada no interior dos tubos de ensaio com o meio de cultura 5% p/v e tubo de Durham invertido. Os tubos foram vedados com algodão e dispostos na estufa a 35°C durante 24 horas. A segunda etapa consiste na detecção dos tubos de Durham positivos, ou seja, aqueles que apresentaram bolhas de ar em seu interior após permanecer 24 horas na estufa. Os tubos positivos foram selecionados, nos quais foram introduzidos a alça de platina para coleta de sua solução e imediatamente inserida nos tubos de ensaio preparados com o meio de cultura 4% p/v e enviados para a estufa a 36° C por 48 horas. Após o tempo definido, os tubos que apresentaram bolhas de ar foram considerados positivos, ou seja, presença confirmada de *E. coli*.

As análises de maturação do processo de compostagem das leiras a partir de DQO e DBO possui como base o estudo de Mangkoedihardjo (2006). Conforme o autor (*op. cit.*), o decaimento ao longo do tempo, de valores de DBO e DQO, indica degradação de matéria orgânica; ou seja, quanto menor o valor de demanda maior o grau de matéria degradada e estabilizada. O autor (*op.cit*) analisa estágio de maturação do processo por meio da razão entre DBO e DQO, considerando o valor 0,1 como limite máximo de estabilidade do composto.

## RESULTADOS

A Figura 1 apresenta os resultados obtidos para a 1ª etapa para os parâmetros de temperatura, pH e umidade (Figura 1a), a razão DBO/DQO (Figura 1b) e a detecção da presença de *E. coli* (Figura 1c).



**Figura 1: Parâmetros de controle do processo de maturação das leiras de compostagem confeccionadas na 1ª etapa: a) temperatura, pH e umidade (superior esquerda); b) razão DBO/DQO (superior direita); c) análise estatística da presença de *E. coli*.**

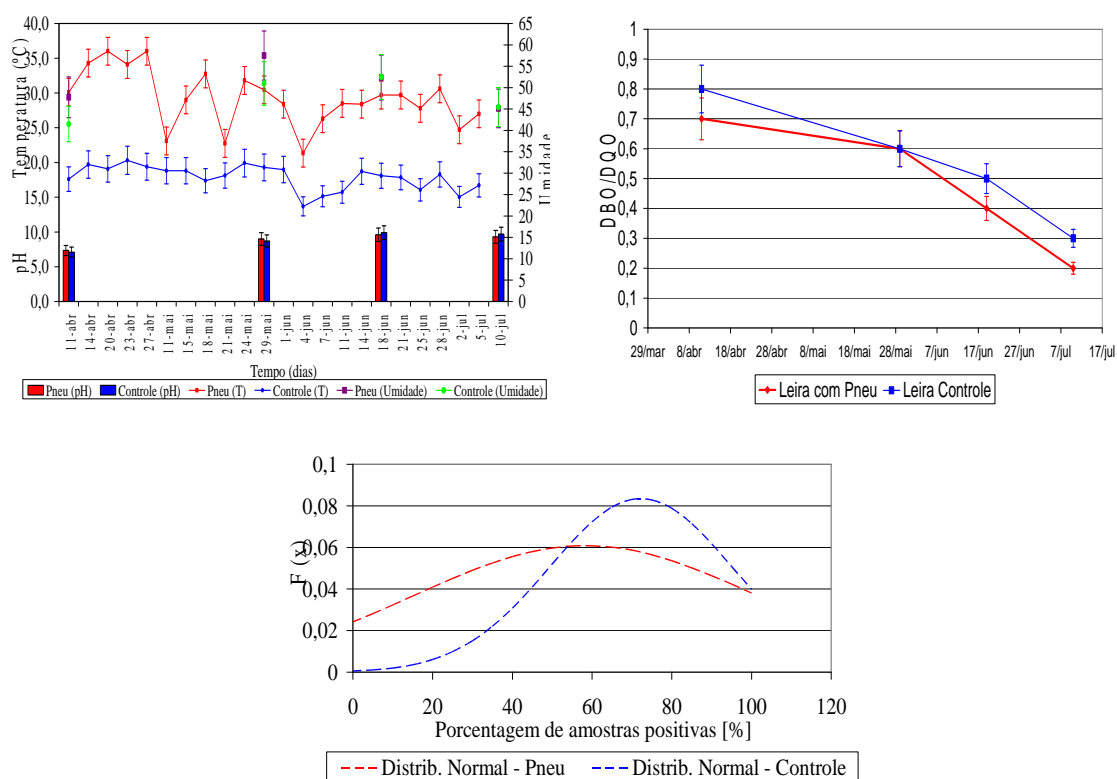


Foram observados valores de temperatura maiores durante todo o processo nas leiras com fragmentos de pneu, demonstrando desempenho superior na fase termofílica, embora em ambas as categorias de leiras estivessem pouco aquém do esperado com base na literatura. Este fato ocorreu provavelmente devido à pequena dimensão das leiras (1,0m x 2,5m x 1,0 m) que não foi capaz de manter temperaturas maiores que 40°C.

A umidade foi mantida constante e em torno de 50%, durante todo o processo, o que, de acordo com a literatura, é uma porcentagem ideal para uma boa compostagem. O comportamento da razão DBO/DQO seguiu tendência preconizada por Mangkoedihardjo (2006), diminuindo valor conforme tempo decorrido – de 0,6 a 0,1 para leira com pneu e de 0,8 a 0,2 para leira controle.

Observa-se que as leiras com Pneu obtiveram média de 47% de amostras positivas e as controle ligeiramente mais baixa (44%), porém com desvio-padrão maior de 46% contra 40% das leiras com pneu.

A Figura 2 apresenta os resultados obtidos para a 2ª etapa para os parâmetros de temperatura, pH e umidade (Figura 2a) e razão DBO/DQO (Figura 2b).



**Figura 2: Parâmetros de controle do processo de maturação das leiras de compostagem confeccionadas na 2ª etapa: a) temperatura, pH e umidade (superior esquerda); b) razão DBO/DQO (superior direita); c) análise estatística da presença de *E. coli*.**

A 2ª etapa apresentou valores de pH nas leiras acima dos apresentados na primeira etapa (de 7,3 a 9,3 nas leiras com pneus, por exemplo). Apesar disso, o comportamento nesta etapa foi semelhante à anterior no que tange ao aumento gradativo do valor de pH de ambas as leiras controle e pneu, correlacionando-se os valores maiores de temperatura com os de pH menores, invertendo-se ao longo do tempo. Isto ocorreu em decorrência de que esse período representou a fase termofílica do processo, potencializado pelo fato do referido período estar compreendido nos meses mais quentes (conforme ocorrido na primeira etapa).



Também foram observados valores de temperatura maiores durante todo o processo nas leiras com fragmentos de pneu, enfatizando o demonstrado desempenho superior na fase termofílica, embora em ambas as categorias de leiras estivessem aquém do esperado com base na literatura, não atingindo do mesmo modo temperaturas acima de 40°C, pelo mesmo motivo anteriormente mencionado, com relação à pequena dimensão adotada para a confecção das pilhas.

A umidade nesta etapa foi igualmente satisfatória ao apresentar valores em torno de 50%. Desse modo, as leiras com fragmentos de pneus apresentaram final de processo com maior teor de matéria orgânica estável (razão 0,2 em pilhas com pneu e 0,3 em pilhas controle). Nesta etapa também houve o indicativo de vantagem das leiras com pneus sobre as controle, com relação à maior rapidez do processo de compostagem, ao apresentar valores de razão menores.

É possível observar que as leiras com Pneu obtiveram média de 58% de amostras positivas, ao passo que as controle 72% (maior), embora o desvio-padrão das com Pneu tenha sido ligeiramente maior que as controles (43% e 23%, respectivamente). Considera-se, portanto, maior eficiência do processo com o uso de Pneus, pois apresentou menor ocorrência de presença do patógeno, apesar de nenhuma das leiras ter atingido o ideal ao final do processo (ausência de *E. coli*).

Uma possível explicação para a presença do microrganismo seria a questão da temperatura nunca ter atingido o valor ideal, conforme literatura, que controlaria o crescimento e permanência da população de bactérias.

## CONCLUSÕES

De modo geral, foi possível concluir que:

- Conforme demonstrado pelos valores dos parâmetros de DBO/DQO, temperatura e pH, houve um melhor desempenho do processo nas leiras com fragmentos de pneus, corroborado pela análise estatística de presença de *E. coli*.
- A razão DBO/DQO para análise de maturação foi satisfatória ao seguir comportamento preconizado por Mangkoedihardjo (2006), obtendo valores progressivamente menores conforme tempo de compostagem, indicando estabilização da matéria orgânica e possibilitando comparação de estágio de maturação entre leiras com pedaços de pneus e leiras controles, em ambas as etapas.
- A segunda etapa possibilitou confirmar o comportamento das leiras conforme pilhas da primeira etapa. Foi útil para enfatizar e concluir os benefícios que fragmentos de pneus trazem ao processo de compostagem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, J. A. G.; GUIMARÃES, V.; NOVAK, F. R. Teste Simplificado para Determinação de Coliformes Fecais. Rede Nacional de Bancos de Leite Humano: Rio de Janeiro, 2005.
2. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Standard methods for the examination of water and wastewater. 20 ed. Washington: APHA/AWWA/ WEF, 1998.
3. ASSOCIAÇÃO PERNAMBUCANA DE DEFESA DA NATUREZA - ASPAN. Faça seu próprio composto orgânico – guia prático para atividades de compostagem no domicílio e na comunidade. Recife, 2002a.
4. BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos. São Carlos: EESC/USP, 1999. 120 p.
5. BRASIL. Decreto nº 5940, de 25 de outubro de 2006. Institui a separação dos resíduos recicláveis descartados pelos órgãos e entidades da Administração Pública Federal Direta e Indireta, na fonte geradora, e sua destinação às associações e cooperativas dos catadores de materiais recicláveis, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília. 2006.
6. COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM (CEMPRE). Composto urbano. Disponível em: < [http://www.cempre.org.br/fichas\\_tecnicas.php?lnk=ft\\_composto\\_urbano.php](http://www.cempre.org.br/fichas_tecnicas.php?lnk=ft_composto_urbano.php)>. Acesso em 08 de abr. de 2009.





7. GRUPO DE ESTUDOS DE RESÍDUOS SÓLIDOS - GERES. Anteprojeto: Implantação da coleta seletiva no *Campus* da UNIFEL. Itajubá: GERES, 2006.
8. HIGGINS, A. J. *et al.* Shredded Rubber Tires as a Bulking Agent for Composting Sewage Sludge. United States Environmental Protection Agency (EPA). 1987.
9. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Quantidade diária de lixo coletado por unidade de destino final do lixo coletado. 2000. Disponível em:<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?z=p&o=19&i=P>>. Acesso em 08 de abr. de 2009.
10. MANGKOEDIHARDJO, S. Reevaluation of Maturity and Stability Indices for Compost. JASEM – J. Appl. Sci. Environ. Mgt.: vol. 10 (3) 83 – 85, 2006.