

Método de Aproveitamento Biossólido Proveniente de Lodo de Esgoto Residencial Através de Processo de Compostagem Seguido de Biodigestão Anaeróbia



República Federativa do Brasil

Luiz Inácio Lula da Silva
Presidente

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA

Roberto Rodrigues
Ministro

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa

Conselho de Administração

José Amauri Dimárzio
Presidente

Clayton Campanhola
Diretor-Presidente

Alexandre Kalil Pires
Hélio Tollini
Ernesto Paterniani
Luis Fernando Rigato Vasconcellos
Membros

Diretoria Executiva da Embrapa

Clayton Campanhola
Diretor-Presidente

Gustavo Kauark Chianca
Hebert Cavalcante de Lima
Mariza Barbosa
Diretores

Embrapa Instrumentação Agropecuária

Ladislau Martin Neto
Chefe-Geral

Álvaro Macedo da Silva
Chefe-Adjunto de Administração

Luiz Henrique Capparelli Mattoso
Chefe-Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento

Ricardo Yassushi Inamasu
Gerente da Área de Comunicação e Negócios



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Instrumentação Agropecuária
Ministério da Agricultura e do Abastecimento*

ISSN 1518-7179

Dezembro, 2004

Documentos 13

Método de Aproveitamento Biossólido Proveniente de Lodo de Esgoto Residencial Através de Processo de Compostagem Seguido de Biodigestão Anaeróbia

Wilson Tadeu Lopes da Silva
Antônio Pereira de Novaes
Ladislau Martin-Neto
Débora Marcondes Bastos Pereira Milori
Marcelo Luiz Simões
Renata Natsumi Haneda
Lucimar Lopes Fialho
Fabiana Cunha Viana Leonelli

São Carlos, SP
2004

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Instrumentação Agropecuária
Rua XV de Novembro, 1452
Caixa Postal 741
CEP 13560-970 - São Carlos-SP
Fone: (16) 3374 2477
Fax: (16) 3372 5958
www.cnpdia.embrapa.br
E-mail: sac@cnpdia.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Dr. Luiz Henrique Capparelli Mattoso
Secretária-Executiva: Valéria de Fátima Cardoso
Membros: Dra. Débora Marcondes Bastos Pereira Milori,
Dr. João de Mendonça Naime,
Dr. Washington Luiz de Barros Melo
Membro Suplente: Dr. Paulo Sérgio de Paula Herrmann Junior

Supervisor editorial: Dr. Rubens Bernardes Filho
Revisor de texto: Valéria de Fátima Cardoso
Normalização bibliográfica: Valéria de Fátima Cardoso
Tratamento de ilustrações: Valentim Monzane
Loga da Capa: Moacyr José Vaz de Souza
Editoração eletrônica: Valentim Monzane

1ª edição

1ª impressão (2004): tiragem 300

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 Instrumentação Agropecuária

Silva, Wilson Tadeu Lopes da

Método de aproveitamento biossólido proveniente de lodo de esgoto residencial através de processo de compostagem seguido de biodigestão anaeróbia Relatório técnico / Wilson Tadeu Lopes da Silva, Antônio Pereira de Novaes, Ladislau Martin-Neto, Débora Marcondes Bastos Pereira Milori, Marcelo Luiz Simões, Renata Natsumi Haneda, Lucimar Lopes Fialho Fabiana Cunha Viana Leonelli. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004.

50 p. : il. -- (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Documentos, ISSN1518-7179; n.13).

1. Lodo de esgoto Aproveitamento. 2. Biossólido Análises físico-química e microbiológica. 3. Compostagem. 4. Biodigestão Anaeróbia. 5. Humificação Processo. I. Novaes, Antônio Pereira de. II. Martin-Neto, Ladislau. III. Milori, Débora Marcondes Bastos Pereira. IV. Simões, Marcelo Luiz. V. Haneda, Renata Natsumi. VI. Fialho, Lucimar Lopes. VII. Leonelli, Fabiana Cunha Viana. VIII. Título. IX. Série.

CDD (21. Ed.) 631.869

© Embrapa 2004

Autores

Wilson Tadeu Lopes da Silva

Doutor, Químico, Embrapa Instrumentação Agropecuária
Rua XV de Novembro, 1452, Caixa Postal 741,
CEP 13560-970, São Carlos, São Paulo,
wilson@cnpdia.embrapa.br

Antonio Pereira de Novaes

MSc, Veterinário, Embrapa Instrumentação Agropecuária
Rua XV de Novembro, 1452, Caixa Postal 741,
CEP 13560-970, São Carlos, São Paulo,
novaes@cnpdia.embrapa.br

Ladislau Martin Neto

Doutor, Físico, Embrapa Instrumentação Agropecuária
Rua XV de Novembro, 1452, Caixa Postal 741,
CEP 13560-970, São Carlos, São Paulo,
martin@cnpdia.embrapa.br

Débora Marcondes Bastos Pereira Milori

Doutora, Física, Embrapa Instrumentação Agropecuária
Rua XV de Novembro, 1452, Caixa Postal 741,
CEP 13560-970, São Carlos, São Paulo,
debora@cnpdia.embrapa.br

Marcelo Luiz Simões

MSc, Física, Embrapa Instrumentação Agropecuária
Rua XV de Novembro, 1452, Caixa Postal 741,
CEP 13560-970, São Carlos, São Paulo,
marcelo@cnpdia.embrapa.br

Renata Natsumi Haneda

Bacharel Bilogia

Lucimar Lopes Fialho

Bacharel em Química

Fabiana Cunha Viana Leonelli

MSc, Eng. Agrônoma, Embrapa Instrumentação Agropecuária
Rua XV de Novembro, 1452, Caixa Postal 741,
CEP 13560-970, São Carlos, São Paulo,
fabiana@cnpdia.embrapa.br

Apresentação

A Embrapa Instrumentação Agropecuária, criada em Dezembro de 1984, caracteriza-se como um Centro Temático e tem como missão: viabilizar soluções para o desenvolvimento sustentável do agronegócio, por meio de geração, adaptação e transferência de conhecimentos e tecnologias em instrumentação para o benefício da sociedade.

O capital humano da Unidade está constituído por 58 funcionários, sendo 20 pesquisadores (17 com doutoramento), e em torno de 100 bolsistas de pós-graduação e graduação.

Uma série de resultados de interesse para a pesquisa, produtores e indústrias foram gerados, incluindo número significativo de publicações científicas, patentes e de produtos transferidos para a produção e comercialização pela iniciativa privada.

A Embrapa Instrumentação Agropecuária atua em três linhas principais: metodologias avançadas (incluindo uso de equipamentos laboratoriais de grande porte, como tomógrafo e espectrômetro de alta resolução de ressonância magnética nuclear), desenvolvimento de sistemas, equipamentos e sensores automatizados, e ainda na manutenção de equipamentos laboratoriais (prestando serviços, principalmente, para as outras 36 Unidades Descentralizadas da Embrapa).

“Os mercados de produtos agrícolas e industriais estão cada vez mais competitivos, e as novas tecnologias são elementos centrais na busca de competitividade. Não apenas as commodities, mas também mercados de insumos diferenciados têm demanda qualificada por conhecimento de base científica e tecnológica”. Esta frase extraída do Livro Verde, do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT), publicado em 2001, define bem as perspectivas, demandas e desafios para uma Unidade com o perfil da Embrapa Instrumentação Agropecuária.

Sistemas, equipamentos e sensores automatizados para uso em laboratório e em campo, métodos avançados, incluindo tomógrafos e espectômetros, nanotecnologia, novos materiais, Agricultura de Precisão, redes neurais, inteligência artificial, modelamento, simulação, mecatrônica, lasers, e outros são temas e ferramentas em uso corrente hoje na Embrapa Instrumentação Agropecuária. Assim estão estabelecidas condições para uma atuação que, adequadamente conduzida com foco na pesquisa em cadeias produtivas e temas relevantes, incluindo a Agricultura Familiar, Segurança Alimentar e Nutricional e Meio Ambiente e através de parcerias e ações estratégicas, produza resultados importantes para o desenvolvimento sustentável do Agronegócio Brasileiro.

Ladislau Martin Neto
Chefe Geral

Sumário

Apresentação	5
1. Introdução	7
1.1. Biossólidos provenientes de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE)	7
1.2. Compostagem	9
1.3. Digestão Anaeróbia	9
1.3.1. Bactérias Metanogênicas	10
1.3.2. Bactérias Fermentativas	10
1.3.3. Bactérias Acetogênicas Produtoras de H ₂	11
1.3.4. Bactérias Redutoras de Sulfato	11
1.4. Caracterização do Projeto	11
2. Objetivos	14
2.1. Objetivo geral	14
2.2. Objetivos específicos	14
3. Metodologia	15
3.1. Estudo de processo exclusivamente anaeróbio	15
3.2. Estudo de processo envolvendo compostagem (processo aeróbio) e fermentação (anaeróbia)	16
3.2.1. Análises Químicas	19
3.2.1.1. Análise de elementos químicos potencialmente tóxicos ...	19
3.2.1.2. Composição elementar	20
3.2.1.3. Teor de cinzas	20
3.2.1.4. pH	20
3.2.2. Análise Espectroscópica	20
3.2.2.1. Quantificação de spins eletrônicos em radicais livres orgânicos por Espectroscopia de Ressonância Paramagnética Eletrônica (EPR)	20
3.2.3. Análise Microbiológica	21
3.2.3.1. Qualitativa	21
3.3. Preparo de Leiras para acompanhamento do processo de desinfecção e coleta das amostras	22
3.3.1. Análises Microbiológicas	23
3.3.1.1 Qualitativa	23
3.3.1.2 Quantitativa	23
3.3.2. Análises físicas e químicas	24
3.3.2.1 Composição elementar	24
3.3.2.2 Teor de cinzas e pH	24
3.3.2.3 Teor de umidade	24
3.3.2.4 Fertilidade	24
4. Resultados	25
4.1. Caracterização do lodo	25
4.1.1. Elementos químicos potencialmente tóxicos	25
4.1.2. Composição elementar	25
4.1.3. Análise Microbiológica	26
4.2. Acompanhamento do processo anaeróbio	26
4.2.1. Temperatura	26
4.2.2. pH	27
4.2.3. Relação C/N	28
4.2.4. Quantificação dos radicais livres orgânicos por EPR	29
4.2.5. Macro e micronutrientes	30
4.2.6. Análise microbiológica	30
4.3. Acompanhamento dos processos aeróbio e anaeróbios	32
4.3.1. Temperatura	32
4.3.2. Composição elementar	33
4.3.3. pH	34
4.3.4. Análise de quantificação de radicais livres orgânicos por EPR	35
4.3.5. Análise microbiológica qualitativa	36
4.4. Acompanhamento do processo de desinfecção das leiras	37
4.4.1. Temperatura	37
4.4.2. Estudo de viabilidade de ovos de helmintos	38
4.4.3. Análise microbiológica quantitativa	40
4.4.4. Análise microbiológica qualitativa	41
4.4.5. Composição elementar	42
4.4.6. Fertilidade	42
5. Conclusões	43
Referências bibliográficas	45
Anexos	48

Método de Aproveitamento Biossólido Proveniente de Lodo de Esgoto Residencial Através de Processo de Compostagem Seguido de Biodigestão Anaeróbia

Wilson Tadeu Lopes da Silva

Antônio Pereira de Novaes

Ladislau Martin-Neto

Déborá Marcondes Bastos Pereira Milori

Marcelo Luiz Simões

Renata Natsumi Haneda

Lucimar Lopes Fialho

Fabiana Cunha Viana Leonelli

1. INTRODUÇÃO

Este documento tem por finalidade apresentar a potencialidade do uso de lodo doméstico proveniente de Estação de Tratamento Primário (Físico-químico) e de lagoa de estabilização do tipo facultativa. Cuidados devem ser tomados para que sejam evitadas as contaminações tanto das pessoas que manipulam o material quanto o meio ambiente.

1.1. Biossólidos provenientes de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE)

A estação de tratamento de esgoto (ETE) é o conjunto de instalações e equipamentos destinados à realização do tratamento de esgotos, sejam eles domésticos ou industriais.

Existe um ponto em comum entre todos os tratamentos: a geração de um resíduo sólido, representado pelo acúmulo de sólidos suspensos (fezes, resíduos de alimentos e produtos de limpeza) e pela proliferação dos microorganismos que promovem a digestão do esgoto dependendo do método utilizado. Este resíduo é chamado de lodo de esgoto (LE) ou biossólido.

Os biossólidos contêm matéria orgânica, macro e micronutrientes que exercem um papel fundamental na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo. Além disso, a matéria orgânica contida nos biossólidos pode aumentar o conteúdo de húmus que melhora a capacidade de armazenamento e de infiltração da água no solo, aumentando a resistência dos agregados e reduzindo a erosão (BETTIOL e CAMARGO, 2000).

O destino final desse lodo de esgoto, todavia, tem sido preocupação secundária em relação à complexidade do problema que ele representa no processo operacional.

Uma opção de destino bastante difundida é a digestão anaeróbia seguida de desidratação e destinação final em aterros sanitários municipais, para co-disposição com os resíduos sólidos urbanos. Porém, novas metodologias vem surgindo, sendo duas de bastante destaque atualmente: a utilização como fertilizante orgânico na agricultura e reflorestamento, e a utilização como agregado leve na construção civil.

O tratamento adequado do lodo de esgoto, para fins agrícola e florestal mostra-se como uma das mais apropriadas, pois esse material tem um potencial fertilizante que não pode ser desprezado. Entretanto, a aplicação desse lodo no solo deve ser monitorada para que não ocorram problemas posteriores, visto que podem sofrer alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, além da possibilidade de contaminação por agentes patogênicos (Bower e Idelovitch 1987; Evans et al., 1991) e metais pesados, no caso do material de origem industrial. A aplicação direta no solo de lodo "fresco", pode não ser a melhor forma, pois a atividade microbiana pode retirar todo o oxigênio do solo, tornando-o impróprio para o cultivo.

Atualmente, do ponto de vista sanitário, o que realmente põe em risco a saúde pública é a presença microorganismos patogênicos intestinais, como bactérias, vírus, protozoários e ovos de helmintos, agentes freqüentemente responsáveis por doenças de veiculação hídrica (GELDREICH, 1974). É claro que isto somente é verdadeiro se forem excluídos deste grupo de enfermidades os envenenamentos ocasionados por substâncias químicas, que normalmente são oriundas de despejos industriais (ROCHA, 1974).

No entanto, a evidência direta daqueles agentes patogênicos no lodo de esgoto é tecnicamente bastante difícil. Por este motivo, empregam-se métodos indiretos na investigação da presença ou não bactérias indicadoras de poluição fecal. Para isto, são pesquisadas rotineiramente as bactérias do grupo coliforme, pois, geralmente, elas estão presentes quando ocorre poluição de origem fecal e ausentes quando não ocorre tal poluição (BRANCO, 1974; CRISTOVÃO et al., 1974; GELDREICH, 1974). Deste modo, verificando-se a presença de bactérias coliformes pode-se considerar que o material é potencialmente perigoso à saúde humana, pelo fato de ser capaz de veicular microorganismos patogênicos intestinais, que são também eliminados habitualmente com as fezes (AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, 1970; BRANCO, 1974; CRISTOVÃO et al., 1974; CETESB, 1999). Portanto, o que se espera dentro do contexto do projeto, dentre vários outros objetivos, é a eliminação destes microorganismos citados acima.

1.2. Compostagem

A compostagem pode ser definida como uma biooxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizado pela produção de CO₂, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável. Os componentes orgânicos biodegradáveis passam por etapas sucessivas de transformação, sob a ação de diversos grupos de microorganismos, resultando num processo bioquímico altamente complexo. Sendo um processo biológico, os fatores mais importantes, que influem na degradação da matéria orgânica são a aeração, os nutrientes e a umidade. A temperatura também é um fator importante, principalmente no que diz respeito à rapidez do processo de biodegradação e à eliminação de patógenos, porém é resultado da atividade biológica. Os nutrientes, principalmente carbono e nitrogênio, são fundamentais ao crescimento bacteriano. O carbono é a principal fonte de energia e o nitrogênio é necessário para a síntese celular. Fósforo e enxofre também são importantes, porém seu papel no processo é menos conhecido. Os microorganismos têm necessidade dos mesmos micronutrientes requeridos pelas plantas: Cu, Ni, Mo, Fe, Mn, Zn e Cl são utilizados nas reações enzimáticas, porém os detalhes deste processo são pouco conhecidos (BETTIOL e CAMARGO, 2000).

Existem muitos sistemas para a produção de composto, mas eles podem ser agrupados em dois tipos: fermentação natural em leiras ou montes e fermentação acelerada em digestores ou em compartimentos fechados (JIMÉNEZ e GARCIA, 1989).

Como resultado da compostagem são gerados dois importantes componentes: sais minerais, contendo nutrientes para as raízes das plantas, e húmus, como condicionador e melhorador das propriedades físicas, físico-químicas e biológicas do solo. É por esta última razão que determinados autores se referem à matéria orgânica humificada apenas como condicionador do solo, relegando seu importante valor como fornecedor de elementos essenciais à vida vegetal (KIEHL, 1998).

1.3. Digestão Anaeróbia

A digestão anaeróbia é um processo fermentativo à que são submetidos diversos tipos de resíduos (urbanos, rurais ou industriais), com uma ou mais das seguintes finalidades: tratamento dos resíduos (remoção de matéria orgânica poluente e dos microorganismos patogênicos), produção de biogás e produção de biofertilizantes mais estáveis, mais ricos em nutrientes assimiláveis e com melhores qualidades sanitárias em relação ao material original (BADRA, 1992).

Há vários tipos de bactérias envolvidas no processo anaeróbio, entre as quais podem ser citadas:

1.3.1. Bactérias Metanogênicas

O estudo das bactérias metanogênicas em culturas puras, tem demonstrado que elas são compostas de várias espécies diferentes, com diferentes formatos e estruturas celulares, mas todas obtendo energia por um só mecanismo ainda não completamente conhecido, que leva à formação de metano. Essas bactérias requerem condições extremamente anaeróbias, ou seja, crescem onde o oxigênio é completamente ausente, sob um potencial de oxi-redução por volta de 300 mV (VIEIRA e SOUZA, 1981). Suas necessidades nutricionais são bastante simples, requerendo sais minerais, CO₂ (fonte de C), NH₄⁺ (fonte de N) e sulfeto/ cisteína (fonte de S). Utilizam substratos específicos, como acetato, formiato, H₂, CO₂, CO, metanol e metilaminas.

São conhecidas duas faixas características de temperatura para o crescimento das metanogênicas, a mesofílica, entre 15°C e 40°C e a termofílica entre 55°C e 65°C. O pH ideal é entre 6,8 e 7,2.

1.3.2. Bactérias Fermentativas

O grupo das bactérias fermentativas é composto de uma mistura complexa de muitas espécies bacterianas. Observações em biodigestores de lodo de esgoto e resíduos orgânicos e em sedimentos de lago mostram que muitas são anaeróbias obrigatórias, porém algumas são anaeróbias facultativas, tais como estreptococos e enterobactérias.

A nutrição, fisiologia e metabolismo da maioria das bactérias fermentativas, em ecossistemas como digestores de resíduos orgânicos e sedimentos aquáticos não têm sido estudados com profundidade. No entanto, as informações já obtidas em tais estudos, em relação a microflora do rúmem e intestino de animais, auxiliam na compreensão do papel dessas bactérias nos outros sistemas anaeróbios.

Como fonte de energia, essas bactérias utilizam geralmente os carboidratos presentes no meio. E também, requerem como fonte nutricional, sais minerais, vitaminas B, hemina e menadiona, amônia, mistura de ácidos voláteis, metionina, cisteína, sulfeto e CO₂.

Polissacarídeos tais como a celulose, hemicelulose, pectina e amido podem ser hidrolizados pela ação das enzimas bacterianas a materiais de baixo peso molecular tais como açúcares e oligossacarídeos (por exemplo, ácidos urônicos e metanol são formados a partir da pectina), os quais são transportados para dentro das células e fermentados a uma variedade de produtos: acetato, etanol, butirato, propionato etc. (MC INERNEY and BRYANT, 1981)

1.3.3. Bactérias Acetogênicas Produtoras de H₂

Esse grupo é provavelmente composto de muitas espécies bacterianas, possuindo diferentes fontes de energia. São essenciais para a degradação anaeróbia devido ao fato de catabolizarem propionato e ácidos graxos de cadeia longa, álcoois, alguns aromáticos e outros ácidos orgânicos produzidos na primeira etapa da fermentação, a acetato, H₂ e CO₂.

A regulação da pressão parcial do H₂ é muito importante para que se mantenha o equilíbrio do ecossistema anaeróbio, pois sua presença em excesso pode inibir passos do metabolismo fermentativo (MC INERNEY and BRYANT, 1981).

1.3.4. Bactérias Redutoras de Sulfato

As bactérias redutoras de sulfato encontram-se frequentemente associadas às metanogênicas, em ambientes naturais. Presença de sulfato em sedimentos pode inibir a metanogênese. Infelizmente, o mecanismo dessa inibição é desconhecido, mas parece haver competição pelo mesmo substrato (acetato ou H₂) entre as duas populações (BRYANT et al. 1977). Na ausência de sulfato, a bactéria redutora comporta-se como um organismo acetogênico, produzindo acetato e liberando H₂. Dessa forma, ora as redutoras de sulfato favorecem a metanogênese (na ausência de sulfato), ora desfavorecem por competição pelos ácidos orgânicos e H₂.

Durante o processo de compostagem e maturação de materiais orgânicos, necessariamente deve-se acompanhar o processo, de tal forma que se dê condições para que as diferentes bactérias trabalhem em sinergia e assim, seja obtido um produto final de melhor qualidade em um menor tempo.

1.4. Caracterização do Projeto

O processo baseou-se na compostagem do lodo em presença de poda proveniente da conservação de ruas e terrenos urbanos.

O lodo é proveniente da Estação de Tratamento Primário Avançado (Lodo TPA), onde os sólidos suspensos são precipitados através da adição de cloreto férrico ao esgoto. A este material é adicionado um polieletrólito (poliacrilato) para aumentar o tamanho das partículas e assim acelerar e aumentar a eficiência do processo. O precipitado é então separado do fundo da estação e armazenado em tanques para disposição. O lodo gerado desta forma é bruto, não passando por nenhum outro processo de estabilização química ou microbiológica, o que o impede de ser utilizado diretamente na agricultura, pelas normas da CETESB (CETESB, 1999). Nesta forma o lodo é bastante fluido e apresenta uma quantidade de biossólido da ordem de 5% em massa, sendo o restante água (figura 1a). Foi utilizado também o lodo que é proveniente do tratamento de esgoto urbano em lagoas facultativas (Lodo biológico).

A poda que é proveniente de coleta urbana, em ruas, calçadas e terrenos, é composta basicamente de madeira, folhas de árvore e grama. Todo este material foi previamente triturado (figura 1b) para melhor homogeneização e desta forma favorecer o processo de compostagem.



Figura 1: (a) Imagem do lodo, (b) do triturador e (c) da poda antes e depois de triturada.

Inicialmente foram montados experimentos utilizando poda fresca de árvore e lodo de esgoto de tratamento físico-químico TPA. A estes materiais foram incorporados esterco bovino e açúcar, utilizados como “aceleradores” do processo. O esterco bovino, devido às suas bactérias, é capaz de transformar a celulose em açúcares, acelerando o processo (EMBRAPA..., 2001b). O açúcar foi utilizado como alimento facilmente decomponível para as bactérias.

Estes primeiros experimentos foram muito importantes do ponto de vista do conhecimento do material e suas principais dificuldades, principalmente nos aspectos de temperatura e microbiologia. Mas com os resultados obtidos, tornou-se necessário um redimensionamento do experimento.

Em uma nova etapa, foram propostos vários experimentos (em processos aeróbio e anaeróbio) com diversas composições, utilizando-se os seguintes

materiais: poda fresca, lodo TPA, lodo biológico e esterco bovino. Estes dois últimos foram utilizados como inoculadores de bactérias que são capazes de transformar a celulose em açúcares, acelerando o processo.

Foi conduzido experimento com cultivo de milho e eucalipto para avaliação do potencial fertilizante do material compostado. E finalizando o estudo, foram montadas 2 leiras para acompanhamento do processo de desinfecção do material.

Essencialmente as atividades foram: coletas mensais de alíquotas dos experimentos, secagem e moagem das amostras, análises microbiológicas, determinação de pH e teor de cinzas, extração das substâncias húmicas, análise de Espectroscopia de Ressonância Paramagnética Eletrônica (EPR), confecção de gráficos e tabelas de todos os resultados das análises e do acompanhamento da temperatura das leiras e dos biodigestores (processo anaeróbio) durante o período de compostagem.

Vários resultados e conclusões interessantes foram obtidos durante o desenvolvimento do projeto piloto de compostagem aeróbia e aneróbia, entre os quais podemos citar o fato de que foi possível a eliminação total das bactérias patogênicas pertencentes ao grupo coliforme fecal no processo aeróbio e melhor incorporação de nitrogênio, no processo anaeróbio, além da elevação dos valores de pH (acima de 7). O material obtido, depois da compostagem, atende às normas da CETESB com referência a um fertilizante orgânico. Os experimentos conduzidos com aplicação do composto em cultivo de milho e eucalipto, mostraram o potencial fertilizante deste material.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

O presente projeto teve como objetivo geral, avaliar as características do lodo de esgoto gerado e, a partir de ações bem definidas de tratamento, melhorar a qualidade deste em termos de fertilidade.

2.2. Objetivos específicos

- a.) Verificar a eficiência do processo de biodigestão e se a presença de inoculantes (esterco bovino e/ou lodo biológico) aumenta o potencial fertilizante do lodo proveniente do sistema de tratamento primário avançado (lodo TPA), além de acelerar o processo de compostagem da poda de árvores, devido a intensa atividade microbiana;
- b.) Determinar qual o melhor método de compostagem que enriquece o lodo, visando sua transformação em um fertilizante orgânico e objetivando sua aplicação no solo;
- c.) Avaliar entre os métodos de compostagem propostos, aquele que estabiliza o material em menor tempo e;
- d.) Verificar se o método de compostagem escolhido também é eficiente na eliminação de agentes patogênicos.

3. METODOLOGIA

3.1. Estudo de processo exclusivamente anaeróbio

Em junho de 2003, foram propostos experimentos para biodigestão em processo de anaerobiose dos resíduos: poda fresca de árvore (F) lodo de esgoto de tratamento físico-químico TPA (L), esterco bovino (E) e açúcar (A), sendo as proporções descritas na tabela 1.

Tabela 1: Quantidade total de material utilizado para os experimentos propostos na 1ª etapa do projeto

Experimentos	Folhas (kg)	Esterco (kg)	Lodo (L)	Acucar (kg)	Agua (L)
F	40	-	-	-	16
FE	30	4	-	-	16
FEL	30	4	16	-	2
FEA	30	4	-	2	16
FELA	30	4	16	2	2

A homogeneização prévia do material foi feita através de tambores rotativos (betoneiras) devidamente limpos e higienizados. A biodigestão do material ocorreu na Riviera de São Lourenço, em experimentos com amostras dispostas em 4 sacos plásticos. Os sacos foram enterrados na areia e colocados sob uma lona preta. A figura 2 apresenta a disposição dos experimentos.



Figura 2: Disposição dos experimentos na primeira etapa

Paralelamente, foram feitas biodigestões destas misturas em sistemas menores, mas que possuíam temperatura controlada (36°C, em estufa). A função destes experimentos foi a de observar o efeito da temperatura no processo, visto que os trabalhos iniciaram-se no inverno (26/06/03). Na figura 3 é apresentada a disposição das amostras, que foram acondicionadas em frascos tipo “tap ware”, devidamente fechados.



Figura 3: Experimentos sob temperatura controlada

Estas amostras foram analisadas segundo diversos parâmetros:

- microbiologia (contagem de coliformes totais e fecais, e identificação de bactérias): avaliação da potencialidade de contaminação do material e redução da quantidade de bactérias patogênicas em função do tempo de compostagem
- análise elementar (CHN): composição química da matéria orgânica e obtenção da relação C/N, aferidora do grau de estabilização química do material.
- pH: variação do pH em função do tempo de compostagem
- quantificação de spins eletrônicos em radicais livres orgânicos por EPR: determinação do avanço do grau de humificação do material
- fertilidade: quantificação de macro e micronutrientes

3.2. Estudo de processo envolvendo compostagem (processo aeróbio) e fermentação (anaeróbia)

Em outubro de 2003, iniciou-se a segunda etapa do projeto que consistiu no estudo dos processos aeróbio e anaeróbio, em sistemas redimensionados.

O processo de compostagem (aeróbio) faz com que o material perca nitrogênio. Desta forma resolveu-se adicionar a este processo uma nova etapa, que seria a inclusão de uma digestão anaeróbia do material.

Os experimentos foram montados de acordo com as descrições abaixo:

Experimento 1 - Processo anaeróbio: Foram utilizados esterco bovino, lodo do tratamento físico-químico (TPA) e resíduo vegetal (poda triturada). A quantidade foi suficiente para completar um biodigestor de 6 m³, o qual foi fechado para trabalhar em anaerobiose (figura 4a). Este experimento foi denominado “Biodigestor 1”.

Experimento 2 - Processo misto: Foram misturados resíduos vegetais e lodo do tratamento físico-químico (TPA), nas proporções descritas na tabela 2, totalizando 20 m³, que foram montados na forma de uma leira para compostagem aeróbia. A parte inferior da leira e a sua lateral (aproximadamente 20 cm) foram protegidas por uma lona plástica reforçada, utilizada para evitar a contaminação do solo (figura 4b). Decorridos 30 dias de compostagem, sem revolvimento da leira, o material foi misturado ao esterco bovino e colocado em biodigestor para continuação do processo em anaerobiose. Esta segunda etapa (processo anaeróbio) foi denominada “Biodigestor 2”.

Experimento 3 - Processo misto: Foram misturados resíduos vegetais e lodo do tratamento físico-químico (TPA), nas proporções apresentadas na tabela 2, para uma quantidade de 6 m³, sendo montada a leira. Decorridos 30 dias de compostagem aeróbia, este material foi misturado ao lodo da lagoa facultativa (lodo biológico) e colocado no biodigestor para processo anaeróbio. Este foi denominado “Biodigestor 3”. Este teste foi para verificar a viabilidade de se utilizar o lodo biológico para substituir o esterco bovino.

Experimento 4 - Processo misto: Foram misturados resíduos vegetais e lodo do tratamento físico-químico (TPA), nas mesmas proporções já descritas na tabela 2, totalizando 20 m³, que foram montados na forma de uma leira para compostagem aeróbia. Decorridos 30 dias, este material foi misturado ao esterco bovino e ao lodo da lagoa facultativa (lodo biológico) colocado no biodigestor para processo anaeróbio, sendo então denominado de “Biodigestor 4”.

Tabela 2: Composição e proporções dos resíduos utilizados nos experimentos propostos na 2ª etapa do projeto

Experimento	Folhas (kg)	Esterco (kg)	Lodo TPA(L)	Lodo biológico(L)	Agua (L)
01	72	4	40	-	5
02	72	4	40	-	5
03	72	-	40	40	-
04	72	4	40	40	-



Figura 4: (a) Biodigestor, para processo anaeróbio; (b) Preparo de leiras para desinfecção do material em compostagem aeróbia.; (c) Em destaque, vapor liberado devido o aquecimento da leira durante processo de compostagem, (d) Coleta de amostras para análises químicas e microbiológicas

Foram colocados 3 sensores no interior de cada leira para acompanhamento da temperatura e umidade (figura 5).



Figura 5: Imagem de um dos sensores colocado na leira.

Visando maior homogeneidade, todos os resíduos foram misturados através de betoneiras previamente higienizadas, antes de serem colocados nos biodigestores (figura 6a).

Os biodigestores foram pintados de preto para absorver ao máximo a radiação solar e assim manter a temperatura no ambiente interno acima dos 30°C, ideal para a atividade microbiana (figura 6b).



Figura 6: (a) Imagem da homogeneização dos resíduos na betoneira e (b) transferência para os biodigestores.

3.2.1. Análises Químicas

3.2.1.1. Análise de elementos químicos potencialmente tóxicos

Esta análise foi realizada pelo Laboratório de Química Analítica do Instituto de Química da Unesp de Araraquara, visando observar aspectos de uso do lodo para fins agrícolas.

O lodo TPA utilizado para esta metodologia, foi seco em estufa a 60°C no laboratório da Embrapa Instrumentação Agropecuária e depois enviado para o Laboratório de Química Analítica.

Utilizou-se digestão em bloco, adicionando mistura de ácido perclórico e ácido nítrico para digestão da amostra. Foi utilizada a técnica de espectroscopia de emissão atômica por plasma induzido (ICP-AES) para quantificação dos elementos nas amostras.

Foi verificada a presença dos seguintes elementos: arsênio (As); selênio(Se); mercúrio (Hg); chumbo (Pb); cobre (Cu); cádmio (Cd); molibdênio (Mo); zinco (Zn) e níquel (Ni). Segundo as normas da CETESB (1999), estes valores devem ser apresentados em base seca.

3.2.1.2. Composição elementar

Para cada experimento montado foi coletada uma certa quantidade de amostra e colocada em estufa a 60°C para secar por 24 horas. Depois as amostras foram moídas em moinho de facas e separou-se aproximadamente 100 mg do material, que foi enviado ao Laboratório de química analítica da UFSCar para análise elementar utilizando analisador automático da Carlo Erba para determinação de C, H e N.

3.2.1.3. Teor de cinzas

Cadinhos de porcelana foram lavados e colocados na mufla por duas horas a 900°C para eliminar os resíduos. Após a temperatura chegar a 150°C eles foram colocados em dessecador até chegarem a temperatura ambiente. Logo após, pesou-se os cadinhos (Ca), anotando-se as massas. Em seguida, tarou-se a balança com o cadinho e pesou-se aproximadamente 100 mg da amostra. Posteriormente, levou-se os cadinhos com as amostras devidamente pesadas à mufla e foram deixados por duas horas a 600°C.

Após retirar os cadinhos, verificou-se a massa dos mesmos com as cinzas (Ca). A cinza é considerada toda aquela massa da amostra que resultou da incineração na mufla.

Para fazer o cálculo do teor de cinzas, utilizou-se a seguinte equação:

$$\% \text{ de cinzas: } \frac{(C_d - C_a)}{\text{massa da amostra}} \times 100$$

3.2.1.4. pH

Pesou-se 0,5 g da amostra seca, à 60°C, em béquer e em seguida, adicionou-se 5 mL de solução aquosa de CaCl₂ a 0,01 mol L⁻¹. A mistura foi colocada em agitação orbital por 30 minutos e a leitura de pH feita em pHmetro com eletrodo combinado de vidro (RAIJ et al. 2001).

3.2.2. Análise Espectroscópica

3.2.2.1. Quantificação de spins eletrônicos em radicais livres orgânicos por Espectroscopia de Ressonância Paramagnética Eletrônica (EPR)

Os sinais de EPR foram adquiridos no espectrômetro Bruker EMX, pertencente à Embrapa Instrumentação Agropecuária, operando em banda X (9 GHz), à temperatura ambiente. Para análise quantitativa, tubos de quartzo (2,5 mm interno) foram preenchidos com amostras secas e trituradas ou com as substâncias húmicas, anotando-se as respectivas massas para posterior normalização dos dados. As áreas dos sinais foram obtidas utilizando a

aproximação $I_x / (H_{PP})^2$ (Martin-Neto et al., 1998; Poole e Farach, 1972), onde I é a intensidade do sinal e H_{PP} é a largura do sinal tomada pico a pico. Para determinação da concentração relativa dos radicais livres orgânicos (RLO) utilizou-se o método do padrão secundário com um cristal de rubi (Singer, 1959) e o padrão "strong pitch" com conhecida concentração de spins. Os parâmetros experimentais foram: potência de microondas: 0,2 mW (material *in natura*) e 0,08 mW (material purificado), determinada através de experimento de saturação de potência; frequência de modulação: 100 kHz; amplitude de modulação: 0,1 mT; constante de tempo: 2,56 ms e tempo de conversão: 10,24 ms. Foram realizadas, no mínimo, quatro varreduras por determinação.

3.2.3. Análise Microbiológica

3.2.3.1. Qualitativa

As análises qualitativas foram feitas no Laboratório da Embrapa Instrumentação Agropecuária, em São Carlos. Para esterilização, as placas de petri foram colocadas em autoclave por 30 minutos ($T = 121^\circ\text{C}$).

Foram realizados ensaios em dois meios de cultura específicos: (a) Mac Conkey Agar (Fabricante: Cefar Diagnóstica Ltda), específico para crescimento de bactérias gram-negativas e (b) Salmonella Shigella Agar (SS Agar), específico para Salmonella sp e Shigella sp.

Em cada placa de Petri foram colocados, aproximadamente, 5 mL do meio de cultura.

Cada amostra (aproximadamente 5 g) foi colocada em placa de Petri esterilizada e deixada em contato com soro fisiológico (aproximadamente 3 mL). A mistura (soro + amostra) foi então transferida para outra placa com o meio de cultura, o excesso foi descartado e a placa foi fechada e deixada em estufa a 37°C por pelo menos 24 horas para que ocorresse o crescimento das colônias bacterianas.

Para cada tipo de colônia detectada (nas placas de petri) foi feita uma inoculação (com o auxílio de uma pinça esterilizada em bico de Bunsen) em outro meio chamado "Rugai e Araújo modificado por Pessoa & Silva" (Fabricante: CECON - Centro de Controle e Produtos para Diagnósticos Ltda). Ele contém vários compostos dispostos em camadas, dentro de um tubo de ensaio:

- # Parte inferior: lisina
- # Interfase: Vascar
- # Parte Superior: Base de Rugai, Solução indicadora e,
- # Na boca do tubo de ensaio existe um "tampão" de algodão hidrófilo em cuja parte inferior gotejou-se solução de indol.

Após a inoculação, os tubos de ensaio foram fechados com o “tampão” de algodão e colocados na estufa, a 37°C durante 24 horas. Para cada espécie bacteriana, os compostos reagem de maneira diferente e a medida que a colônia de bactéria cresce, há mudança da coloração do meio de forma diferenciada e a geração ou não de gases. Ao final, a composição de cores observada e a formação de bolhas nos tubos, possibilita a identificação da bactéria segundo uma tabela, apresentada na figura 7 (BIER, 1976; PESSOA e SILVA, 1972; RUGAI e ARAUJO, 1968).



coletadas de forma distribuída por toda a leira, tomando-se todo o cuidado para que não fossem contaminadas durante a coleta e o armazenamento. Para tal, Dr. Antônio Pereira de Novaes (Embrapa Instrumentação Agropecuária), treinou três funcionários da Sobloco, na Riviera de São Lourenço, que armazenavam as amostras em frascos estéreis (figura 8). Após coletadas, estas amostras foram refrigeradas e imediatamente enviadas para análise no Laboratório de Saneamento do Departamento de Hidráulica da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP), na cidade de São Carlos. Nas leiras, também foram colocados sensores para acompanhamento da temperatura e umidade durante o processo de compostagem.



Figura 8: (a) Imagem do treinamento realizado pelo Dr. Novaes aos funcionários da Sobloco Riviera de São Lourenço e (b) coleta feita pelos funcionários sob inspeção do Dr. Novaes.

Após 30 dias de compostagem no processo aeróbio, foi adicionado lodo biológico (na proporção de 40 L para 72 kg do resíduo) e as leiras foram cobertas com lonas plásticas, passando assim para processo anaeróbio.

3.3.1. Análises Microbiológicas

3.3.1.1. Qualitativa

Foi feita como descrito no item 3.2.3.1.

3.3.1.2. Quantitativa

As análises quantitativas foram realizadas no Laboratório de Saneamento da EESC-USP, em São Carlos.

Foram pesados 5,0 g da amostra e adicionados 100 mL de água Mili-Q em um béquer (solução estoque). Fez-se diluições de 10^3 a 10^8 em balões volumétricos de 100 mL. Em seguida foram feitas filtrações das diluições em membrana (GN 6 METRICAL® GRID 47 mm Life Sciences PALL).

Para fazer a contagem do número de colônias de coliformes fecais e totais na membrana, observou-se as colorações das mesmas de acordo com a tabela 3. A leitura dessas membranas foi feita após 24 horas de incubação em estufa à 35°C (20ª Edição do Standard Methods).

Tabela 3: Colorações das colônias de bactérias

Coloracao	Tipo de colonia
Azul escura	<i>Escherichia coli</i>
Azul turquesa	<i>Salmonella sp</i>
Vermelha	Coliformes totais
Amarela	Bacteria heterotrofica

3.3.1.3. Estudo de viabilidade de ovos de helmintos

Pesquisa e estudo de viabilidade de ovos de helmintos foi feita pela Universidade Federal do Paraná, no setor de Ciências Biológicas Departamento de Patologia Básica- Laboratório de Parasitologia Molecular, na qual seguiu-se: os parâmetros de Soccol et al.(1998). Foram feitas análises no início e no final do processo de compostagem.

O cuidado com os ovos de helmintos refere-se ao fato da possibilidade de transmissão de verminoses pelo composto, quando do seu uso na agricultura. Estes ovos podem permanecer viáveis durante anos no solo. O cuidado com a desinfecção do material neste sentido torna-se também importante.

3.3.2. Análises físicas e químicas

3.3.2.1. Composição Elementar

Foi feita como descrito no item 3.2.1.2.

3.3.2.2. Teor de cinzas e pH

Foram feitas como descrito nos itens 3.2.1.3 e 3.2.1.4.

3.3.2.3. Teor de umidade

Foram pesados, aproximadamente, 250 g de amostras das leiras (coletadas em 23/06/04) e colocadas em estufa à 60°C até massa constante. Análise feita em duplicata.

3.3.2.4. Fertilidade

Esta análise foi feita no laboratório de Solos da Embrapa Pecuária Sudeste em São Carlos.

4. RESULTADOS

4.1. Caracterização do lodo

O lodo foi caracterizado nos aspectos químico e microbiológico.

4.1.1. Elementos químicos potencialmente tóxicos

Para critérios ambientais, é necessária determinação de elementos químicos potencialmente tóxicos, visando a compatibilização com a norma da CETESB para uso de lodo de esgoto para fins agrícolas (CETESB, 1999).

Os resultados obtidos na análise dos elementos potencialmente tóxicos, apresentados na tabela 4, demonstram que não há problemas do uso deste lodo para fins agrícolas, pois os valores obtidos, foram muito abaixo dos descritos pela CETESB.

Tabela 4: Valores dos elementos químicos potencialmente tóxicos, obtidos para o lodo TPA, coletado em 26/06/03, bem como os valores máximos permitidos, em base seca.

Elementos potencialmente tóxicos	Concentração determinada* (g g⁻¹)	Concentração máxima (g g⁻¹) CETESB
Arsênio (As)	< 0,05	75
Selenio (Se)	< 0,05	100
Mercurio (Hg)	< 0,01	57
Chumbo (Pb)	53,00	840
Cobre (Cu)	201,00	4300
Cadmio (Cd)	< 0,05	85
Molibdenio (Mo)	17,78	75
Zinco (Zn)	832,20	7500
Níquel (Ni)	31,00	420

Realizado pelo Laboratório de Química Analítica do Instituto de Química da Unesp de Araraquara.

4.1.2. Composição elementar

Pode-se dizer que a análise de composição elementar é uma das análises mais importantes do ponto de vista de fertilidade. O lodo da estação físico-química

(TPA) apresentou uma constituição elementar, em base seca (porcentagem em massa) de:

- Nitrogênio: 3,97 %
- Carbono: 42,73 %
- Hidrogênio: 7,51 %
- Relação C/N: 12,56

Estes resultados demonstram uma matéria orgânica com boa constituição elementar, característico de material de origem recente e relação C/N (razão elementar do carbono e do nitrogênio), indicando boa proporção de nitrogênio.

4.1.3. Análise Microbiológica

Foram feitas análises de identificação das principais bactérias da classe das gram-negativas, bem como víbrio, no lodo bruto. Foi observado a presença de:

- *Escherichia coli*
- *Klebsiella (sacarose +) **
- *Proteus mirabilis **
- *Proteus (H₂S-) **
- *Vibrio parahaemolyticus ou Alkalescens sp (indol +) **
- *Edwardsiella sp (indol +) **
- *Salmonella sp **

(* patógenos)

Os resultados apresentaram alguns tipos de bacterias que podem causar algum mal ao Homem. Não foi feita contagem de bactérias no lodo, entretanto para as amostras de compostagem (misturas dos diversos componentes), os valores de coliformes fecais sempre apresentaram-se muito altos (acima de 10⁶ nmp/g).

Para aplicação direta, este material deve ser tratado previamente para redução de patógenos, para que o material se insira nos critérios da classe A ou B descritos pela CETESB (1999).

4.2. Acompanhamento do processo anaeróbio

4.2.1. Temperatura

A temperatura dos experimentos montados na Riviera de São Lourenço acompanhou a temperatura ambiente, que na média ficou em torno dos 20 °C. Não foi observado nenhum aumento significativo da temperatura, em função da compostagem. Nos dias mais frios, a temperatura das amostras chegou a 13°C, bastante desfavorável para o crescimento bacteriano. Provavelmente, como o solo é bastante arenoso, este não foi capaz de isolar termicamente os experimentos. Observou-se que seria necessário um aumento do volume para melhores efeitos. Os experimentos colocados na estufa, trabalharam em regime de temperatura constante a 36°C.

4.2.2. pH

Os valores de pH observados, tanto para os experimentos conduzidos na Riviera quanto em estufa, são apresentados na figura 9.

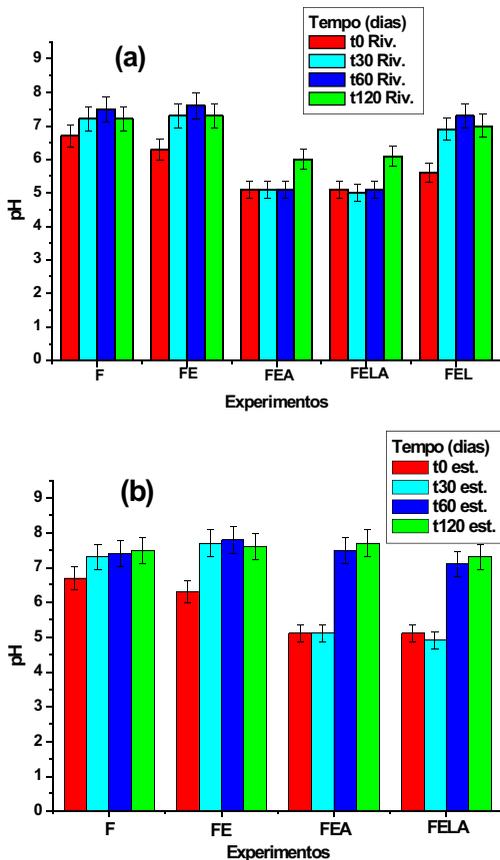


Figura 9: Evolução do pH em função do tempo de compostagem das amostras. (a) Compostagem na Riviera de São Lourenço e (b) Compostagem em estufa.

Com o passar do tempo, o trabalho dos microorganismos tende a elevar o pH das amostras para valores próximos a 7, o que é o esperado para biodigestão anaeróbica. Valores muito inferiores interferem no crescimento das bactérias, principalmente daquelas do tipo metanogênicas, que trabalham bem em meio próximo do neutro.

Pelos gráficos da figura 9 pode-se observar que a adição de açúcar fez cair o valor do pH das amostras para 5. Quando da retirada de alíquotas para análise,

nestas amostras foram sentidos fortes odores de ácido acético (vinagre), proveniente da fermentação do açúcar adicionado.

Fato a ser realçado, é de que o pH das amostras com açúcar somente começou a ser alterado após 60 dias de compostagem, em condição de temperatura controlada, indicando que a partir deste ponto ocorreu uma real atividade microbiana sobre o material, ao contrário do que ocorreu nos experimentos da Riviera.

4.2.3. Relação C/N

Foram realizadas as análises elementares (composição dos elementos carbono, nitrogênio e hidrogênio), tanto para as amostras processadas na Riviera de São Lourenço quanto para aquelas em estufa. Todas as amostras apresentaram alta quantidade de carbono (acima de 40% em massa) e baixa quantidade de nitrogênio (inicialmente em torno de 1%), sendo que estes valores tenderam a aumentar discretamente em função do tempo. Destas determinações, foram retiradas a chamada relação C/N, que é a razão entre o número de átomos de carbono, dividido pelo número de átomos de nitrogênio existente nas amostras. Os valores obtidos nas relações C/N são apresentados nas figura 10.

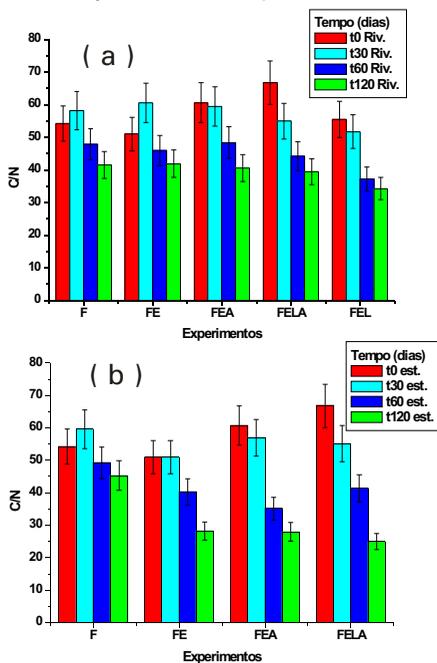


Figura 10: Relações C/N, obtidas nos diversos experimentos, em função do tempo de compostagem. (a) Compostagem na Riviera de São Lourenço e (b) Compostagem em Estufa

A relação C/N indica o grau de estabilização da matéria orgânica, do ponto de vista ao ataque microbiano, bem como a estabilidade deste material quando colocado no solo. Valores próximos de 15 representam um material estabilizado e baixa atividade microbiana. As amostras compostadas apresentaram uma diminuição do valor da relação C/N com o passar do tempo, para valores que tendem para aquele de um material estabilizado. Este efeito foi realçado nas amostras compostadas sob temperatura controlada, indicando melhor evolução do processo.

4.2.4. Quantificação dos radicais livres orgânicos por EPR

A quantificação de radicais livres orgânicos (RLO) do tipo semiquinona é importante para acompanhar o grau de humificação do material que está sendo compostado. Uma maior quantidade destes radicais (representados por spins eletrônicos), indica um maior grau de humificação e uma maior estabilidade química da mistura. Isto leva a uma melhor incorporação da matéria orgânica pelo solo, com menores perdas de carbono para a atmosfera na forma de gás carbônico, efeito conhecido como seqüestro de carbono (EMBRAPA..., 2001a). Os valores obtidos através da técnica de ressonância paramagnética eletrônica (EPR), são apresentados na figura 11.

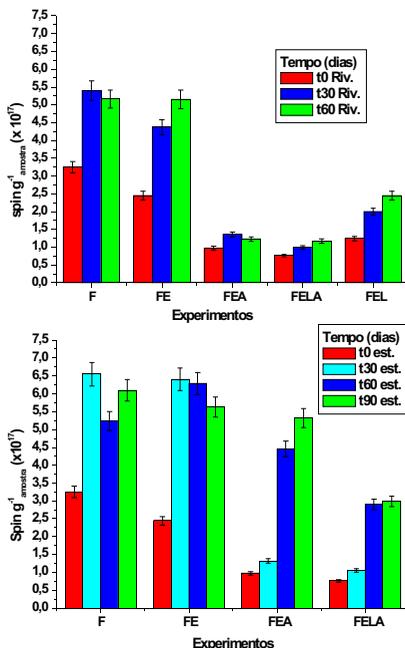


Figura 11: Quantificação de radicais livres orgânicos por EPR. (a) Amostra compostadas na Riviera de São Lourenço e (b) Amostras compostadas sob temperatura controlada (Estufa a 36 °C)

Na figura 11 observa-se que a quantidade de RLO aumenta com o tempo de biodigestão, e este aumento é mais significativo nos experimentos sob temperatura controlada, principalmente nas amostras “F” e “FE”. A presença de açúcar, ao invés de acelerar, diminuiu a velocidade de compostagem, fato este que está condizente com o efeito observado nas medidas de pH.

4.2.5. Macro e micronutrientes

Foram feitas análises de macro e micronutrientes das misturas utilizadas nos experimentos, como uma caracterização dos materiais e o efeito dos componentes utilizados na mistura. A tabela 5 apresenta os resultados obtidos. Os resultados demonstram que a adição, tanto de esterco bovino quanto de lodo aumentam a quantidade de macro e micronutrientes no geral, mas principalmente os elementos nitrogênio, fósforo e ferro. Os dois primeiros são muito importantes do ponto de vista da aplicabilidade deste composto para fins diversos. A aplicação deste material no seu estado natural ou misturado com outros fertilizantes dependerá do tipo de planta a ser cultivada.

Tabela 5: Quantificação de macro e micronutrientes das amostras retiradas dos experimentos, antes da biodigestão (t0) e depois de 90 dias (t90) em estufa.

Identificacao	RESULTADOS EXPRESSOS EM 100% DE MAT ERIA SECA*									
	N g/kg	Ca g/kg	Mg g/kg	P g/kg	K g/kg	S g/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Zn mg/kg
F	5,93	2,46	1,44	0,62	4,89	0,96	3,42	237,58	31,59	13,74
FE	8,83	3,67	1,70	0,89	4,27	1,14	5,53	391,47	59,23	19,64
FEA	7,52	3,59	1,61	0,88	5,95	1,13	4,94	374,24	53,11	19,19
FEL	8,00	4,13	1,88	1,32	6,13	1,48	8,09	1346,22	63,57	32,37
FELA	7,49	3,67	1,91	1,16	5,27	1,37	6,21	1244,49	64,43	29,96
F (t90)	12,31	10,77	2,66	1,15	11,63	3,83	6,82	471,97	57,32	16,91
FE (t90)	12,76	10,16	2,22	1,13	7,91	3,14	7,76	518,77	82,56	20,27
FEA (t90)	11,37	6,45	1,24	0,93	5,53	2,81	6,04	490,45	68,74	21,47
FELA (t90)	11,07	8,50	1,95	1,10	7,28	4,10	8,88	1599,41	74,85	33,49

* Determinações feitas no laboratório de solos da Embrapa Pecuária Sudeste São Carlos

4.2.6. Análise microbiológica

Fez-se a quantificação de bactérias do tipo coliforme total e fecal. Os resultados obtidos para as amostras compostadas na Riviera são apresentados na tabela 6.

Tabela 6: Contagem de coliformes totais e fecais iniciais e após 60 dias de compostagem em sistema anaeróbio

Amostra	t 0		t 60	
	Coliformes totais ^{a,b} (UFC/g)	Coliformes fecais ^{a,b} (UFC/g)	Coliformes totais ^c (NMP/g)	Coliformes fecais ^c (NMP/g)
F	37,7 10 ⁷	22,5 10 ⁶	4,8 10 ⁶	4,8 10 ⁶
FE	45,5 10 ⁸	7,7 10 ⁶	2,6 10 ⁶	2,6 10 ⁶
FEL	30,5 10 ⁷	15,5 10 ⁶	4,4 10 ⁶	1,6 10 ⁶
FEA	26,4 10 ⁶	1,5 10 ⁶	160	160
FELA	87,6 10 ⁶	5,5 10 ⁶	< 2	< 2

a- Determinados no laboratório L.A. Falcão Bauer São Paulo/SP

b- Método: Contagem de coliformes totais e coliformes fecais baseado na 20ª Edição Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater

c- Determinados no Laboratório de Controle Ambiental da Sociedade dos Amigos da Riviera de São Lourenço Determinação por técnica de tubos múltiplos

A quantidade de coliformes totais e fecais é bastante elevada nos primeiros momentos. Nas amostras F, FE e FEL, a quantidade de coliformes totais e fecais diminuiu, mas não o suficiente para reduzir para parâmetros aceitáveis (a CETESB aceita valores abaixo de 10³ para coliformes fecais, em resíduos “classe A” e 2 x 10⁶ para resíduos “classe B”).

Diminuição significativa ocorreu nas amostras nas quais foram adicionadas açúcar. A baixa atividade microbiana refletiu-se também na quantidade de coliformes.

Com relação à identificação das bactérias, utilizou-se inicialmente a técnica de crescimento em meio de cultura Mac Conkey (específica para gram negativas) e meio de cultura SS (específico para Shiguela e Salmonella). Para a identificação, utilizou-se o meio Rugai e Araújo, modificado por Pessoa e Silva. As principais bactérias isoladas são descritas na tabela 7.

Várias bactérias são resistentes ao processo de anaerobiose, para as condições utilizadas. Problema sanitário maior está nas seguintes famílias: *Vibrio parahaemolyticus* ou *Alkalescens sp* (indol +), *Edwardsiella sp* (indol +), *Klebsiella sacarose* - e *Salmonella sp*.

A *Salmonella* foi identificada somente em um experimento ainda não compostado (FELA t0). Após o processo de compostagem, esta não foi mais identificada, mesmo utilizando um meio específico (SS), fato este que atesta que dificilmente esta bactéria encontra-se nestas amostras.

Aparentemente o *Vibrio* encontrado é bastante resistente ao tratamento, aparecendo nos experimentos que contém lodo sem açúcar. As amostras que contém açúcar não apresentaram mais microorganismos patogênicos após 30 dias de compostagem.

Tabela 7: Identificação das bactérias encontradas nas diversas amostras. “Es”: estufa e “Riv”: Riviera

Amostra	Identificacao de Bacterias Gram (Laboratorio CNPDIA Meio Mac Conkey) ^c	Identificacao de Bacterias Gram (Laboratorio CNPDIA Meio SS) ^c
F t0	<i>coli</i> (sacarose +, indol +)	nd
F t30 (Riv)	<i>Vibrio parahaemolyticus</i> ou <i>Alkalescens sp</i> (indol +)	nd
F t30 (es)	<i>Enterobacter</i> sacarose -	<i>Enterobacter</i> sacarose -
F t60 (Riv)	nd	<i>Escherichia coli</i>
F t60 (es)	<i>Enterobacter</i> sacarose -	<i>Enterobacter</i> sacarose -
FE t0	<i>coli</i> (sacarose +, indol +)	nd
FE t30 (Riv)	<i>Edwardsiella sp</i> (indol +)	nd
FE t30 (es)	nd	<i>Klebsiela</i> sacarose -
FE t60 (Riv)	<i>Enterobacter</i> sacarose -	<i>Providencia</i> sacarose +
FE t60 (es)	<i>Klebsiella</i> sacarose -	<i>Klebsiela</i> sacarose -
FEA t0	<i>Edwardsiella sp</i> (indol +)	nd
FEA t30 (Riv)	<i>coli</i> (sacarose +, indol +)	nd
FEA t30 (es)	nd	<i>Enterobacter</i> sacarose -
FEA t60 (Riv)	<i>Enterobacter</i> sacarose +	<i>Enterobacter</i> sacarose +
FEA t60 (es)	<i>coli</i> sacarose +	<i>Enterobacter</i> sacarose -
FELA t0	<i>coli</i> (sacarose +, indol +) / <i>Salmonella sp</i>	nd
FELA t30 (Riv)	<i>Escherichia coli</i> (indol +)	nd
FELA t30 (es)	<i>Enterobacter</i> sacarose +	<i>Enterobacter</i> sacarose -
FELA t60 (Riv)	<i>Enterobacter</i> sacarose -	<i>Enterobacter</i> sacarose -
FELA t60 (es)	<i>Enterobacter</i> sacarose +	<i>coli</i> sacarose +
FEL (t0)	<i>Vibrio parahaemolyticus</i> ou <i>Alkalescens sp</i> (indol +)	nd
FEL t30 (Riv)	<i>Enterobacter</i> (sacarose +)	nd
FEL t60 (Riv)	<i>Vibrio parahaemolyticus</i> ou <i>Alkalescens sp</i> (indol +)	<i>Enterobacter</i> sacarose -
Lodo	<i>Vibrio parahaemolyticus</i> ou <i>Alkalescens sp</i> (indol +)	nd
Lodo calado	nd	nd

nd: não determinado

4.3. Acompanhamento dos processos aeróbio e anaeróbio

4.3.1. Temperatura

A compostagem aeróbia pode ocorrer tanto em regiões de temperatura termofílica (45 a 85°C), como mesofílica (25 a 43°C). Embora a elevação da temperatura seja necessária e interessante para eliminação de microorganismos patogênicos, alguns pesquisadores observaram que a ação dos microorganismos sobre a matéria orgânica aumenta com a elevação da temperatura até 65°C e que acima deste valor o calor limita as populações aptas, havendo um decréscimo da atividade biológica (BETTIOL e CAMARGO, 2000).

Pode-se observar na figura 12 que a atividade microbiana elevou a temperatura do interior das leiras para valores acima de 60°C. Os valores da temperatura foram influenciados pelo volume da leira e foram bastante inferiores em sistema anaeróbio (Biodigestor 1). Segundo a CETESB, digestões aeróbias por um período mínimo de 10 dias, a temperatura de 55 a 60°C, são suficientes para redução adicional de organismos patogênicos (CETESB, 1999).

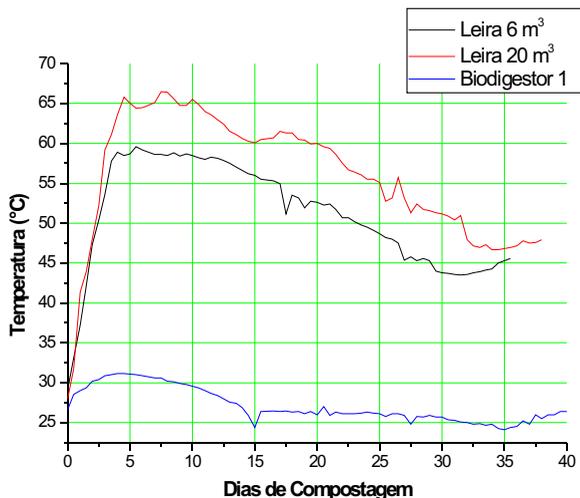


Figura 12: Variação da temperatura nas leiras de 6 e 20 m³ (processo aeróbio) e do biodigestor 1 (processo anaeróbio) em função do tempo.

4.3.2. Composição elementar

Os microorganismos necessitam de carbono, como fonte de energia e de nitrogênio para síntese de proteínas. É por esta razão que a relação C/N é considerada como fator que melhor caracteriza o equilíbrio dos substratos. Teoricamente, a relação C/N inicial ótima do substrato deve situar-se em torno de 30.

Segundo KIEHL (1998), a interpretação que se pode dar para a matéria-prima a ser compostada, quanto à relação C/N e ao tempo de maturação é a seguinte:

- Relação C/N acima de 50/1: indica deficiência de nitrogênio, sendo o tempo de maturação mais prolongado;
- Relação C/N entre 30/1 e 50/1: permite uma decomposição um pouco mais rápida que a anterior;
- Relação C/N muito abaixo de 10/1: pode haver perda de nitrogênio por volatilização na forma de amônia, se o resíduo não receber materiais ricos em carbono para ajustar a relação até a considerada ótima e reduzir o tempo de maturação;
- Relação C/N entre 25/1 e 35/1: é considerada ótima.

Foi feita análise elementar (composição de C, N e H) das amostras e dos resultados foi retirada relação C/N. Os valores obtidos de C/N em função do tempo de compostagem são apresentados na figura 13.

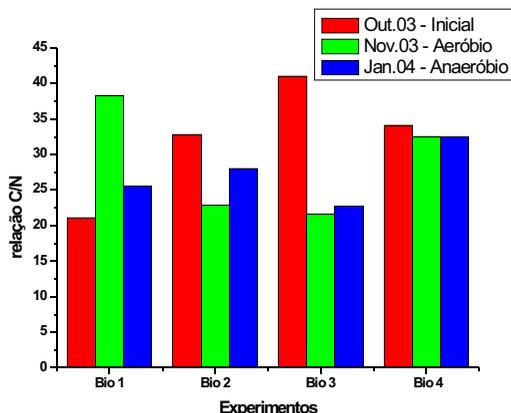


Figura 13: Variação da relação C/N dos experimentos de compostagem em função do tempo. * Exceção do Bio 1 que foi totalmente anaeróbio.

Pode-se observar que a relação C/N inicial, com exceção do experimento 3 (que foi acima de 40/1), estavam na faixa considerada ótima. Com o passar do tempo, houve uma significativa variação entre os comportamentos dos vários experimentos, isto pode ser justificado pela variação do tipo de processo de decomposição (aeróbio ou anaeróbio) e dos resíduos utilizados em cada experimento. Pode-se observar que o biodigestor 1 (único em processo totalmente anaeróbio) apresentou as maiores oscilações e o biodigestor 4 que foi montado com a mistura de todos os resíduos (poda + lodo TPA + lodo biológico + esterco) foi o que apresentou menor variação com o passar do tempo, indicando baixa velocidade de humificação.

4.3.3. pH

A reação da matéria orgânica quer vegetal ou animal, é geralmente ácida. O suco celular dos vegetais, o sangue, as fezes e urina dos animais, são de natureza ácida. Assim sendo, uma leira de matéria orgânica posta para ser decomposta tem inicialmente reação ácida. Iniciando-se a decomposição ocorre a formação de ácidos orgânicos que tornam o meio mais ácido do que o da própria matéria-prima original. Entretanto, esses ácidos orgânicos e os traços de ácidos minerais que se formam, reagem com bases liberadas da matéria orgânica, gerando compostos de reação alcalina. Com a compostagem há formação de ácidos húmicos que também reagem com os elementos químicos básicos, formando humatos alcalinos. Como conseqüência, o pH do composto se eleva à medida que o processo se desenvolve, passando pelo neutro e alcançando o básico, quando se tem o composto humificado (KIEHL, 1998).

Pode-se observar (figura 14) que houve um incremento nos valores de pH em todos os experimentos em função do tempo, indicando assim a humificação dos resíduos. O menor valor de pH final foi observado no composto proveniente do Biodigestor 4. Melhores valores foram observados nos Biodigestores 2 e 3.

Como os solos brasileiros geralmente são ácidos, a adição deste material tenderá a corrigir o pH melhorando a produtividade.

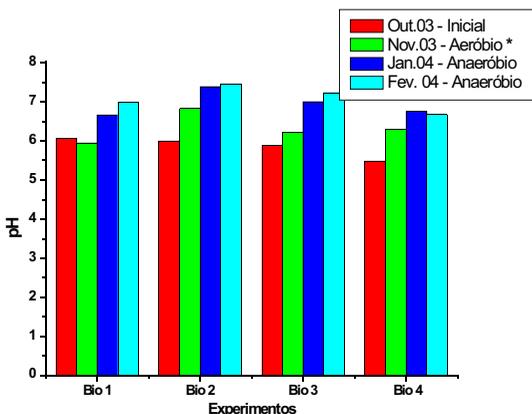


Figura 14: Variação do pH dos experimentos de compostagem em função do tempo. * Exceção do Bio 1 que foi totalmente anaeróbio.

4.3.4. Análise de quantificação de radicais livres orgânicos por EPR

O grau de humificação do material que foi compostado é um fato muito importante e pode ser acompanhado através da quantificação de radicais livres orgânicos (RLO) do tipo semiquinona.

Foi feita a análise do material in natura e os resultados são apresentados na figura 15. Para melhor compreensão, os experimentos na fase aeróbia (leira) são chamados “Comp”, quando o material passou para a fase anaeróbia (biodigestores), este passou a chamar-se “Anae”.

Pode-se observar (figura 15) que, de uma maneira geral, a quantidade de RLO aumenta com o tempo de compostagem no sistema aeróbio dos experimentos 3 e 4 e subsequente biodigestão anaeróbia por um período de 30 dias (biodigestores 2 e 3). Já o biodigestor 4 (que foi a mistura de todos os resíduos) e o biodigestor 1 (processo totalmente anaeróbio), não apresentaram este comportamento, sendo os resultados de difícil interpretação e necessidade de estudos futuros.

De maneira geral, pôde-se observar que o grau de humificação do material no decorrer do processo de compostagem aumentou.

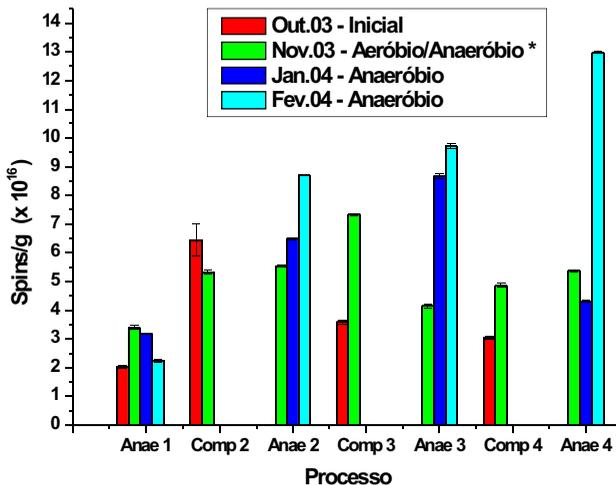


Figura 15: Quantificação de radicais livres orgânicos por EPR das amostras (a) *in natura* e (b) dos ácidos húmicos, dos experimentos em função do tempo. “Comp” correspondem aos processos de compostagem, visando desinfecção do material, passando em seguida para os “Anae” que correspondem aos processos anaeróbios, visando humificação. Obs.: O processo 1 passou somente por anaerobiose.

4.3.5. Análise Microbiológica qualitativa

Na segunda etapa, as análises microbiológicas indicaram que várias espécies patogênicas estiveram presentes, seja em processo aeróbio, como em processo anaeróbio, independentemente do tempo de compostagem.

De outubro até novembro, onde o material permaneceu em processo aeróbio, isolou-se várias bactérias patogênicas, dentre elas, podemos citar: *Proteus vulgaris*, *Vibrio parahemolyticus* ou *Alkalescens sp* indol+.

E de novembro até fevereiro, onde a digestão passou a ser anaeróbia, também pôde-se observar a presença de várias outras espécies patogênicas, como por exemplo, *Edwardsiella sp*, *Proteus mirabilis*, *Salmonella sp*, *Vibrio parahemolyticus* ou *Alkalescens sp* indol+ e *Shigella indol-*.

Provavelmente, o processo de contaminação do material dos biodigestores, ocorreu devido ao fato de não ter sido retirada a parte superficial das leiras (casca), pois neste local a temperatura máxima atingida não chegou àquela necessária para a desinfecção. E portanto, o Dr. Antônio Pereira de Novaes (Embrapa Instrumentação Agropecuária) julgou necessária a montagem de duas leiras (processo aeróbio) para acompanhamento microbiológico semanal desses experimentos.

Para isso, o Dr. Novaes treinou alguns funcionários da Sobloco para realizarem as coletas de forma adequada (com materiais esterilizados) para evitar quaisquer tipo de contaminações. A discussão dos resultados encontrados será feita na quarta parte desse relatório.

4.4. Acompanhamento do processo de desinfecção das leiras

4.4.1. Temperatura

O monitoramento da temperatura das leiras foi feito com três sensores, colocados em diferentes posições, como mostra a figura 16. O sensor 1 apresentou as temperaturas mais baixas, seguido dos sensores 2 e 3, respectivamente (figuras 17 e 18). Este fato pode ser justificado pelas posições dos sensores no interior das leiras. Os sensores 1 e 3 ficaram nas laterais da leira, a 20 e 50 cm de profundidade, respectivamente, de forma que o sensor mais superficial registra a menor temperatura. O sensor 2 ficou no centro da leira e à mesma profundidade do sensor 3 (50 cm), entretanto, registrou uma menor temperatura em relação a este último devido à maior compactação e menor aeração do local. Assim, para se alcançar temperaturas mais elevadas (melhorando o processo) deve-se usar tubos de aeração por convecção natural. Vale lembrar que na leira 1 foram utilizados 40 L de lodo TPA / 72 kg de poda e na leira 2 foram 80 L.

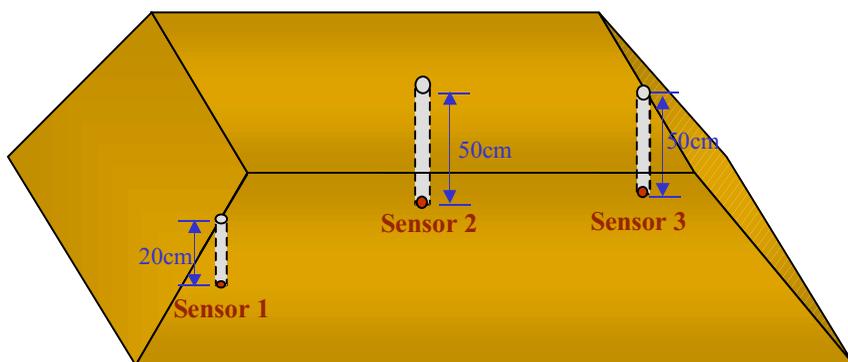


Figura 16: Representação esquemática do posicionamento dos sensores de temperatura no interior da leira.

Nas figuras 17 e 18 pode-se observar a variação de temperatura nas leiras 1 e 2, respectivamente, em função do tempo, nos processos aeróbio e anaeróbio. Pode-se observar que houve uma variação da temperatura nos três sensores e que o comportamento nas 2 leiras foram muito similares, tanto na fase aeróbia quanto na anaeróbia.

Como pode-se observar a temperatura na superfície (sensor 1) foi a mais baixa, não sendo suficiente para eliminar as bactérias patogênicas (fato constatado nas análises microbiológicas). Diante deste fato, faz-se necessária a retirada da parte superficial das leiras para introduzi-la em uma nova leira.

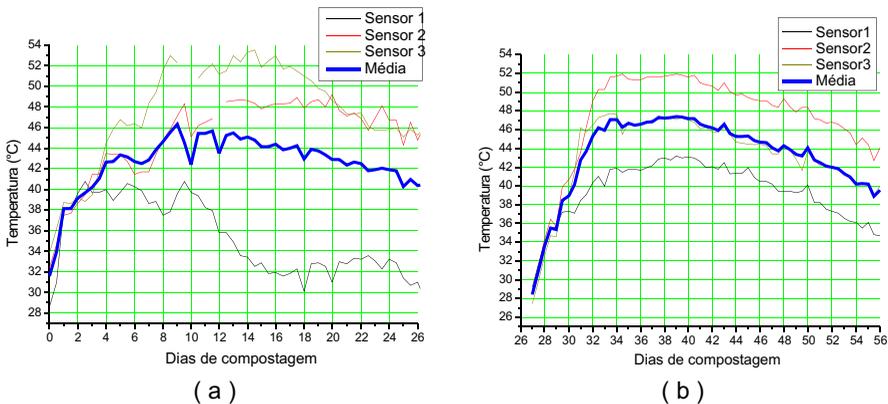


Figura 17: Variação da temperatura na leira 1 durante os processos: (a) aeróbio e (b) anaeróbio em função do tempo.

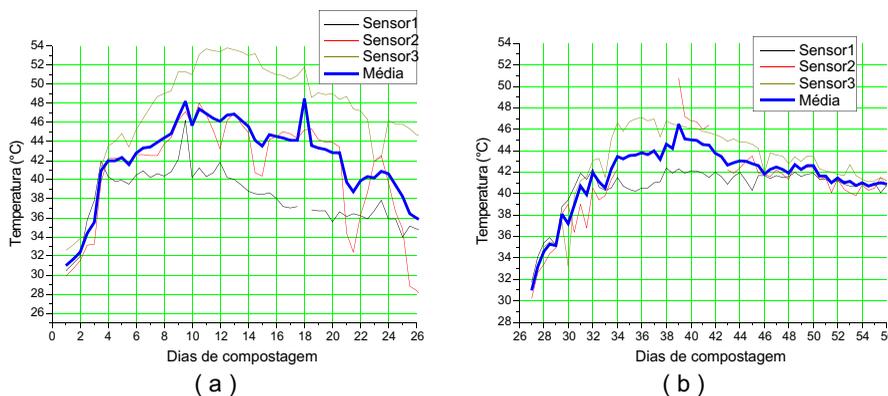


Figura 18: Variação da temperatura na leira 2 durante os processos: (a) aeróbio e (b) anaeróbio em função do tempo.

4.4.2. Estudo de viabilidade de ovos de helmintos

Os resultados da viabilidade de ovos de helmintos no início e no fim do processo estar completo são apresentados nas tabelas 8 e 9. Estes resultados representam a média das análises feitas em triplicatas.

Tabela 8: Pesquisa e estudo de viabilidade de ovos de helmintos (indivíduos / g): para amostra coletada da leira 1 em 16/04/2004 (anterior à compostagem) e em 04/06/2004 (após a compostagem).

Data da Coleta HELMINTO	16/04/2004			04/06/2004		
	Media		Total	Media		Total
	viáveis	inviáveis		viáveis	inviáveis	
<i>Ascaris sp.</i>	0	0,23		0	0,56	
<i>Toxocara sp.</i>	0	0		0	0	
<i>Trichuris trichiura</i>	0	0		0	0	
<i>Trichuris vulpis</i>	0	0		0	0	
Trichuroidea	0	0		0	0	
<i>Hymenolepis diminuta</i>	0	0		0	0	
<i>Taenia sp.</i>	0	0		0	0	
TOTAL GERAL	0	0,23	0,23	0	0,56	0,56
Protozoários	0,47			0		

Como mostra a tabela 8, o número total de ovos de helmintos é igual a 0,23 ovos por grama de matéria seca, e sendo zero o número de ovos viáveis por grama de matéria seca. Portanto, o percentual de Viabilidade foi de 0%. Nesta mesma tabela, observa-se que após a compostagem, o número total de ovos de helmintos é igual a 0,56 ovo por grama de matéria seca, entretanto é zero o número de ovos viáveis por grama de matéria seca. Segundo a CETESB (CETESB, 1999), o número máximo aceitável é de 1 ovo viável por grama de material. Cabe realçar que os protozoários foram também totalmente eliminados.

Tabela 9: Pesquisa e estudo de viabilidade de ovos de helmintos (indivíduos / g) para amostra coletada da leira 2 em 14/04/04 (anterior à compostagem) e em 04/06/2004 (posterior à compostagem).

HELMINTO	16/04/2004			04/06/2004		
	Media		Total	Media		Total
	viáveis	inviáveis		viáveis	inviáveis	
<i>Ascaris sp.</i>	0,72	0		0	0,35	
<i>Toxocara sp.</i>	0	0		0	0	
<i>Trichuris trichiura</i>	0	0,08		0	0,08	
<i>Trichuris vulpis</i>	0	0		0	0	
Trichuroidea	0	0		0	0	
<i>Hymenolepis diminuta</i>	0	0		0	0	
<i>Taenia sp.</i>	0	0		0	0	
TOTAL GERAL	0,72	0,08	0,80	0	0,35	0,35
Protozoários	0,50			0		

Como mostra a tabela 9, o número total de ovos de helmintos é igual a 0,80 ovos por grama de matéria seca, e sendo 0,72 o número de ovos viáveis por grama de matéria seca. Neste caso, o percentual de Viabilidade foi de 90%. Semelhantemente ao ocorrido na leira 1, o número total de ovos de helmintos viáveis despencou para 0, bem como o de protozoários.

Desta forma pode-se concluir que após 49 dias de processo houve uma total desinfecção do material, em relação aos ovos de helmintos e protozoários.

4.4.3. Análise Microbiológica quantitativa

O processo aeróbio mais uma vez mostrou-se efetivo na desinfecção das leiras. Segundo resultados obtidos, em poucos dias foi observada a desinfecção de ambas as leiras com relação a coliformes fecais, mesmo sabendo que a temperatura no interior destas não atingiu a ideal (60 °C). Alguns valores discrepantes foram observados, mas para certeza da desinfecção, recomendamos 30 dias de compostagem (fase aeróbia). A adição de lodo biológico ao composto (13/05/04) fez com que voltasse a aparecer coliformes fecais que em um prazo menor que um mês foi reduzido para valores aceitáveis (tabelas 10 e 11).

Tabela 10: Quantificação de coliformes totais e fecais da leira 1, iniciada em 15/04/04.

Amostra	data	Coliformes totais (UFC / g)	Coliformes Fecais (UFC / g)
leira 1	15/04/04	9×10^5	1×10^5
leira 1	19/04/04	2×10^6	< 20
leira 1	22/04/04	$2,6 \times 10^6$	< 20
leira 1	26/04/04	2×10^5	< 20
leira 1	29/04/04	3×10^6	< 20
leira 1	03/05/04	3×10^5	< 20
leira 1 (50 cm profundidade)	06/05/04	1×10^3	< 20
leira 1 (superfície)	06/05/04	6×10^6	2×10^3
leira 1 (50 cm profundidade)	10/05/04	9×10^4	< 20
leira 1 (superfície)	10/05/04	9×10^4	< 20
leira 1	13/05/04	1×10^5	< 20
leira 1 + lodo biologico *	13/05/04	2×10^8	1×10^4
leira 1 (50 cm profundidade)	07/06/04	4×10^5	< 20
leira 1 (superfície)	07/06/04	7×10^5	20
leira 1 (50 cm)	23/06/04	8×10^5	< 20
Leira 1 (superfície)	23/06/04	4×10^5	2×10^3

* Início da fase anaeróbia

Tabela 11: Quantificação de coliformes totais e fecais da leira 2, iniciada em 15/04/04.

Amostra	data	Coliformes totais (UFC / g)	Coliformes Fecais (UFC / g)
leira 2	15/04/04	6×10^6	1×10^5
leira 2	19/04/04	1×10^6	1×10^5
leira 2	22/04/04	5×10^5	< 20
leira 2	26/04/04	3×10^5	< 20
leira 2	29/04/04	4×10^6	< 20
leira 2	03/05/04	4×10^5	4×10^3
leira 2 (50 cm profundidade)	06/05/04	2×10^6	< 20
leira 2 (superfície)	06/05/04	1×10^6	< 20
leira 2 (50 cm profundidade)	10/05/04	6×10^5	< 20
leira 2 (superfície)	10/05/04	2×10^6	< 20
leira 2	13/05/04	2×10^6	< 20
leira 2 + lodo biologico *	13/05/04	2×10^5	2×10^4
leira 2 (50 cm profundidade)	07/06/04	1×10^5	< 20
leira 2 (superfície)	07/06/04	3×10^5	< 20
leira 2 (50 cm)	23/06/04	1×10^6	20
Leira 2 (superfície)	23/06/04	6×10^5	< 20

* Início da fase anaeróbia

4.4.4. Análise Microbiológica qualitativa

A leira 1 obteve um processo de desinfecção excelente, pois depois de 1 mês de compostagem, já não foi isolada nenhuma bactéria patogênica. Foi então adicionado lodo da lagoa facultativa ao material, para então dar-se início ao processo anaeróbio. Neste momento, isolou-se a bactéria patogênica *Salmonella sp.*

Após três semanas de digestão anaeróbia, não se isolou nenhuma bactéria patogênica, indicando que o processo de desinfecção foi eficaz, podendo então o material produzido, ser utilizado sem nenhum problema de contaminação por espécies patogênicas.

Mesmo comportamento foi observado para a leira 2, porém após a adição do lodo da lagoa facultativa, isolou-se o *Vibrio sp.* Após três semanas de digestão anaeróbia, não se isolou bactéria patogênica, o que possibilitou disponibilizar esse composto para a futura utilização.

Maiores detalhes a respeito das bactérias identificadas durante este experimento, são apresentadas nas tabelas 3 e 4 do anexo.

4.4.5. Composição Elementar

A tabela 12 apresenta os resultados da análise elementar e da relação C/N das amostras coletadas em abril e junho nas leiras.

Tabela 12: Resultados da análise elementar e da relação C/N de amostras das leiras

Amostra	C (%)	N (%)	H (%)	C/N
Leira 1 (abril)	45,00	0,67	5,30	78,36
Leira 1 (junho)	41,01	1,37	4,76	34,92
Leira 2 (abril)	44,65	0,69	5,21	75,49
Leira 2 (junho)	43,94	1,07	4,92	47,91

4.4.6. Fertilidade

Na tabela 13 são apresentados os resultados das análises de macro e micronutrientes no início e no final do processo de compostagem dos resíduos. As leiras 1 e 2 apresentaram valores similares da sua composição nutricional, com a tendência de um pequeno incremento nas quantidades da leira 2. Como o comportamento das duas leiras foi similar. A adição de 80 L torna a mistura muito fluida, fazendo com que o excesso de lodo se depositasse no fundo da leira, separando-se assim da mistura. Para se adicionar maior quantidade do biossólido, torna-se necessária a diminuição da quantidade de água deste, através, por exemplo, do uso de um filtro prensa.

Tabela 13: Quantificação de macro e micronutrientes das amostras coletadas no início (abril) e no final (junho) do processo de compostagem (análises realizadas pelo laboratório de solos da Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos)

Amostras	Resultados expressos em 100% de materia seca									
	Cu	Fe	Mn	Zn	N	Ca	Mg	P	K	S
	mg / dm ³					g / dm ³				
Leira 1 (abril)	8,89	2111,53	111,13	45,76	7,29	7,30	1,77	0,92	5,87	1,93
Leira 2 (abril)	10,24	2692,77	83,52	49,95	7,81	9,64	2,20	1,18	5,53	2,12
Leira 1 (junho)	23,71	5312,12	158,72	103,48	12,00	11,59	2,73	1,79	6,32	2,72
Leira 2 (junho)	36,91	7569,80	206,01	154,77	13,63	2,67	0,66	2,42	6,51	4,60

5. CONCLUSÕES

A biodigestão (sistema anaeróbio) que ocorreu na Riviera, evoluiu mesmo em condições não ideais. A temperatura do processo nos primeiros meses (20°C, em média), esteve abaixo da ideal, o que dificultou o crescimento bacteriano e retardou a humificação. Experimentos feitos em temperatura controlada (36°C), apresentaram uma maior eficiência de compostagem.

A adição de açúcar, ao invés de acelerar, retardou o processo de compostagem devido, provavelmente, a uma diminuição do pH. Este efeito negativo para fins de compostagem tornou-se benéfico do ponto de vista de redução de microorganismos patogênicos. O processo unicamente anaeróbio não foi eficiente para tratamento de bactérias patogênicas, à exceção das amostras que contém açúcar. Tornou-se necessário um redimensionamento do sistema para que se trabalhe em outras condições de temperatura, mais adequada para compostagem e diminuição da carga microbiana patogênica. Com este redimensionamento e uso de um processo de compostagem eficiente, a temperatura chegou aos 65°C.

O processo misto (aeróbio seguido de anaeróbio) mostrou-se mais eficiente que o anaeróbio, visto que, houve uma elevação da temperatura, (valores acima de 60°C) proporcionando, desta forma, desinfecção dos resíduos e melhor humificação da matéria orgânica. Já o processo totalmente anaeróbio apresentou temperatura máxima em torno de 32°C e não houve bom resultado de humificação. A qualidade do composto gerado é função tanto do processo utilizado na transformação do material em adubo orgânico, quanto das proporções dos materiais utilizados. Um exemplo foi o uso concomitante de lodo de esgoto proveniente de lagoa facultativa e esterco bovino que não apresentou bons resultados.

De forma bastante conservadora, pode-se dizer que após 20 dias de compostagem foi possível a eliminação dos coliformes fecais. Este valor está de acordo com o sugerido pela CETESB, que apresenta um tempo de compostagem de 10 a 15 dias para desinfecção do material através de leiras não aeradas. O processo mostrou-se eficiente na eliminação de ovos de helmintos e protozoários.

Após os diversos experimentos, considerou-se como correto, o seguinte processo. Formação de leira (poda + lodo TPA) com material bastante homogêneo (recomenda-se o uso de homogeneizadores mecânicos) e acompanhamento de temperatura (próximo a 60°C nos primeiros 10 dias) por tempo mínimo de 30 dias. Após isto, adição de lodo biológico (ou esterco bovino) e fase anaeróbia por tempo mínimo de 30 dias.

Com relação as quantidades, são recomendadas as seguintes:

- 72 kg de poda fresca devidamente triturada e peneirada, sem excesso de areia (cinzas máxima: 10%)
- 40 L de lodo de esgoto proveniente da estação de tratamento primário avançado (TPA) sem adição de cal ou outro reagente alcalino, com quantidade de sólidos totais de 5%. A quantidade pode ser aumentada caso seja utilizado lodo desaguado.
- 40 L de lodo de esgoto proveniente de lagoa facultativa (lodo biológico), com quantidade de sólidos totais de 5%.

O material da parte superficial das leiras deve ser separado e colocado em uma nova leira, devido possibilidade de baixa eficiência de desinfecção nestas regiões da leira. A temperatura durante o processo aeróbio deve estar em torno de 60°C no interior das leiras. Caso isso não ocorra, aeração torna-se necessária.

Colocam-se como mínimas, as seguintes análises de acompanhamento do processo:

- Temperatura *in situ*
- pH
- Relação C/N
- Quantificação de coliformes (após processo)
- Quantificação de ovos de helmintos viáveis (após processo)
- Cinzas totais (após o processo)
- Macro e micronutrientes (após o processo, para controle de qualidade e otimização do uso do material)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. **Processos simplificados para exame e análise da água**. São Paulo, 1970. p.179-229.

BADRA, R. J. **Treinamento Prático Especializado em Microbiologia da Digestão Anaeróbia**. [S. l.: s. n.], 1992.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso do lodo de esgoto**. Jaguariuna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 312p.

BIER, O. **Bacteriologia e Imunologia**: em suas aplicações a medicina e a higiene. 17. ed. São Paulo: Melhoramentos, 1976.

BOWER, H.; IDELOVITCH, E. Quality requeriments for irrigation with sewage water. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 113, n. 4, p. 510-535, 1987.

BRANCO, S. M. Remoção de microrganismos nas diversas fases dos processos de tratamento de águas de abastecimento. Efeitos da sedimentação natural em represas: remoção de organismos na floculação, decantação e filtração. In: Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Controle de Poluição das Águas. **Desinfecção de águas**. São Paulo, 1974. p. 5-10.

BRYANT, M. P.; CAMPBELL, C. A.; Reddy, C. A.; Crabill, M. R. Growth of Desulfovibrio in Lactate or Ethanol Media Low in Sulfate in Association with H₂ utilizing Methanogenic Bacteria. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, DC, v. 33, n. 5, p. 1162- 1169, 1977.

CETESB-Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológicos em áreas agrícolas** - critérios para projeto e operação - P 4.230). São Paulo, ago.1999.

CRISTOVÃO, D. A. et al. Padrões bacteriológicos. In: COMPANHIA Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e Controle de Poluição das Águas. **Água, qualidade, padrões de potabilidade e poluição**. São Paulo, 1974. p. 57-119.

EMBRAPA Instrumentação Agropecuária (São Carlos, SP). Ladislau Martin-Neto; Marcelo Luiz Simões. **Indicador de qualidade de húmus de minhoca e compostos de resíduos orgânicos através da espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica**. BR n. PI 0104290-4, 30 abr. 2001.

EMBRAPA Instrumentação Agropecuária (São Carlos, SP). Antônio Pereira de Novaes; Ladislau Martin-Neto; Aleudo Coelho Santana; Paulo Estevão Cruvinel; Marcelo Luiz Simões; Gilberto Santiago. **Fossa séptica não-contaminante de lençol freático**. Depósito n. 004103, 05 set. 2001b.

EVANS, D. R. et al. **Water reuse: Manual of practice**. Alexandria-EUA: Water Pollution Control Federation, 1991. 243p.

GELDREICH, E. E. Aspectos microbiológicos dos esgotos e dos seus processos de tratamento. In: COMPANHIA Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Controle de Poluição das Águas. **Desinfecção de águas**. São Paulo, 1974. p. 115-134.

JIMÉNEZ, E. I.; GARCIA, V. P. Evaluation of city refuse compost maturity: a review. **Biological Wastes**, Barking, v. 27, p. 115-142, 1989.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: [s.n.], 1998. 171p.

MARTIN-NETO, L.; ROSELL, R.; SPOSITO, G. Correlation of spectroscopic indicators of humification with mean annual rainfall along a temperate grassland climosequence. **Geoderma**, Amsterdam, v. 81, p. 305-311, 1998.

MC INERNEY, M. J.; BRYANT, M. P. Review of Methane Fermentation Fundamentals. In: WISE, D. L.(Ed.). **Fuel Gas Production from Biomass**. Boca Raton, Fla: CRC Press, 1981. p. 19-46.

PESSOA, G. V. A.; SILVA, E. A. M. Meios de Rugai e Lisina motilidade combinados em um só tubo para identificação presuntiva de enterobactérias. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 32, p. 97-100, 1972.

POOLE, C. P.; FARACH, H. A. **Theory of magnetic resonance**. New York: Wiley-Interscience, 1972.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001.

ROCHA, A. A. **Crítérios de balneabilidade para classificação das praias do litoral paulista: estudo conceitual**. São Paulo: Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de controle de poluição das águas, 1974.

RUGAI, E.; ARAÚJO, A. Meio de cultura para identificação presuntiva de bacilos intestinais Gram-Negativas. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 26, p. 79-83, 1968.

SINGER, L. S. Synthetic ruby as a secondary standard for the measurement of intensities in electron paramagnetic resonance. **Journal of Applied Physics**, New York, v. 30, p. 1463-1464, 1959

STANDARD methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. Washington, DC: American Public Health Association, 1998.

SOCOL, V. T.; PAULINO, R. C.; CASTRO, E. A.. **Manual de métodos para análises microbiológicas e Parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto**. Curitiba: Biblioteca SANEPAR e Biblioteca Nacional do Rio de Janeiro, 1998. p. 27-41.

VIEIRA, S. M. M.; SOUZA, M. E. Métodos Analíticos para o Acompanhamento da Biodigestão. **Revista Energia**, fontes Alternativas, [S.l.], v. 3, n. 15, p. 26-36, jul./ ago. 1981.

ANEXOS

Tabela 1: Identificação das bactérias encontradas nas amostras coletadas em outubro (inicial) e em novembro (processo aeróbio) de 2003 (citadas na parte 4.2.6).

Processo	Meio de cultura: MacConkey	Meio de cultura: S.S.
Anaerobio 1 Coleta:13/10/03	Nenhuma colonia específica para o meio de cultura	<i>Escherichia coli</i>
Compostagem 2 Coleta:13/10/03	<i>Citrobacter saccharose -/ Escherichia coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
Compostagem 3 Coleta:13/10/03	<i>Proteus vulgaris</i>	<i>Escherichia coli/ Proteus vulgaris</i>
Compostagem 4 Coleta:13/10/03	<i>Proteus vulgaris/ Vibrio parahemolyticus</i> ou <i>Alkalescens</i>	<i>Proteus vulgaris/</i>
Anaerobio 1 (20cm) 13/11/03	<i>coli saccharose +/ Escherichia coli/ Klebsiella saccharose -</i>	<i>coli saccharose +/ Escherichia coli/ Klebsiella saccharose -</i>
Anaerobio 1 (40cm) 13/11/03	<i>Escherichia coli/ Klebsiella saccharose -/</i>	<i>Klebsiella saccharose -/</i>
Compostagem 2 (superfície) 13/11/03	<i>Klebsiella saccharose -/ Escherichia coli/ Edwardsiella sp/ coli saccharose +</i>	<i>Klebsiella saccharose -/ Edwardsiella sp</i>
Compostagem 2 (20cm) 13/11/03	<i>Klebsiella saccharose -</i>	<i>Klebsiella saccharose -</i>
Compostagem 2 (40cm) 13/11/03	<i>coli saccharose +/ Escherichia coli</i>	<i>Edwardsiella sp/ Escherichia coli</i>
Compostagem (60cm) 13/11/03	<i>Klebsiella saccharose +/ Escherichia coli</i>	<i>Klebsiella saccharose + e -</i>
Anaerobio 2 13/11/03	<i>coli saccharose +</i>	<i>Escherichia coli</i>
Compostagem 3 (superfície) 13/11/03	<i>Escherichia coli</i>	<i>Klebsiella saccharose -/ Escherichia coli</i>
Compostagem 3 (20cm) 13/11/03	<i>Escherichia coli</i>	<i>Escherichia coli/ Enterobacter saccharose -</i>
Compostagem (40cm) 13/11/03	<i>Proteus H₂S/ Escherichia coli</i>	<i>Escherichia coli/ Klebsiella sp</i>
Compostagem 3 (60cm) 13/11/03	<i>coli saccharose +</i>	<i>Vibrio parahemolyticus</i> ou <i>Alkalescens sp indol+/ Escherichia coli/ Klebsiella saccharose +</i>
Anaerobio 3 13/11/03	<i>Escherichia coli/ Edwardsiella sp</i>	<i>Escherichia coli</i>
Compostagem 4 (superfície) 13/11/03	<i>Proteus mirabilis/ Salmonella sp/ Enterobacter saccharose +/ Klebsiella saccharose +</i>	<i>Klebsiella saccharose + e -</i>
Compostagem 4 (20cm) 13/11/03	<i>coli saccharose +/ Escherichia coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
Compostagem 4 (40cm) 13/11/03	<i>Klebsiella saccharose +/ Escherichia coli/ Klebsiella saccharose -</i>	<i>Escherichia coli</i>
Compostagem 4 (60cm) 13/11/03	<i>Escherichia coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
Anaerobio 4 13/11/03	<i>Escherichia coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
Esterco 13/11/03	<i>Vibrio parahemolyticus</i> ou <i>Alkalescens sp indol+</i>	<i>Inspec fico</i>
Lodo coletado na visita 13/11/03	<i>Escherichia coli/ Klebsiella saccharose -/ Vibrio parahemolyticus</i> ou <i>Alkalescens sp indol+</i>	<i>Escherichia coli</i>
Lodo enviado apos a visita 17/11/03	<i>Vibrio parahemolyticus</i> ou <i>Alkalescens sp/ Escherichia coli</i>	<i>Escherichia coli</i>

Tabela 2: Identificação das bactérias encontradas nas amostras coletadas em fevereiro (processo anaeróbio) de 2004 (citadas na parte 4.3.6.).

Processos	Meio de cultura MacConkey	Meio de cultura S.S.
Anaerobio 1	<i>Escherichia coli</i> / <i>Citrobacter/ Klebsiella</i> <i>sacarose -</i>	Shigella indol -/
Anaerobio 2	Shigella indol -/ Escherichia coli/ Shigella indol +	Klebsiella sacarose -/ Vibrio parahaemolyticus ou Alkalescens sp.
Anaerobio 3	<i>Shigella indol- / nao</i> <i>especifica para o meio/</i> <i>Shigella indol+</i>	Shigella indol +/bacteria inespecifica para o meio
Anaerobio 4	<i>Alcaligenes sp.</i>	<i>Bacteria inespecifica para</i> <i>o meio / Shigella sacarose</i> <i>-/ Klebsiella indol -</i>

Tabela 3: Identificação das bactérias da leira 1 coletada duas vezes por semana na Riviera de São Lourenço (citadas na parte 4.4.4.)

Tratamento	Meio de cultura	
	Meio de cultura: MacConkey	Meio de cultura: S.S.
Leira1 Coleta:15/04/04	<i>Escherichia coli</i>	Escherichia coli
Leira 1 Coleta:19/04/04	<i>Escherichia coli/</i> <i>Klebsiella sacarose -/</i>	<i>Klebsiella sacarose -/</i>
Leira 1 Coleta: 22/04/04	<i>Edwardsiella sp</i>	<i>Escherichia coli/</i>
Leira 1 Coleta: 26/04/04	<i>Klebsiella sacarose +</i>	<i>Inespecifica para o meio de</i> <i>cultura</i>
Leira 1 Coleta:29/04/04	Klebsiella sacarose +	Klebsiella sacarose +/
Leira 1 Coleta:03/05/04	Klebsiella sacarose -	Klebsiella sacarose -/
Leira 1 Coleta:06/05/04	Escherichia coli	Escherichia coli
Leira 1 Coleta:10/05/04	Escherichia coli	Klebsiella sacarose -/ <i>Inespecifica para o meio de</i> <i>cultura</i>
Leira 1 Coleta:12/05/04	Escherichia coli /inespecifica para o meio de cultura	Escherichia coli
Leira 1 + L. Biol. Coleta: 13/05/04	<i>Salmonella / Escherichia coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
Leira 1 + L. Biol. Coleta:07/06/04	<i>Escherichia coli</i>	<i>Klebsiella sacarose -</i>

Tabela 4: Identificação das bactérias da leira 2 coletada duas vezes por semana na Riviera de São Lourenço (Sobloco) (citadas na parte 4.4.4.)

Tratamento	Meio de cultura	
	Meio de cultura: MacConkey	Meio de cultura: S.S.
Leira2 Coleta:15/04/04	<i>Inespecifica para o meio de cultura/ Escherichia coli</i>	Escherichia coli
Leira 2 Coleta:19/04/04	<i>Escherichia coli/ Klebsiella sacarose -/</i>	Escherichia coli
Leira 2 Coleta: 22/04/04	<i>Escherichia coli</i>	<i>coli sacarose +</i>
Leira 2 Coleta: 26/04/04	<i>Inespecifica para o meio de cultura</i>	Escherichia coli
Leira 2 Coleta:29/04/04	<i>Klebsiella sacarose -/ Escherichia coli</i>	<i>Klebsiella sacarose -/+</i>
Leira 2 Coleta:03/05/04	Escherichia coli	Escherichia coli
Leira 2 Coleta:06/05/04	<i>Klebsiella sacarose -/ Escherichia coli</i>	<i>coli sacarose +/ Escherichia coli</i>
Leira 2 Coleta:10/05/04	Escherichia coli/ Klebsiella sacarose -/ coli sacarose +	<i>Inespecifica para o meio de cultura/ Escherichia coli</i>
Leira 2 Coleta:12/05/04	Escherichia coli	Escherichia coli
Leira 2 + L. Biol. Coleta: 13/05/04	Vibrio parahaemolyticus ou Alkalescens	<i>Inespecifica para o meio de cultura</i>
Leira 2 + L. Biol. Coleta: 07/06/04	Escherichia coli/ Klebsiella sacarose	Klebsiella sacarose -