

MARCOS ANTÔNIO DE SOUZA LIMA GUERRA

**AVALIAÇÃO DE INDICADORES BIOLÓGICOS E FÍSICO-QUÍMICOS NO
COMPOSTO ORGÂNICO PRODUZIDO A PARTIR DE RESÍDUOS DA
INDÚSTRIA DE CELULOSE**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Ciência Florestal,
para obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2007**

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

G934a
2007

Guerra, Marcos Antônio de Souza Lima, 1982-
Avaliação de indicadores biológicos e físico-químicos
no composto orgânico produzido a partir de resíduos da
indústria de celulose / Marcos Antônio de Souza Lima
Guerra. – Viçosa, MG, 2007.
vii, 61f. : il. ; 29cm.

Orientador: Cláudio Mudado Silva
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Indústria de celulose - Eliminação de resíduos.
2. Resíduos industriais - Aspectos ambientais. 3. Compos-
tos orgânicos - Análise. 4. Resíduos orgânicos como fer-
tilizante. 5. Dioxinas. 6. Furanos. 7. Microorganismos
patogênicos. 8. Mostarda - Cultivo. I. Universidade
Federal de Viçosa. II. Título.

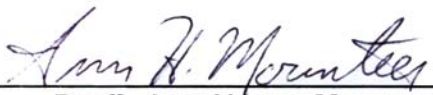
CDD adapt. CDO 634.98619

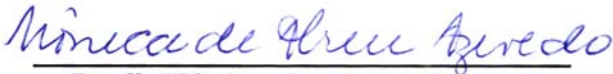
MARCOS ANTÔNIO DE SOUZA LIMA GUERRA

**AVALIAÇÃO DE INDICADORES BIOLÓGICOS E FÍSICO-QUÍMICOS NO
COMPOSTO ORGÂNICO PRODUZIDO A PARTIR DE RESÍDUOS DA
INDÚSTRIA DE CELULOSE**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Ciência Florestal,
para obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

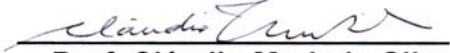
APROVADA: 12 de julho de 2007.


Prof^ª. Ann Honor Munteer
(Co-orientadora)


Prof^ª. Mônica de Abreu Azevedo
(Co-orientadora)


Prof^ª. Ana Augusta Passos Rezende


Prof^ª. Maria Cristina Dantas Vanetti


Prof. Cláudio Mudado Silva
(Orientador)

À minha noiva Juliane, meu pilar, que me apoiou em todos os momentos, que mesmo a distância em alguns instantes, me deu muita força e incentivo, e aos seus pais Julinho e Carminha, pelo incentivo e torcida.

Aos meus pais Marcos e Marilene, pela boa educação e ensinamentos.

Ao professor Cláudio Mudado, pela oportunidade, amizade, confiança, incentivo e orientação.

AGRADECIMENTOS

São tantos a agradecer, que se torna impossível falar para todos.

Primeiramente agradeço a DEUS pelas experiências conquistadas.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Florestal por terem me proporcionado esta oportunidade, pelo suporte físico e material, e ao excelente corpo docente.

À empresa Celulose Nipo-Brasileira – CENIBRA, pelo apoio.

Ao Alexandre Landim e Sebastião Tomas, grandes incentivadores e quem tornou real esta oportunidade.

A todos os colegas da Cenibra, em especial ao Leandro Dalvi, Marcela Vitorino, João Inácio, Humberto, Felipe Cacique, Thiago Iwanaga, os estagiários do ASMIF e os colegas do DEQUA, pelas boas idéias, auxílio e paciência.

Às professoras Ana Augusta, Ann Munteer e Maria Cristina, por todos os conselhos e sugestões.

À professora Mônica Azevedo pelo apoio e por aceitado fazer parte do comitê como co-orientadora.

À professora Maria Cristina por auxiliar na utilização do sistema VIDAS® no Laboratório de Microbiologia de Alimentos, e a Adriana por todo apoio na execução das análises de microbiologia.

Ao professor Fabyano pelo auxílio nas análises estatísticas.

A todos os colegas e funcionários do Laboratório de Celulose e Papel pelo auxílio e amizade, em especial aos colegas Hygor Rossoni, Ismarley Lage, Valeria Rodrigues e Ana Paula pelos “galhos quebrados”, auxílio e execução da pesquisa.

Às colegas Suzana e Adriana do DESA/UFMG pela boa vontade em auxiliar na execução das análises de helmintos.

Ao professor Edson Elias pela execução das análises de vírus.

Ao tio Mauro Miranda companheiro das viagens.

À Dona Lulu e o Senhor Leacir pelo carinho durante este período.

A todos os familiares e amigos que torceram por esta vitória.

BIOGRAFIA

MARCOS ANTÔNIO DE SOUZA LIMA GUERRA, filho de Marcos Antônio Martins Guerra e Marilene de Souza Lima Guerra, nasceu à 12 de março de 1982, em Belo Horizonte - Minas Gerais.

Em agosto de 2000, iniciou o curso de Engenharia de Materiais no Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, diplomando-se, em julho de 2005. Durante o curso, desenvolveu pesquisa de iniciação científica vinculada a empresa Celulose Nipo-Brasileira – CENIBRA, em março de 2004 a julho de 2005.

Em agosto de 2005, iniciou o Programa de Mestrado em Ciência Florestal, com ênfase em Tecnologia em Celulose e Papel, na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em julho de 2007.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Geração de resíduos sólidos durante o processo de produção de celulose	3
2.2. Reaproveitamento dos resíduos da indústria de celulose	6
2.3. Caracterização dos riscos ambientais e sanitários na utilização do composto orgânico	8
2.3.1. Compostos organoclorados nas indústrias de celulose kraft	9
2.3.2. Microrganismos patogênicos	12
2.3.3. Metais Pesados	16
2.4. Referências Bibliográficas	20
3. AVALIAÇÃO DOS INDICADORES MICROBIOLÓGICOS E PATOGÊNICOS NO LODO BIOLÓGICO E DURANTE OS PROCESSOS DE COMPOSTAGEM .	23
3.1. Introdução	24
3.2. Material e Métodos	25
3.3. Resultados e Discussão	29
3.4. Conclusões	36
3.5. Referência Bibliográfica	37
4. AVALIAÇÃO DE ORGANOCLORADOS E METAIS PESADOS NO LODO BIOLÓGICO E NO COMPOSTO ORGÂNICO E O PONTENCIAL DE ABSORÇÃO DESTES COMPOSTOS PELA <i>Brassica juncea</i>.....	39
4.1. Introdução	40
4.2. Material e Métodos	41
4.3. Resultados e Discussão	46
4.4. Conclusões	57
4.5. Referências Bibliográficas	58
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60

RESUMO

GUERRA, Marcos Antônio de Souza Lima, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2007. **Avaliação de indicadores biológicos e físico-químicos no composto orgânico produzido a partir de resíduos da indústria de celulose.** Orientador: Cláudio Mudado Silva. Co-orientadoras: Ann Honor Mounteer e Mônica de Abreu Azevedo.

Nos últimos anos, a produção de celulose kraft branqueada vem crescendo significativamente no Brasil e, com isso, aumenta-se a preocupação dos aspectos ambientais desta tipologia, devido à grande geração de resíduos sólidos. O processo de compostagem vem sendo largamente utilizado por empresas brasileiras como forma de tratamento dos resíduos sólidos orgânicos, transformando-os em composto orgânico que pode ser utilizado diretamente nos plantios florestais como condicionadores de solo. O objetivo deste trabalho foi verificar a qualidade do composto orgânico gerado a partir das cascas de eucalipto e lodo biológico de uma indústria de celulose brasileira, e avaliar o potencial de absorção de *PCDD* (dibenzodioxinas policloradas), *PCDF* (dibenzofuranos policloradas) e metais pesados pelo cultivo da planta *Brassica juncea* em diferentes dosagens de lodo biológico e composto orgânico. Foi verificada a presença de microrganismos patogênicos no lodo biológico e, posteriormente, a sua eliminação durante o processo de compostagem. Os resultados deste estudo foram: i) as concentrações de dioxinas e furanos no composto orgânico estiveram abaixo dos limites estabelecidos pelo Canadá e Alemanha para uso na agricultura; ii) nenhum traço de dioxinas e furanos foram encontrados nas plantas; iii) as concentrações de OX (organoclorados) no composto orgânico foram abaixo dos limites estabelecidos pelo órgão ambiental (EPA) da Comunidade Européia; iv) os níveis de OX no lodo biológico apresentaram valores acima do limite da EPA para uso na agricultura, indicando a necessidade do tratamento no lodo biológico antes da aplicação; v) as concentrações de metais estiveram abaixo dos limites estabelecidos na legislação brasileira; vi) o processo de compostagem foi eficiente na remoção dos microrganismos patogênicos e seus indicadores.

ABSTRACT

GUERRA, Marcos Antônio de Souza Lima, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July of 2007. **Evaluation of biological and physico-chemical quality of the compost produced from pulp mill residues.** Adviser: Cláudio Mudado Silva. Co-Advisers: Ann Honor Munteer e Mônica de Abreu Azevedo.

In the last few decades, Brazilian bleached kraft pulp production has been consistently increasing, but public environmental awareness and new stringent environmental legislation has also been increasing due to the fact that there is a large generation of wastes in this industrial process. Composting of organic solid wastes has often been used by the Brazilian mills, and compost can be used directly in the planted forests. The objective of this study was to characterize the organic compost produced from eucalyptus bark mixed with biossolids of a Brazilian pulp mill, and to evaluate the absorption potential of *PCDD* (polychlorinated dibenzodioxins), *PCDF* (polychlorinated dibenzofurans) and heavy metals by *Brassica juncea* cultivated in secondary bio-sludge and compost. The presence of pathogens and other limiting factors were also verified to ensure safe agricultural use of compost of this mill. The following conclusions can be made for the material tested in this study: i) Dioxin and furan levels were far below Canadian and German limits for compost used for agricultural use; ii) No trace of dioxin and furans was found in the plants; iii) OX (organochlorine) levels in compost were below European Community limits for agricultural use; iv) OX levels in bio-sludge were above European Community limits for agricultural use and sludge therefore needs treatment before application; v) Metal concentrations were below limits established in Brazilian legislation; vi) composting completely eliminated the presence of pathogens.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Nos últimos anos, a indústria de celulose no Brasil vem expandindo consideravelmente a sua produção. Em 2006, a produção brasileira de celulose alcançou 11,1 milhões de toneladas/ano, e estima-se que até 2012 deverá chegar a 14,5 milhões de toneladas de celulose produzidas por ano. Com estes resultados, em 2006, o Brasil ultrapassou o Japão como produtor mundial de celulose, passando da sétima para a sexta posição.

No entanto, apesar das perspectivas de crescimento para os próximos anos, existe uma preocupação crescente com a gestão dos resíduos sólidos do setor de celulose no Brasil. Para cada tonelada de celulose produzida gera-se 800 kg de resíduos sólidos. Grandes indústrias de celulose no Brasil já se conscientizaram deste fato e desenvolvem projetos ambientais para destinar e reutilizar seus resíduos, aumentando inclusive a vida útil dos seus aterros industriais.

Os principais resíduos sólidos gerados no processo de fabricação de celulose são: lenhosos (casca da madeira e serragem), lodos primário e biológico, alcalinos (dregs, grits e lama de cal), rejeitos de celulose no processo e as cinzas das caldeiras de biomassa.

Os resíduos de cascas da madeira são mais gerados no processo. Em virtude disso, as empresas do setor vêm adotando estratégias de descascamento das toras de madeira no campo e a queima de biomassa nas caldeiras para geração de energia. Outro importante resíduo gerado é o lodo biológico proveniente da estação de tratamento de efluente.

Uma das alternativas de tratamento e disposição, que vem sendo adotada pelas empresas de celulose, é a compostagem dos resíduos orgânicos. Há uma tendência na indústria de se produzir composto orgânico a partir do lodo biológico da estação de tratamento de efluentes misturado com as cascas da madeira. Geralmente o composto orgânico produzido é utilizado nos plantios de eucalipto da própria empresa ou comercializado.

No entanto, existem dúvidas quanto à segurança ambiental no uso do composto orgânico, devido ao histórico de formação dos organoclorados no setor de branqueamento da polpa celulósica das indústrias que utilizam cloro ou compostos clorados no processo industrial.

Existem, também, dúvidas quanto à segurança sanitária na produção e utilização do composto orgânico, devido à presença de patógenos no lodo biológico da estação de tratamento de efluentes nas fábricas onde os esgotos sanitários são tratados juntamente com o efluente da fábrica.

O presente trabalho tem por objetivo geral, avaliar a viabilidade ambiental e sanitária da produção e aplicação do lodo biológico da estação de tratamento de efluente e do composto orgânico gerado a partir dos resíduos orgânicos de uma fábrica de celulose kraft branqueada. Os objetivos específicos compreendem-se: i) avaliar a presença de organoclorados e metais no lodo biológico e no composto orgânico produzido dos resíduos de casca de eucalipto e lodo biológico; ii) determinar a capacidade de absorção destes compostos pela mostarda lisa (*Brassica juncea*); iii) avaliar a presença de patógenos no lodo biológico e no composto orgânico produzido a partir dos resíduos da indústria de celulose; e iv) determinar a eficiência de inativação de patógenos durante o processo de compostagem.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Geração de resíduos sólidos durante o processo de produção de celulose

O processo de produção de celulose consiste na separação das fibras de celulose dos demais componentes constituintes da estrutura da madeira, em particular a lignina, que atua ligando as fibras entre si e proporcionando rigidez à madeira (Britt, 1965).

O processo se inicia no pátio de madeira, onde a matéria-prima é recebida na forma de toras de madeiras. As toras são processadas em descascadores, para obtenção de uma madeira sem cascas e sem sujeiras. Depois de descascadas, as toras são encaminhadas aos picadores, onde são transformados em cavacos com dimensões apropriadas para a polpação (Figura 2.1).

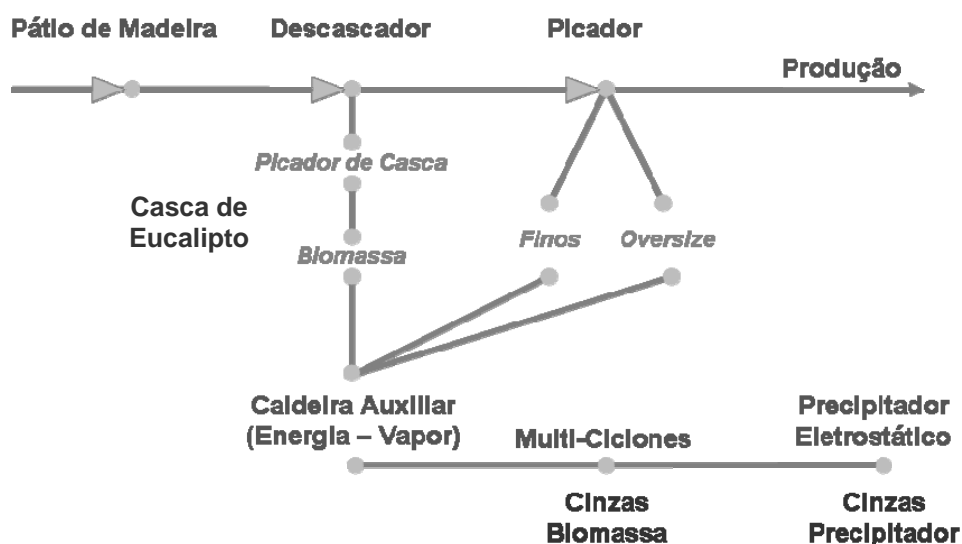


Figura 2.1 - Fluxograma Caldeiras Auxiliares

Nesta etapa, são gerados alguns resíduos lenhosos (Figura 2.1) como: as cascas de madeira no descascamento, a serragem e os cavacos super dimensionados, rejeitados no peneiramento após os picadores, e que podem retornar a etapa de picagem. As cascas tem sido utilizadas como combustível nas

caldeiras auxiliares, para geração de energia. Durante a queima, são geradas as cinzas. No Brasil, muitas empresas de celulose descascam suas toras de madeiras na área florestal, com o objetivo de minimizar o envio de casca da madeira para o processo industrial e ao mesmo tempo, deixar nos plantios florestais nutrientes e materiais orgânicos existentes na casca de madeira.

Os cavacos provenientes dos picadores são, então, enviados para o processo de separação das fibras conhecido por polpação ou cozimento, sendo efetuado por meios químicos-mecânicos, semi-mecânicos, mecânicos e químicos. Existem vários processos químicos de produção de celulose a partir de madeiras. Entretanto, o mais utilizado em todo o mundo é o processo kraft. Nesse processo os cavacos de madeira são aquecidos em um vaso de pressão (digestor) juntamente com licor de cozimento (licor branco), solução aquosa constituída de hidróxido de sódio e sulfeto de sódio, que sob efeito de pressão e temperaturas entre 160 e 180 °C levam à despolimerização e dissolução das moléculas de lignina (Morais, 2006).

Durante o cozimento ocorre a separação das fibras de celulose e hemicelulose de outros componentes presentes na madeira, como a lignina e os extrativos. A polpa marrom é separada do licor de cozimento, agora chamado de licor negro, através de lavagens nos depuradores, e enviada para a etapa de branqueamento (Philipp, 1988). Os cavacos não cozidos (nós), normalmente, são separados, podendo ser reciclados no cozimento ou retirados do processo.

As técnicas atuais de branqueamento, no entanto, utilizam um processo denominado de deslignificação com oxigênio ou pré-branqueamento, que permite reduzir o teor de lignina da polpa, antes de receber os químicos, principalmente o cloro, que não podem ser queimados na caldeira de recuperação.

No branqueamento, a lignina e outros compostos causadores de cor são removidos e, ou, alterados por meio da ação de agentes de branqueamento, normalmente oxidantes químicos e/ou, enzimas. A reação destes agentes químicos com a polpa acontece em via úmida, no decorrer dos múltiplos estágios de branqueamento. As seqüências de branqueamento podem apresentar variações, mas rotineiramente se alternam entre estágios ácidos, nos quais se

utiliza principalmente dióxido de cloro, e estágios alcalinos, nos quais se utiliza hidróxido de sódio combinado ou não com oxigênio e/ou peróxido de hidrogênio. No branqueamento é gerado o maior volume de efluentes líquidos com alta carga orgânica, devido à presença de materiais oriundos da própria matéria-prima, a madeira (MacDonald, 1970).

Depois de branqueada, a polpa é seca nas máquinas de secagem e, posteriormente, embalada ou enviada para a máquina de papel, quando é o caso das fábricas integradas. A celulose branqueada pode ser utilizada para diversos fins, inclusive na fabricação de papéis para imprimir e escrever, papéis especiais e papéis sanitários.

O licor negro, extraído da etapa de cozimento e pré-branqueamento, é enviado para o sistema de recuperação dos químicos, com a finalidade de reaproveitar estes produtos e utilizar os sólidos orgânicos dissolvidos da madeira como fonte de energia nas caldeiras de recuperação (Casey, 1980). Na recuperação química são gerados três resíduos sólidos durante o processo (Figura 2.2), o dregs (impurezas insolúveis do licor), o grits (cal não reagida na caustificação) e a lama de cal (quando o forno de cal está em manutenção).

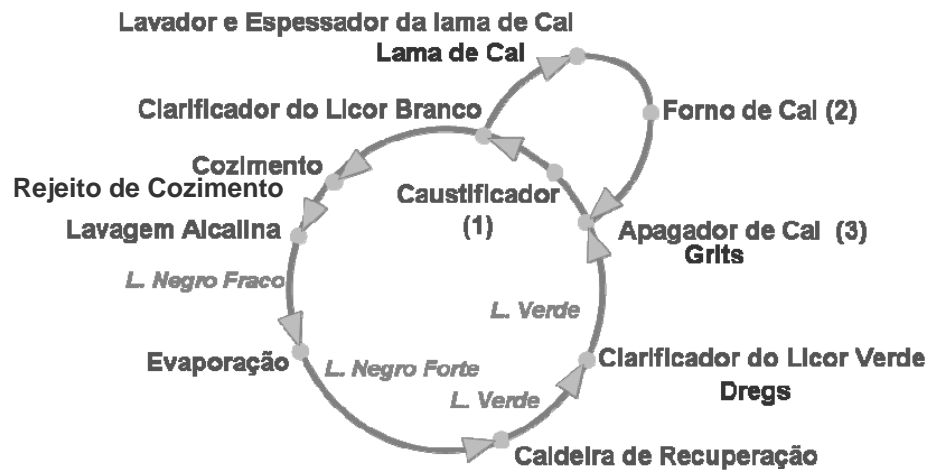


Figura 2.2 - Fluxograma da Recuperação Química

Complementando o complexo fabril, toda empresa de celulose possui um sistema de tratamento de efluentes. Este sistema de tratamento normalmente é

composto de tratamento primário e secundário, e as etapas de branqueamento e secagem contribuem com o maior volume. Os resíduos gerados durante o tratamento de efluentes são (Figura 2.3): o lodo do tratamento primário (fibras perdidas no processo de celulose) e o lodo do tratamento secundário (biológico).

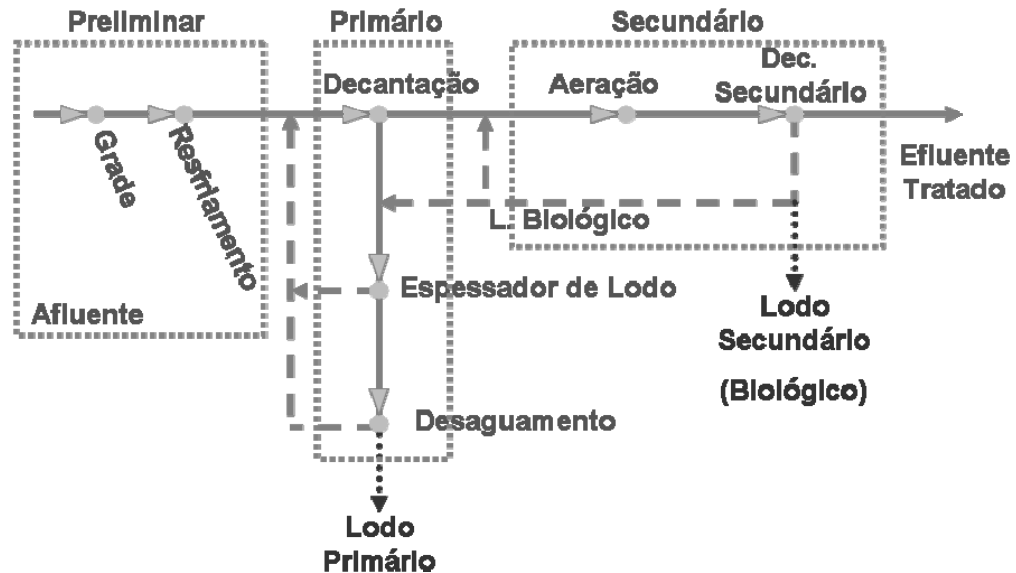


Figura 2.3 - Fluxograma Estação de Tratamento de Efluente

2.2. Reaproveitamento dos resíduos da indústria de celulose

Nos processos industriais que envolvem a madeira, usualmente, gera-se resíduos com alto percentual de matéria orgânica. São definidos como resíduos das indústrias de base florestal as sobras que ocorrem no processamento mecânico, físico ou químico, e que não são incorporadas ao produto final. As fábricas de celulose deparam-se com problemas de ordem ambiental, devido à grande quantidade de resíduos gerados (Tabela 2.1). A opção por aterro industrial para disposição final destes resíduos é indesejável, em função dos altos custos para sua implantação e manutenção, além da exigência de cuidados especiais no manuseio, tendo em vista os riscos de contaminação ambiental (Bellote et al., 1998).

Tabela 2.1 – Geração de resíduos sólidos (base seca)

Resíduos	Kg.tsa ⁻¹	t.ano ⁻¹
Lenhosos (casca de madeira e serragem)	254	237.700
Lodo biológico	11,8	11.000
Fibra do tratamento primário	8,2	7.700
Rejeito da depuração	6,3	5.900
Cinzas	5,1	4.800
Dregs	11,7	11.000
Grits	16,4	15.400
Lama de Cal	13,7	12.800
Total	327	306.300

Fonte: Adaptado de Cenibra (2006)

É neste contexto que têm surgido diversos trabalhos de investigação no sentido de procurar soluções alternativas para utilização destes resíduos, que permitam o seu aproveitamento e a diminuição do impacto ambiental. Entre as soluções preconizadas, a compostagem posiciona-se como uma alternativa interessante, dado a seu baixo custo e a sua simplicidade em termos tecnológicos, permitindo ainda a obtenção de fertilizantes orgânicos naturais, cuja aplicação devolverá ao campo os nutrientes retirados pelos plantios.

Segundo Carvalho et al. (2006), as indústrias de celulose e papel possuem materiais essenciais para o processo de compostagem como fontes de carbono e nitrogênio. Os vários tipos de resíduos como: resíduos lenhosos como a casca da madeira e serragem, os resíduos fibrosos como os rejeitos de celulose do processo e o lodo primário e o lodo biológico, apresentam características de fertilizantes. Os resíduos alcalinos como os dregs, grits e lama de cal, as cinzas das caldeiras auxiliares, apresentam características de correção do solo.

A compostagem é um processo bio-oxidativo controlado que, em condições adequadas de umidade, produz a degradação de resíduos heterogêneos por ação de uma comunidade microbiana variada. Durante a compostagem, os microrganismos degradam aerobicamente parte da fração orgânica a dióxido de carbono, água e sais minerais enquanto outra parte é submetida a um processo

de humificação, resultando num composto estável que possui características apropriadas para a utilização como fertilizante orgânico. As propriedades do composto final dependem do grau de humificação alcançado durante o processo que, em regra, não termina completamente na unidade de compostagem. Segue, então, uma fase de maturação à temperatura ambiente, por vezes no próprio solo, após a aplicação do fertilizante (Kiehl, 1985).

No entanto, apesar do composto orgânico conter quantidades significativas de matéria orgânica e macro e micronutrientes essenciais para o crescimento das plantas, o composto poderá conter contaminantes potenciais provenientes das matérias-primas utilizadas no processo de compostagem, tais como compostos orgânicos persistentes, microrganismos patogênicos e metais pesados.

2.3. Caracterização dos riscos ambientais e sanitários na utilização do composto orgânico

O composto orgânico de resíduos sólidos, para ser utilizado de maneira segura e eficiente deve, ser corretamente estabilizado. Isto significa que a matéria orgânica original deve ser convertida a uma forma que seja mais resistente à degradação, contenha quantidades mínimas de componentes tóxicos e seja livre de patógenos (Barreira, 2006). Portanto, pelo seu risco ambiental e sanitário, os componentes podem ser genericamente agrupados em: poluentes orgânicos variados, microrganismos patogênicos e metais pesados.

Os riscos na saúde pública dos contaminantes orgânicos persistentes no composto orgânico dependem de diversos fatores como: a concentração, persistência no meio ambiente, capacidade de entrar na cadeia alimentar e a toxicidade aos seres vivos. Os contaminantes orgânicos persistentes no composto orgânico aplicados em solos agrícolas podem ser volatilizados, adsorvidos nas partículas de solo, lixiviados para a água subterrânea, carregados com a água superficial, degradados biologicamente ou quimicamente, e, ou acumulados em organismos que consomem outros organismos ou matéria contaminada (Baird, 1999).

A avaliação dos efeitos fisiológicos no homem causados por diversos poluentes perigosos é muito complexa, depende de diversos fatores como: das características individuais de cada indivíduo, das vias de exposição, das concentrações e características do poluente ao qual foi exposto e dos efeitos provocados pela presença de outros poluentes no meio (USEPA, 1995).

Alguns contaminantes orgânicos são reconhecidamente cancerígenos, como por exemplo, os hidrocarbonetos aromáticos polinucleares (HAPs). As dioxinas e os furanos estão entre os compostos mais agudamente tóxicos já identificados (USEPA, 2000). Recentemente, descobriu-se que alguns compostos orgânicos afetam a saúde reprodutiva de organismos superiores, levando à infertilidade e, possivelmente, ao aumento de câncer (Baird, 1999).

2.3.1. Compostos organoclorados nas indústrias de celulose kraft

O uso de um parâmetro global para quantificar o material organoclorado elimina a necessidade de se medir individualmente as concentrações dos compostos. O parâmetro global que mede o teor total de material organoclorado em efluentes líquidos é o AOX (halôgenos orgânicos adsorvíveis em carbono ativado). Em polpas branqueadas e lodos (amostras sólidas) adota-se o OX (halôgenos orgânicos) (McKague et al., 1998).

Compostos clorofenólicos encontrados em efluentes de branqueamento de polpa kraft pertencem a quatro classes (Figura 2.4). Estes compostos despertaram interesses a partir da descoberta que fenóis e guaicóis tri e tetraclorados podiam acumular nos tecidos de organismos aquáticos. A toxicidade e a persistência destes compostos no meio ambiente aumentam com o grau de substituição com o cloro no anel aromático (Voss et al., 1980).

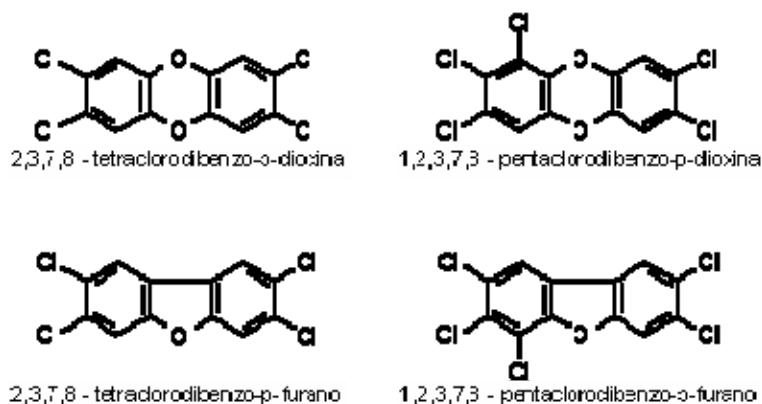


Figura 2.4 – Classes de compostos clorofenólicos formados durante o branqueamento.

As dibenzodioxinas policloradas (PCDDs) e os dibenzofuranos policlorados (PCDFs) estão dentre os compostos organoclorados mais tóxicos e persistentes já conhecidos. O mais estudado e mais tóxico dentre este grupo de compostos é o 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxina (TCDD), muitas vezes chamada simplesmente de dioxina, e este representa a referência para o grupo. Estes compostos são hidrofóbicos, resistem ao metabolismo, persistem no meio ambiente, e são propensos a bioacumular em tecidos adiposos de animais. As propriedades físico-químicas de cada composto individual variam de acordo com o grau de cloração e a posição dos átomos de cloro no anel aromático (USEPA, 2000).

O equivalente tóxico (EqT) tem sido utilizado para correlacionar a toxicidade dos diversos compostos do grupo das dioxinas e dos furanos, com aquela considerada mais tóxica, ou seja, a 2,3,7,8-TCDD, tomada como valor 1 (um). Assim, cada composto deve ter sua participação absoluta multiplicada pelo fator de equivalência, e a soma desses valores para todos os PCDD e PCDF presentes resultará na toxicidade total relativa à 2,3,7,8-TCDD (Tabela 2.2). Os fatores de equivalência foram introduzidos por órgãos competentes de diversos países, como o Comitê de Desafios da Sociedade Moderna da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN/CCMS) e a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA) (Assunção, 1999).

Tabela 2.2 - Fatores de equivalência de toxicidade adotados pela USEPA e pelo OTAN/CCMS (I-EqT).

Composto	Usepa	I-EqT	Composto	Usepa	I-EqT
Congêneres 2,3,7,8 - substituídos					
2,3,7,8-TetraCDD	1	1	2,3,7,8-TetraCDF	0,1	0,1
1,2,3,7,8-PentaCDD	0,5	0,5	1,2,3,7,8-PentaCDF	0,1	0,05
			2,3,4,7,8-PentaCDF	0,1	0,5
1,2,3,4,7,8-HexaCDD	0,04	0,1	1,2,3,4,7,8-HexaCDF	0,01	0,1
1,2,3,6,7,8-HexaCDD	0,04	0,1	1,2,3,6,7,8-HexaCDF	0,01	0,1
1,2,3,7,8,9-HexaCDD	0,04	0,1	1,2,3,7,8,9-HexaCDF	0,01	0,1
			1,2,3,4,6,7,8-HexaCDF	0,01	0,1
1,2,3,4,5,7,8-HeptaCDD	0,001	0,01	1,2,3,4,5,7,8-HeptaCDF	0,001	0,01
			1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF	0,001	0,01
1,2,3,4,6,7,8,9-OctaCDD	0	0,01	1,2,3,4,6,7,8,9-OctaCDF	0	0,001

Fonte: Assunção (1999)

As principais fontes de compostos clorados em fábricas de celulose kraft branqueada são os estágios iniciais do branqueamento realizados com reagentes a base de cloro. A formação de AOX, incluindo clorofenóis e PCDD/Fs, é diretamente proporcional à quantidade de cloro consumida, tanto na forma de Cl_2 como de ClO_2 , no primeiro estágio de branqueamento (Heimberger et al., 1988; Berry et al., 1989; Earl & Reeve, 1989).

Uma maneira eficaz de se reduzir à formação de AOX é pela substituição de Cl_2 por ClO_2 no primeiro estágio de branqueamento. Tanto a concentração como a variedade de compostos organoclorados diminui quando o Cl_2 é substituído por ClO_2 (McKague et al., 1998).

Concentrações de dioxinas encontradas em composto orgânico

No Brasil, existem poucos estudos com medições de dioxinas e furanos. Grossi (1993), citado por Assunção (1999), determinou PCDD e PCDF em 45 amostras de composto de lixo urbano provenientes de 22 usinas brasileiras e analisadas na Universidade de Tübingen, Alemanha, encontrou valores médios

acima do valor aceitável pela legislação alemã de $17 \text{ ng EqT.kg}^{-1}$, com algumas amostras apresentando valores bastante elevados 138, 130, 112 e $99 \text{ ng EqT.kg}^{-1}$.

Em outra pesquisa (Grossi, 1998), foram avaliadas 21 usinas de compostagem de lixo urbano, em várias regiões do Brasil, e os resultados variaram de 3 a $163 \text{ ng EqT.kg}^{-1}$. Neste mesmo trabalho, foi avaliado o composto orgânico produzido com lodo biológico de uma fábrica de celulose kraft que utiliza branqueamento com cloro, apresentando valores de 3 ng EqT.kg^{-1} .

Uma pesquisa realizada no Canadá por Groeneveld e Hebert (2003) avaliou concentrações de dioxinas e furanos em composto orgânico a partir de várias matérias-primas. O composto orgânico de lixo urbano apresentou valores médios de $31,1 \text{ ng EqT.kg}^{-1}$. Para o composto orgânico de resíduos de jardinagem os valores foram $6,2 \text{ ng EqT.kg}^{-1}$. O composto orgânico produzido com resíduos da indústria de celulose e papel apresentaram valores de 0,9 a $4,9 \text{ ng EqT.kg}^{-1}$. Analisando estes resultados, os autores propuseram ao governo da Província de Quebec no Canadá, o mesmo limite alemão de $17 \text{ ng EqT.kg}^{-1}$ para utilização agrícola do composto orgânico.

2.3.2. Microrganismos patogênicos

De acordo com Pinto (2001), a origem da contaminação microbiológica do lodo de esgoto apresenta grande variabilidade e pode estar relacionada, principalmente, às condições sócio-econômicas da população; às condições sanitárias; à região geográfica; à presença de agroindústrias; e do tipo de tratamento ao qual o lodo foi submetido.

Os microrganismos patogênicos presentes no lodo, além de variar de uma região para outra, dependem do processo de tratamento do esgoto. Dentre os microrganismos patogênicos, cinco grupos podem estar presentes no lodo: helmintos, protozoários, fungos, bactérias e vírus.

Estudos epidemiológicos têm demonstrado que vírus, ovos de helmintos e cistos de protozoários representam o maior risco para a saúde humana e animal pela utilização do lodo (Lelis & Brasil, 2003).

O principal indicador de patógenos é o coliforme termotolerante e os principais patógenos são: *Salmonella*, vírus entéricos e os ovos viáveis de helmintos. A Tabela 2.3 apresenta uma comparação entre os diversos limites de concentração destes microrganismos utilizados por alguns países para que o lodo seja considerado seguro para a utilização irrestrita na agricultura, e que, portanto, os processos de higienização devem atingir. Entretanto, manusear e utilizar lodos provenientes de estações de tratamento de esgoto (ETEs) sem um tratamento prévio, que permita a estabilização e a higienização destes produtos, pode apresentar riscos à saúde do homem e de animais (Pinto, 2001).

Tabela 2.3 – Limites de concentração de microrganismos indicadores de patógenos e os patógenos

Microrganismo	EUA (40 CFR 503)	África do Sul (WRC 1997)	Com. Européia
Coliformes Termotolerantes	< 1000 UFC/g ST	< 1000 UFC/ 10g ST	Redução de 6 unid. log.
<i>Salmonella</i>	< 3 NMP/ 4g ST	0 NMP/ 10g ST	0 NMP/ 50g ST (massa úmida)
Enterovírus	< 1 NMP / 4g ST	n.d.	n.d.
Ovos Viáveis de Helmintos	< 1ovo viável/ 4g ST	0 ovos viáveis/ 10g ST	n.d.

* Os critérios estão expressos em base seca, salvo quando explicitados; n.d. - não disponíveis; UFC – Unidade formadora de colônia; NMP – Número mais provável; ST – Sólidos totais

Fonte: Adaptado de Pinto, 2001

Gerenciamento e tratamento do lodo visando a remoção de microrganismos patogênicos

A redução do risco de contaminação do lodo por microrganismos patogênicos é obtida pela associação das diversas etapas de gerenciamento do lodo, visando sua utilização na agricultura. Dentre os diversos processos a higienização é tida como uma etapa imprescindível para a obtenção de um

produto seguro e confiável, do ponto de vista de contaminação bacteriológica (Matos & Brasil, 2003).

De acordo com Pinto (2001), o objetivo de se introduzir um processo de higienização dos lodos de esgoto é de garantir a qualidade para disposição no solo, onde não venha causar riscos à saúde da população, aos trabalhadores que irão manuseá-lo, e evitar impactos negativos ao meio ambiente. Portanto, a necessidade de se implantar um sistema de higienização complementar de lodos dependerá da alternativa de disposição final que será utilizada.

As tecnologias utilizadas na higienização do lodo incluem processos biológicos (digestão aeróbia e anaeróbia), químicos (adição de produtos químicos que promovem a estabilização) e térmicos (por meio da adição de calor a massa de lodo). Os principais processos de higienização empregados são apresentados no Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Processos avançados de redução de patógenos

Compostagem	Revolvimento de leiras: 55 °C por 15 dias com revolvimento mecânica durante 5 dias
Secagem por calor	Temperatura > 80 °C nas partículas do lodo e redução da umidade a 10 % ou menos.
Tratamento térmico	Temperatura >180 °C por 30 minutos para o lodo líquido.
Digestão aeróbia termofílica	10 dias de digestão à temperatura de 55-60 °C. Redução de sólidos voláteis > 38 %
Irradiação	Raios Beta: 1 megarad a 20 °C Raios Gama: 1 megarad a 20 °C
Pasteurização	Temperatura >70 °C por 30 minutos
Outras tecnologias	Redução de patógenos e sólidos voláteis a taxas equivalentes às tecnologias adicionais listadas acima

Fonte: Adaptado de USEPA (1993)

O processo de compostagem orgânica é o mais utilizado devido ao seu baixo custo de implantação e a eficiência no tratamento e higienização do lodo. Pois é um processo biológico aeróbio exotérmico, no quais os sólidos orgânicos degradáveis são estabilizados ou digeridos. Durante o processo de biodegradação

da matéria orgânica, a temperatura eleva-se, geralmente, na faixa de 60 a 65 °C nos primeiros dias do processo. Essa elevação da temperatura é responsável pela redução dos microrganismos patogênicos e seus indicadores presentes no lodo (Simoneti, 2006).

Os principais objetivos da compostagem são a conversão biológica da matéria orgânica para uma forma estabilizada, destruição de patógenos, redução da umidade do lodo e produção de um produto que pode ser utilizado na agricultura.

A Resolução do CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006 (Brasil, 2006) adotou como padrão de controle e garantia de segurança à saúde da população, com respeito a microrganismos patogênicos, duas classes de qualidade microbiológicas de lodo, estabelecendo os limites para a presença de patógenos para aplicação na agricultura (Tabela 2.5). O lodo Classe A permite o uso do lodo de modo irrestrito, sendo produzido através de processos que garantam uma concentração de microrganismos abaixo do limite de detecção, ou seja, lodos que tenham passado por um processo de higienização. Já o lodo Classe B, produzido através de processos convencionais de estabilização, possui algumas restrições e recomendações para sua utilização agrícola.

Tabela 2.5 – Limites de tolerância de microrganismos indicadores e patógenos

Classe A	
Coliformes Termotolerantes	< 10 ³ NMP.g ⁻¹ de sólidos totais
Ovos viáveis de helmintos	< 0,25 ovo.g ⁻¹ sólidos totais
<i>Salmonella</i>	ausência em 10 g de sólidos totais
Vírus	< 0,25 UFP ou UFF.g ⁻¹ de sólidos totais
Classe B	
Coliformes Termotolerantes	< 10 ⁶ NMP.g ⁻¹ de sólidos totais
Ovos viáveis de helmintos	< 10 ovos.g ⁻¹ sólidos totais

Fonte: Brasil (2006)

NMP – Número Mais Provável

UFF – Unidade Formadora de Foco

UFP – Unidade Formadora de Placa

De acordo com a Resolução do CONAMA nº 375 (Brasil, 2006), é proibida a utilização de qualquer classe de lodo de esgoto em pastagens a menos que estas sejam implantadas após 24 meses da última aplicação de lodo e cultivo de culturas de oleícolas, tubérculos e raízes, e demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo, assim como culturas inundadas estas só podem ser implantadas após 48 meses após a última aplicação do lodo. Os lodos enquadrados na Classe A poderão ser utilizados para qualquer cultura respeitando as restrições citadas. Para o lodo Classe B, seu uso é restrito no cultivo de café, cana-de-açúcar, silvicultura, culturas para produção de fibras e óleos, com a aplicação mecanizada, em sulcos ou covas, seguida de incorporação, respeitadas as restrições locacionais e a restrição de acesso público nas áreas de aplicação.

2.3.3. Metais Pesados

Segundo Sousa (1998), os metais pesados que contaminam o ambiente derivam de inúmeras fontes, que podem ser classificadas em aerossóis urbano-industriais, rejeitos líquidos e sólidos de animais e homens, mineração e indústrias, e pesticidas agrícolas. Traços de metais pesados tais como Ni, Mn, Pb, Cr, Zn, Fe e Hg aparecem constantemente em alguns despejos industriais, e a presença deles compromete a qualidade da água.

Embora se saiba que o setor de celulose e papel não é fonte geradora de metais pesados, pois esta tipologia industrial transforma a madeira em polpa celulósica, estando presentes, os metais contidos na estrutura da madeira.

De acordo com Silva et al. (2001), metais pesados podem ser entendidos que em determinadas concentrações e tempo de exposição, oferecem risco à saúde humana e ao ambiente, prejudicando a atividade dos organismos vivos.

Os metais pesados apresentam peso atômico relativamente alto e caracterizam-se pelo seu efeito bioacumulativo. Os metais pesados, em concentrações superiores às legalmente recomendadas, têm sido responsabilizados por causar agravos à saúde humana, além de uma série de doenças carcinogênicas (Gouvea, 1996).

Concentrações de metais no composto orgânico

O composto orgânico provenientes dos resíduos indústrias, urbanos e rurais, são classificados segundo a Instrução Normativa nº 23 de 31/08/2005 (Brasil, 2005), em quatro classes de acordo com as matérias primas utilizadas na sua produção como:

- Classe “A”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados no processo o sódio (Na^+), metais pesados, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos;
- Classe “B”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, onde o sódio (Na^+), metais pesados, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo;
- Classe “C”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura; e
- Classe “D”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

Para a utilização do composto orgânico na agricultura deverão ser atendidas as características descritas na Tabela 2.6, segundo a mesma Instrução Normativa (Brasil, 2005). Em relação aos níveis de metais pesados, esta legislação não apresenta os limites máximos para as classes de composto orgânico.

Tabela 2.6 – Especificações das garantias nas classes de composto orgânico.

Garantia	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Umidade (% máx.)	50	50	50	70
N total (% mín.)	1	1	1	1
* Carbono orgânico (% mín.)	15	15	15	15
* CTC		Conforme declarado		
pH (mín.)	6,0	6,0	6,5	6,0
Relação C:N (máx.)	18	18	18	18
* Relação CTC:C (mín.)	20	20	20	30
Soma NPK, NP, NK, PK		Conforme declarado		

* valores expressos em base seca, umidade determinada a 65 °C.

Atualmente, a Resolução do Resolução do CONAMA nº 375 (Brasil, 2006), estabelece os limites máximos de metais pesados presentes no bioestabilizado (lodo estabilizado proveniente de tratamento de esgoto) e seus derivados (destinado à produção de composto orgânico) para aplicação no solo, conforme apresentado na Tabela 2.7.

Tabela 2.7 – Limites de metais pesados para aplicação de bioestabilizado e seus derivados no solo, em.

Metais Pesados	mg kg ⁻¹ , base seca
Arsênio	41
Bário	1300
Cádmio	39
Chumbo	300
Cobre	1500
Cromio	1000
Mercúrio	17
Molibdênio	50
Níquel	420
Selênio	100
Zinco	2800

De acordo, com o Ministério da Agricultura, existem limites máximos de metais pesados (Tabela 2.8) para o composto orgânico proveniente de lixo urbano

em países como: Brasil, Alemanha, Estados Unidos, França, Áustria, Itália, Suíça e Holanda (Brasil, 2002).

Tabela 2.8 – Teores permissíveis de metais pesados (mg.kg^{-1}) no composto orgânico em alguns países, base seca à 65 °C.

País	Pb	Cu	Zn	Cr	Ni	Cd	Hg
Brasil	500	500	1500	300	100	5	2
Alemanha	150	100	400	100	50	15	1
Estados Unidos	500	500	1000	1000	100	10	5
França	800	-	-	-	200	8	8
Áustria	900	1000	1500	300	200	6	4
Itália	500	600	2500	500	200	10	10
Suíça	150	150	500	-	-	3	3
Holanda	20	300	900	50	50	2	2

Fonte: Brasil (2002)

Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana (USEPA), regulamenta as doses máximas de metais em lodo de esgoto, e é baseada no conceito de rotas de exposição, o mesmo empregado pelo Brasil. Esse conceito permite o acúmulo de metais pesados no solo, até um limite máximo previamente estabelecido pela legislação (Brasil, 2002).

Deve-se ressaltar que esses limites são dinâmicos e podem ser reajustados à medida que as pesquisas nacionais evoluam.

2.4. Referências Bibliográficas

ASSUNÇÃO, J. V. PESQUEIRO, C. R. Dioxinas e furanos. **Revista Saúde Pública**, v.33, n.5, 1999.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. Porto Alegre: Bookman, 1999

BARREIRA, L. P. JUNIOR, A. P. RODRIGUES, M. S. Usinas de compostagem do estado de São Paulo: Qualidade dos compostos e processos de produção. **Engenharia Sanitária Ambiental**. v.11, n.4, p. 385-393, out/dez, 2006.

BELLOTE, A. F. J. SILVA, H. D. FERREIRA, C. A. ANDRADE, G. C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 37, p. 99-106, Jul./Dez. 1998.

BERRY, R. M.; FLEMING, B. I.; VOSS, R. H.; LUTHE, C. E.; WRIST, P. E. Toward preventing the formation of dioxins during chemical pulp bleaching. **Pulp and Paper**. v.90, n.8: p.279-289, 1989.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). **Circular Técnica nº 03 – Recomendações Técnicas para o Uso Agrícola do Composto de Lixo Urbano no Estado de São Paulo**. Campinas – SP, Novembro, 2002.

BRASIL. Ministério de Meio Ambiente. Instrução Normativa nº 23, de 31/08/2005. Aprova as Definições e Normas Sobre as Especificações e as Garantias, as Tolerâncias, o Registro, a Embalagem e a Rotulagem dos Fertilizantes Orgânicos Simples, Mistos, Compostos, Organominerais e Biofertilizantes Destinados à Agricultura. **Diário Oficial da União**. 2005

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 375, de 29/08/2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. 2006.

BRITT, K. H . **Handbook of pulp and paper technology**. New York : Reinhold Publishing Corporation, 1965.

CARVALHO, S. GUERRA, M. A. LANDIM, A. ALMEIDA, A. ANICIO, D. PIMENTA, L. FELIX, R. VITORINO, M. Biosolids production with solid wastes generated in Cenibra`s hardwood kraft pulp mill. In: 6ª Fate & Effects. **Anais...** Vitória, Brazil, 2006.

CASEY, J. P. Pulp and Paper. **Chemistry and chemical technology**. New York : John Wiley & Sons, 1980.

CENIBRA. **Relatório Anual 2006**. Belo Oriente: 2007.

EARL, P. F.; REEVE, D. W. Chlorinated organic matter in bleached chemical pulp production. The effect of chlorination stage variables on chlorinated organic matter in effluent. **Tappi**: v.72, n.10, p.183-187. 1989.

GOUVEA, I. C. **Estudo e avaliação da distribuição química de metais pesados na compostagem de lodo de esgoto**. Dissertação (Mestrado em Agroquímica) - Departamento de Química, Universidade Federal de Viçosa. 256p. 1996.

GROENEVELD, E.; HEBERT, M. **Dioxins, furans, PCBs and PAHs in eastern Canada compost**. Ministério de Meio Ambiente na Província de Quebec no Canadá. 2003.

GROSSI, G. LICHTIG, J. KRAUB, P. PCDD/F, PCB and PAH content of Brazilian compost. **Chemosphere**. v.37, n.9- 12, p. 2153-2160. 1998.

HEIMBURGER, S. A.; BLEVINS, D. S.; BOSTWICK, J. H.; DONNI, G. P. Kraft mill bleach plant effluents: recent developments aimed at decreasing their environmental impact, Part 2. **Tappi**. v.71, n.11, p.69-78, 1988.

KIEHL, Edmar José, **Fertilizantes Orgânicos**. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres Ltda. 492 p. 1985.

LELIS, M. N.; BRASIL, M. S.; MOUNTEER, A. H. Reciclagem de biossólidos: gerenciamento, tratamento e normatização. In: III Encontro de Preservação de Mananciais da Zona da Mata Mineira. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa - UFV, 392p. 2003.

MACDONALD, Ronald G. **Papermaking and paper board making**. New York : McGraw – Hill, 1970.

MATOS, A. T.; BRASIL, M. S. Aproveitamento agrícola de biossólidos. In: III Encontro de Preservação de Mananciais da Zona da Mata Mineira. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa - UFV, 2003. 392p.

MCKAGUE, A. B.; CARLBERG, G. **Effluent characteristics and composition**. In: Dence, C., Reeve, D. W. (eds). Pulp bleaching Principles and Practice. Atlanta: Tappi Press, 1996, p. 749-766.

MORAIS, A. A. **Uso de ozônio como pré e pós-tratamento de efluentes da indústria de celulose kraft branqueada**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa. 2006. 97p.

PHILIPP, Paul. **Celulose e Papel – Tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. São Paulo : IPT, 1988.

PINTO, M. T. Higienização de lodos. In: **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG; Companhia de Saneamento Básico do Paraná - SANEPAR, v.6. 1.ed. 2001.

SILVA, S. M. C. P. FERANDES, F. SOCCOL, V. T. MORITA, D. M. Principais contaminantes do lodo. In: **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. v.6. 1.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG; Companhia de Saneamento Básico do Paraná - SANEPAR, 2001.

SIMONETI, M. de F. **Inativação térmica de ovos de helmintos em água e em bioossólidos: cinética em reator batelada e modelagem matemática em reator tubular**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 2006. 251 p.

SOUZA, H. A.. **Estudo da contaminação ambiental na área do aterro sanitário da BR-40, da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte - MG**. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto. 1998. 145p.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Standards for the use or disposal of sewage sludge: 40 CFR Parts 503**. Washington: EPA, 1993. 26p.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Standards for the use or disposal of sewage sludge: 40 CFR Parts 403 and 503**. Washington: EPA, 1995. 28p.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. **Draft exposure and human health reassessment of 2,3,7,8 – tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD) and related compounds**. EPA/600/P-00/001. National Center for Environmental Assessment, Washington. D.C., September, 2000.

VOSS, R. H.; WEARING, J. T.; MORTIMER, R. D.; KOVACS, T.; WONG. A. Chlorinated organics in kraft bleached effluents. **Pap. Puu** v.62, n.12, p.809-814, 1990.

3. AVALIAÇÃO DOS INDICADORES MICROBIOLÓGICOS E PATOGÊNICOS NO LODO BIOLÓGICO E DURANTE OS PROCESSOS DE COMPOSTAGEM

Resumo

O processo de compostagem vem sendo largamente utilizado por empresas brasileiras como forma de transformação dos resíduos em composto orgânico que possa ser utilizado diretamente nos plantios florestais. O objetivo deste trabalho foi verificar a qualidade sanitária do composto orgânico gerado a partir de cascas de eucalipto e lodo biológico de uma fábrica de celulose kraft branqueada. A preocupação sanitária se deve à presença de patógenos no lodo biológico, devido ao fato da estação de tratamento de efluente receber, junto com o efluente industrial, os esgotos sanitários da fábrica. O experimento se desenvolveu durante 90 dias, constituindo de 5 pilhas de compostagem com: 50 % de casca de eucalipto e 50 % de lodo biológico. Avaliou-se a capacidade de eliminação da contaminação microbiológica por meio da compostagem, ou seja, a remoção de coliformes termotolerantes, *Salmonella*, ovos viáveis de helmintos e vírus entéricos, além das características nutricionais do composto orgânico produzido. Os resultados comprovaram a eficiência do processo de compostagem na eliminação dos microrganismos patogênicos, e as características nutricionais do composto atenderam aos requisitos legais para aplicação no solo.

3.1 Introdução

A indústria de celulose gera uma grande quantidade de resíduos sólidos. Há grande incentivo por parte das fábricas em reaproveitá-los, buscando obter maiores rendimentos de seus processos produtivos e, conseqüentemente, gerar menos resíduos, minimizando os custos de disposição final.

Uma maneira de reaproveitar os resíduos orgânicos de uma forma ambientalmente correta é por meio do processo de compostagem. A compostagem pode ser definida como uma decomposição aeróbia controlada de substratos orgânicos. O resultado deste processo é um produto estabilizado, rico em matéria orgânica e microrganismos essenciais para o solo.

A aplicação deste composto orgânico está condicionada ao controle da sua qualidade, destacando-se a presença de microrganismos patogênicos, as concentrações de metais pesados e o grau de estabilidade da matéria orgânica.

Há uma tendência na indústria de celulose, de produzir composto orgânico a partir do lodo biológico da estação de tratamento de efluentes misturado com as cascas de eucalipto. No entanto, existem dúvidas quanto à segurança sanitária, devido à presença de esgotos sanitários da fábrica que são tratados juntamente com os efluentes industriais na estação de tratamento de efluentes.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência de eliminação de microrganismos patogênicos durante o processo de compostagem. Foram verificados a remoção de coliformes termotolerantes, *Salmonella*, ovos viáveis de helmintos e vírus entéricos. Foram também avaliadas, após o período de 90 dias do processo de compostagem, as concentrações de macro e micronutrientes no composto orgânico, comparando-as com limites estabelecidos pela legislação pertinente.

3.2 Material e Métodos

Resíduos utilizados no experimento

A casca de eucalipto e o lodo biológico foram fornecidos pela empresa Celulose Nipo-Brasileira - CENIBRA, as cascas são provenientes de descascadores a tambor. São geradas 1.700 t.dia^{-1} de cascas na fábrica, sendo que 66 % são encaminhados para a queima na caldeira de biomassa e 22 % para a compostagem, o restante é comercializado.

São geradas 220 t.dia^{-1} a 12 % de consistência de lodo biológico na estação de tratamento de efluentes (ETE) pelo processo de lodos ativados, todo lodo gerado é utilizado no processo de compostagem. A ETE trata $5.100 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ de efluentes, que são provenientes sobretudo do setor de branqueamento (contribuição de 90% de efluente na ETE) e $150 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ de esgoto sanitário.

Instalação e monitoramento do experimento

O experimento foi conduzido em uma área de compostagem da empresa Cenibra, durante 90 dias. O teste de compostagem constituiu da montagem de cinco pilhas em formato cônico, com uma formulação de 50 % de lodo biológico (proveniente do tratamento secundário da estação de tratamento de efluentes) e 50 % de casca de eucalipto, em peso, correspondendo cada pilha a um volume inicial de 15 m^3 , esta relação é a mesma adotada pela empresa Cenibra. As pilhas foram revolvidas três vezes por semana durante o primeiro mês de teste, duas vezes por semana durante o segundo mês e uma vez por semana no último mês de teste.

Para avaliar o processo de compostagem, foram monitorados os parâmetros: temperatura a cada revolvimento das pilhas, e os demais parâmetros como: teor de umidade, pH, sólidos voláteis, carbono orgânico e nitrogênio total, uma vez a cada mês. Os parâmetros microbiológicos foram avaliados no lodo biológico no início do processo, e com 45 e 90 dias durante o processo de compostagem. Os parâmetros de macro e micronutrientes foram avaliados na

casca de eucalipto, no lodo biológico “in natura” e no material das pilhas de composto orgânico no final do experimento.

A temperatura nas pilhas de compostagem foi medida com termômetro digital, inserindo-se a sonda a 40 cm da superfície de cada leira.

Análises dos parâmetros físico-químicos

O pH foi determinado na suspensão de 10 g da mistura em 30 ml de água destilada, após agitação e homogeneização. A umidade foi determinada por secagem em estufa a 105 °C até peso constante (24 h). Para a determinação dos sólidos voláteis, 2,0 g calcinadas à 550 °C durante 2 horas. O nitrogênio total foi determinado pelo método Kjeldahl a partir de uma amostra triturada, da qual foi tomada uma alíquota de 0,5 g em peso seco. O carbono orgânico foi determinado pelo Método Walkley & Black que utiliza o dicromato em meio ácido como oxidante dos compostos orgânicos contidos em amostra de 0,1 g (Camargo, 1996).

As análises de macro e micronutrientes foram realizadas conforme o método USEPA 3050b, da Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA, 1998). Após a digestão em ácido HNO₃ e HCl concentrado, foram determinadas as concentrações de macronutrientes (P, K, Ca, Mg) e micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Al, Na, Co, Ba), por espectrofotômetro por emissão de plasma, e os parâmetros de Na e K foram determinados em fotômetro de chama (Micronal – B462).

Análises microbiológicas

Os coliformes termotolerantes foram quantificados pela técnica do Número Mais Provável em tubos múltiplos conforme a Norma Técnica L5-406 (CETESB, 1992). Inicialmente, preparou-se uma diluição de 1:10 de cada amostra em tampão fosfato, sob condições assépticas. A partir dessa diluição inicial, foram utilizadas as diluições decimais para as amostras de lodo biológico e composto orgânico. Volumes de 1 ml de cada diluição foi utilizado para incubar, em triplicata, caldo lauril sulfato triptose. Os tubos foram incubados a 37 °C por 48 h. Uma alíquota de cada tubo que apresentou resultado positivo para a produção de gás

(teste presuntivo para a presença de coliformes) foi repicada para caldo EC, contido em tubos. Esses tubos foram incubados a $45 \pm 0,1$ °C por 24 h. A produção de gás no caldo EC confirmou a presença de coliformes termotolerantes.

A análise da presença de *Salmonella* spp. foi conduzida segundo a metodologia descrita no Método 996.08 (AOAC, 1996). Inicialmente, 25 g da amostra fresca diluída em 225 ml de água peptonada tamponada foram incubados por 18 h a 35 °C, em etapa de pré-enriquecimento. A seguir, alíquotas dessa cultura foram transferidas para o caldo Rappaport, e selenito-cistena, para o enriquecimento seletivo de *Salmonella* e incubadas por 24 h a 35 °C, determinado pelo sistema de reações imunoenzimáticas VIDAS® (BIOLAB-MERIEUX S.A.)

Ovos viáveis de helmintos nas amostras de lodo foram quantificados pelo método descrito por Meyer et al. (1978) e modificado por Paulino et al. (2001). Setenta e cinco gramas de amostra fresca foram tratados com água sanitária (225 ml, 50 min) e depois lavados com água destilada contendo Tween 80 (1 %), até que o sobrenadante ficasse clarificado. O sedimento foi coletado entre as lavagens por centrifugação (2800 rpm, 3 min). Após a etapa de lavagem, 75 ml de ZnSO₄ (densidade 1,18 kg.m⁻³) foram adicionados ao sedimento, e a mistura centrifugada novamente. O sobrenadante, contendo ovos flotados, foi filtrado em membrana com poro de 0,45 µm e o material retirado na membrana transferido para um placa de Petri contendo 15 ml de H₂SO₄, 0,1 N. Para verificar a viabilidade dos ovos, a placa de Petri foi incubada em estufa a 28 °C durante 28 dias. Após esse período, um alíquota da amostra foi transferida para um câmara de Sedgewick-Rafter e os ovos contendo larvas e apresentando mobilidade contados no microscópio.

Para os vírus entéricos (adenovírus e enterovírus (Poliovírus, Echovírus, Coxsackievírus)), as amostras foram enviadas para laboratório especializado, utilizando-se ensaios de detecção rápida com PCR (Santos et al., 2004; Formiga-Cruz et al., 2005).

As densidades de microrganismos são expressas com base nos sólidos secos das amostras. O teor de sólidos das amostras foi determinado pela

secagem até peso constante a 103 ± 2 °C, conforme o método 2540 G (APHA, 1995).

Analises estatísticas

Os parâmetros de monitoramento avaliados nas pilhas de compostagem foram submetidos à análise de variância em um esquema fatorial 5 x 4 (5 pilhas de compostagem e 4 períodos amostrais), no delineamento em blocos ao acaso com três repetições.

As médias dos resultados foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

3.3 Resultados e Discussão

Controle do Processo de Compostagem

Durante os 90 dias do experimento, houve desenvolvimento apenas de temperaturas termofílicas na faixa de 50 a 65 °C em todas as pilhas (Figura II-1), garantindo uma série de vantagens como o aumento da taxa de decomposição da matéria orgânica e a eliminação de microrganismos patogênicos. Segundo Pereira Neto (2004), a temperatura é o fator mais indicativo do equilíbrio biológico, o que reflete a eficiência do processo.

Com 60 dias, foram adicionados 3.000 m³ de água, em cada pilha, com o objetivo de aumentar a umidade, promovendo um decréscimo temporário da temperatura (Figura 3.1).

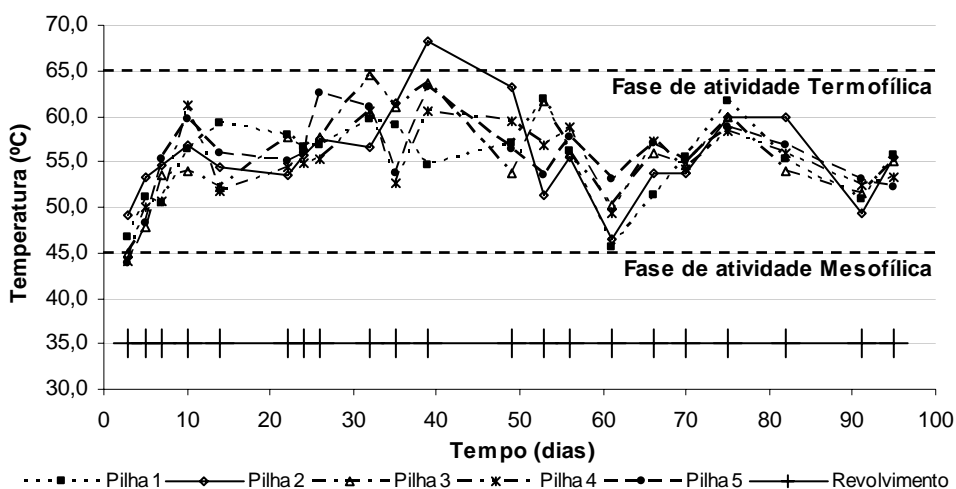


Figura 3.1 – Variação de temperatura nas pilhas de compostagem.

Apesar do processo de compostagem ter mantido a temperatura na fase termofílica durante os 90 dias, visualmente observou-se um composto com coloração escura, isento de odor desagradável e ervas daninhas, caracterizando uma condução adequada do experimento.

Na Tabela 3.1, estão apresentados os resultados das análises químicas do lodo biológico e casca de eucalipto “in natura” e dos compostos orgânico produzidos.

Tabela 3.1 – Resultados das análises químicas do lodo biológico e casca de eucalipto “in natura” e das pilhas de compostagem no final de 90 dias.

	pH	Umidade 105 °C	SV	Relação C/N	C	N	P	K
	H ₂ O	---- dag.kg ⁻¹ ----			dag.kg ⁻¹		----- g.dm ⁻³ -----	
Lodo Bio.	7,3	86,9	87,1	5,6	31,4	56,26	114,4	1,70
Casca de Euc.	8,5	59,2	95,2	389,8	99,1	2,55	6,61	0,91
Pilha 1	8,5	49,1	42,2	28,0	29,9	10,78	27,44	1,06
Pilha 2	8,3	53,1	64,2	51,7	50,4	9,76	19,15	1,14
Pilha 3	8,6	44,1	52,2	38,5	42,1	10,93	25,38	1,04
Pilha 4	8,5	46,5	50,4	44,9	44,3	9,90	20,96	1,06
Pilha 5	8,8	46,9	51,8	35,7	41,9	11,75	24,94	1,01
Limites	6 a 8,6 ¹	< 40 ¹		< 21 ¹		> 11,0 ¹	> 7,0 ¹	> 7,0 ¹
	Ca	Mg	Al	Na	Fe	Mn	Cr	Ni
	----- cmolc.dm ⁻³ -----					----- mg.dm ⁻³ -----		
Lodo Bio.	43,06	10,10	16,62	3.724,9	4.775,9	456,1	44,88	22,40
Casca de Euc.	27,90	3,00	5,05	195,0	2.308,5	211,2	7,26	1,50
Pilha 1	46,22	10,97	41,61	969,5	21.501,0	1.406,6	100,4	6,74
Pilha 2	26,91	3,54	33,33	748,5	13.221,9	345,3	35,21	5,70
Pilha 3	52,62	10,07	41,55	1.229,0	19.671,7	1.495,8	81,85	6,27
Pilha 4	27,92	3,47	41,11	784,8	15.466,7	306,8	50,12	6,34
Pilha 5	37,59	4,51	42,92	1.629,8	17.130,0	457,9	54,84	6,92
Limites	> 128 ¹	> 12,8 ¹					< 1000 ² < 200 ³	< 420 ² < 70 ³
	Cd	B	Mo	Zn	Pb	Cu	Co	Ba
Lodo Bio.	nd	53,40	2,46	80,69	4,55	23,05	1,21	54,80
Casca de Euc.	nd	11,41	0,34	5,22	0,41	1,49	0,06	14,58
Pilha 1	nd	195,4	1,39	27,09	4,89	8,29	1,47	26,57
Pilha 2	nd	74,61	0,94	28,01	3,53	7,19	0,61	22,79
Pilha 3	nd	117,8	0,99	22,97	4,46	8,38	1,49	26,12
Pilha 4	nd	92,43	0,92	21,31	4,85	8,28	0,85	19,48
Pilha 5	nd	103,7	0,84	24,63	4,80	8,99	1,02	23,09
Limites	< 39 ² < 3 ³		< 50 ²	< 2.800 ²	< 300 ² < 150 ³	< 1.500 ²		< 1.300 ²

Resultados expressos em matéria seca a 105 °C.

¹ Requisitos mínimos para que o composto orgânico maturado possa ser utilizado na agricultura, segundo Magalhães (2002).

² Limites de metais pesados, segundo Brasil (2006a).

³ Limites de metais pesados, segundo Brasil (2006b).

De acordo com os resultados obtidos nas pilhas de compostagem, a partir do aproveitamento dos resíduos de casca de eucalipto e lodo biológico da indústria de celulose, pode-se afirmar que o composto orgânico produzido apresentou boa qualidade quanto às concentrações de macro e micronutrientes, bem como no que se refere às concentrações de metais pesados. Embora, tenha a necessidade de ser compostado por mais tempo, para que a relação C:N e o teor de umidade alcance valores estabelecidos pela legislação (Brasil, 2002).

Os resultados da análise de variância da umidade, pH, sólidos voláteis, relação C:N, carbono orgânico e nitrogênio total, durante o processo de compostagem são apresentados na Tabela 3.2. Observou-se que, apesar de terem as mesmas formulações iniciais (50 % de casca de eucalipto + 50 % de lodo biológico em peso), as pilhas não apresentaram comportamentos semelhantes.

Tabela 3.2 - Análise de variância dos resultados de massa seca foliar e número de folhas, nos tratamentos propostos.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios					
		Umidade 105 °C	pH	Sólidos Voláteis	Relação C/N	Carbono Org.	Nitrogênio Total
Pilhas	4	63,09 **	0,22 **	124,6 **	7211,7 **	182,7 **	0,118 **
Período	3	1354,3 **	1,54 **	4141,2 **	73843,8 **	5543,5 **	1,068 **
Pilhas X Período	12	26,11 **	0,049 ^{ns}	86,13 **	3694,8 **	71,5 **	0,018 **
Resíduo	38	2,1	0,028	13,12	234,4	10,07	0,0058
CV ^{1/} (%)		2,5	1,9	5,2	17,0	5,0	8,5

1/ coeficiente de variação de médias; ns F não significativo a 1% e 5%; ** F significativo a 1%; * F significativo a 5%.

Os parâmetros utilizados para controle do processo de compostagem com exceção do pH, apresentaram diferença significativa entre a interação do tempo de compostagem e as pilhas montadas a 1 % de probabilidade. Isso significa que o comportamento de um fator depende dos níveis do outro fator. Neste caso, estudou-se apenas a interação entre eles, como pode ser observado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Médias dos parâmetros de umidade 105 °C, pH, sólidos voláteis, relação C/N, carbono orgânico, nitrogênio total durante o período de compostagem.

Pilhas	3dias	49dias	66dias	91dias
Umidade 105 °C				
1	72,6 A a	55,6 AB b	57,5 A b	49,1 B c
2	69,8 AB a	58,7 A b	59,0 A b	53,1 A c
3	72,2 A a	56,0 AB b	53,8 B b	44,1 C c
4	66,8 B a	54,3 B b	52,2 B b	46,5 BC c
5	70,2 AB a	57,4 AB b	45,7 C c	46,9 BC c
pH				
1	8,7 ns	9,1 ns	8,9 ns	8,5 ns
2	8,1 ns	8,8 ns	8,8 ns	8,3 ns
3	8,4 ns	9,1 ns	9,0 ns	8,6 ns
4	8,1 ns	9,0 ns	8,7 ns	8,5 ns
5	8,3 ns	9,1 ns	8,8 ns	8,8 ns
Sólidos Voláteis (%)				
1	92,4 A a	74,5 AB b	72,7 A b	42,2 C c
2	94,1 A a	80,2 A b	61,8 B c	64,2 A c
3	88,6 A a	68,3 B b	65,0 AB b	52,2 B c
4	90,5 A a	67,6 B b	56,8 B c	50,4 BC c
5	91,6 A a	75,1 AB b	62,0 B c	51,8 B d
Relação Carbono:Nitrogênio				
1	118,6 C a	70,6 A b	46,0 A bc	28,0 A c
2	260,5 A a	83,6 A b	75,6 A b	51,7 A b
3	165,9 B a	66,9 A b	49,9 A b	38,5 A b
4	287,9 A a	68,5 A b	56,2 A b	44,9 A b
5	134,1 BC a	66,0 A b	48,9 A b	35,7 A b
Carbono Orgânico (%)				
1	84,6 AB a	78,5 AB a	49,6 B b	29,9 C c
2	85,0 AB a	81,6 A a	61,5 A b	50,4 A c
3	78,2 B a	65,8 C b	53,2 B c	42,1 B d
4	86,9 A a	71,0 C b	50,7 B c	44,3 AB c
5	84,1 AB a	72,7 BC b	48,6 B c	41,9 B c
Nitrogênio Total (%)				
1	0,73 A b	1,11 A a	1,08 A a	1,08 AB a
2	0,33 BC b	0,98 A a	0,82 B a	0,98 B a
3	0,50 B b	0,98 A a	1,07 A a	1,09 AB a
4	0,30 C b	1,04 A a	0,90 AB a	0,99 AB a
5	0,64 A c	1,11 A ab	0,99 AB b	1,17 A a

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha para cada tipo de análise não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, valores médios de três repetições.

ns = Efeito não significativo, pelo teste F a 5% de probabilidade.

Os resultados de pH apresentaram-se dentro da faixa considerada ideal por Kiehl (1985) e Pereira Neto (2004), estando entre 8,1 e 9,1 durante todo o processo de compostagem.

Observou-se através dos dados apresentados na Tabela 3.3, que nos primeiros dias de compostagem as pilhas apresentaram teor de umidade próximo de 70%. Esta umidade inicial alta se deve a adição do lodo biológico cujo percentual de umidade “in natura” é de 87 %. No decorrer do processo de compostagem perdeu-se umidade por evaporação, principalmente durante os revolvimentos, chegando na faixa de 45 à 55 %, considerada ideal por Kiehl (1985).

No campo experimental, observou-se que as pilhas 1 e 2 recebiam menos luz solar, o que poderia influenciar no percentual de umidade. Entretanto, estatisticamente esta diferença pôde ser observada somente a partir da nona semana (Tabela 3.3).

O parâmetro de sólidos voláteis, utilizado para se avaliar o grau de degradação (transformação do material orgânico em inorgânico), apresentou um percentual de redução satisfatória durante a compostagem em todas as pilhas, variando de 31 a 50 %. Segundo Mota et al. (2002), um processo de compostagem eficiente deve apresentar uma redução média de 40 % do teor inicial de sólidos voláteis.

A relação carbono/nitrogênio apresentou redução em todas as pilhas, variando de 25 % a 43 %, embora nenhuma pilha tenha atingido a relação de 21:1 recomendada para aplicação na agricultura (Brasil, 2002). Observou-se a necessidade de mais tempo de compostagem, para adequar à legislação.

Análise microbiológica durante o processo

As análises de coliformes termotolerantes foram realizadas inicialmente na estação de tratamento da empresa. Devido ao tratamento do esgoto sanitário junto ao efluente da fábrica. Os valores encontrados foram menores que 30 NMP.g⁻¹ de

coliformes termotolerantes, considerando o intervalo de confiança de 95 %, o que indica que a chance do número real presente na amostra estar incluído no intervalo de valores entre 0 a 95 NMP.g⁻¹ é de 95 %. Acredita-se que, as características do efluente tenham influenciado no baixo valor encontrado, em decorrência dos químicos utilizados no processo.

Os resultados das análises de coliformes termotolerantes das amostras de composto orgânico durante o processo de compostagem são apresentados no Tabela 3.4. Apesar de ter sido utilizado o lodo biológico, pode-se observar que o processo de compostagem foi eficiente na eliminação destas bactérias indicadoras, devido à elevada temperatura na fase termofílica por um período longo de 90 dias, apresentando valores menores que 3,0 NMP.g⁻¹, inferior ao limite permissível de 1.000 NMP.g⁻¹ para aplicação na agricultura (Brasil, 2006a). Apenas uma amostra da pilha 5 com 45 dias apresentou valores de 75 NMP.g⁻¹ de coliformes termotolerantes.

Tabela 3.4 – Resultados das análises de coliformes termotolerantes nas amostras de composto orgânico.

	Composto Orgânico (45 dias de compostagem) NMP.g ⁻¹	Composto Orgânico (90 dias de compostagem) NMP.g ⁻¹
Pilha 1	< 3,0	< 3,0
Pilha 2	< 3,0	< 3,0
Pilha 3	< 3,0	< 3,0
Pilha 4	< 3,0	< 3,0
Pilha 5	75	< 3,0

Os coliformes termotolerantes são tradicionalmente considerados como indicadores de contaminação fecal, mas não são indicadores satisfatórios do conteúdo de vírus. Elevadas temperaturas atingidas durante o processo são fundamentais para a alta taxa de decomposição, para inativação de coliformes e vírus (Mehnert & Stewien, 1993). Segundo Metcalf et al. (1995), os processos de tratamento de lodo, incluindo a compostagem, reduzem, mas não eliminam os

vírus entéricos, que mantenham a infectividade por um período superior a 30 dias de digestão a 50 °C.

Os resultados obtidos não apresentaram nenhuma unidade formadora de vírus entéricos (Adenovírus e Enterovírus “Poliovírus, Echovírus, Coxsachievírus”) nas amostras de lodo biológico e nas pilhas de compostagem. O limite estabelecido pelo CONAMA nº 375 é menor que 0,25 unidades formadoras de placa por grama de sólidos secos.

Durante o processo de compostagem não foi encontrado nenhuma a presença de *Salmonella* spp, em alíquotas de 25 g da amostra, exceto na amostra inicial de lodo biológico bruto da Pilha 4. A metodologia utilizada para detecção de *Salmonella* spp incluiu uma etapa de pré-enriquecimento, seguindo de um enriquecimento seletivo e posteriormente, o teste imunoensaio automatizado, no intuito de maximizar as chances de acusar sua presença em um tempo mais curto que o especificado no método padrão. Entretanto, é importante lembrar que a legislação, estabelece ausência em 10 g de amostras e analisou-se em 25 g, com isso, a análise foi mais rigorosa do que solicitado pela legislação.

A quantidade de ovos viáveis de helmintos no composto orgânico é outro indicador importante para a qualidade sanitária. Foi constatada a presença da viabilidade de ovos de *Ancylostoma* sp. no lodo biológico bruto foi de 0,5 à 3,9 ovo viável por grama de sólidos secos, e posteriormente não foi observado nenhum ovo (viável ou não viável) no composto orgânico produzido, demonstra a eficiência do processo de compostagem.

O gênero *Ancylostoma* é um dos agentes causadores da ancilostomíase, uma infestação de vermes nematódeos no intestino delgado e pulmões. Esses vermes desenvolvem todo seu ciclo de vida em seres humanos e outros animais de sangue quente, sem outros reservatórios (Britton, 1994).

Com os resultados de indicadores patogênicos, o composto orgânico, produzido a partir da casca de eucalipto e lodo biológico bruto apresenta boa qualidade sanitária, podendo ser utilizado na agricultura.

3.4 Conclusões

Numa avaliação geral, o composto produzido apresentou um conjunto de características desejáveis para este tipo de produto, tais como: coloração do material, cheiro, pH, concentrações de metais pesados, composição de macro e micronutrientes, embora o período de 90 dias de compostagem não ter sido suficiente para se adequar a legislação com base na relação C:N e teor de umidade, necessitando de mais tempo de compostagem.

O processo de compostagem foi eficiente, em termos de eliminação de microrganismos indicadores e patogênicos como: coliformes termotolerantes, *Salmonella*, ovos viáveis de helmintos e vírus entéricos, e o composto orgânico apresentou concentrações abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução do CONAMA nº 375 de 2006.

3.5 Referência Bibliográfica

AOAC International. **AOAC Official Method 996.08**. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists (16th ed.). AOAC International, Gaithersburg, MD. 1996.

APHA. American Public Health Association. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**, 19. Washington: APHA, AWWA, WEF, 1995.

BIOLAB-MERIEUX S. A. **Manual sistema VIDAS® e MINI-VIDAS®**, Estrada do Mapuá 491, Jacarepaguá, Rio de Janeiro, Brasil.

BRITTON, G. **Wastewater microbiology**. New York: Wiley-Liss, 1994.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 375, de 29/08/2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. 29/08/2006, 2006a.

BRASIL. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 27, de 09/06/2006. Referem-se às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. **Diário Oficial da União**. 09/06/2006, 2006b.

BRASIL. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 62 de 26/08/2003. Oficializa os Métodos Analíticos Oficiais para Análises Microbiológicas para Controle de Produtos de Origem Animal e Água. **Diário Oficial da União**. 26/08/2003, 2003.

BRASIL, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento e Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). **Circular Técnica nº 03 – Recomendações Técnicas para o Uso Agrícola do Composto de Lixo Urbano no Estado de São Paulo**. Campinas – SP, Novembro, 2002.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J. A.; VALADARES, J. M. A. S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto agrônomo. **Boletim Técnico nº 106**. Instituto Agrônomo de Campinas, 1996.

CETESB. Coliformes fecais - Determinação em amostras de água pela técnica de tubos múltiplos com meio A1 - Método de ensaio. **Norma Técnica CETESB L5-406**, 1992, 20 p.

FORMIGA-CRUZ, M., HUNDESA, A. CLEMENTE-CASARES, P., ALBINANA-GIMENEZ, N., ALLARD, A., GIRONEZ, R. Nested multiplex PCR assay for

detection of human enteric viruses in shellfish and sewage. **Journal Virology Method**, v.125 p.111-118, 2005.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres Ltda. 1985. 492 p.

MAGALHAES, M. A. **Parâmetros para projeto e operação de filtros orgânicos utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura**. Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa: Viçosa, 2002.

MEHNERT, D.U.; STEWEIN, K.E. Detection and distribution of rotavirus in raw sewage and creeks in São Paulo, Brazil. **App. Environmental Microbial**, v. 59, p. 140-143. 1993.

MEYER, K. B., MILLER, K. D & KANESHIRO, E. S. Recovery of Ascaris eggs from sludge. **Journal Parasitology**. v.64 n.2, p.380 – 383, 1978.

METCALF, T. G.; MELNICK, J.L., ESTES, M.K. Environmental virology: from detection of vírus in sewage and water by isolation to identification by molecular biology – a trip of over 50 years. **Annu Rev. Microbial**, v. 49, p. 461-487. 1995.

MOTA, J. P., PEREIRA NETO, J. T., CABALLOS, B. S. O., SOUZA, F. C. Utilização da compostagem para o tratamento de resíduos de madeira e aparas de grama. In: XXVIII Congreso Interoamericano de Ingeniería Sanitária y Ambiental. **Anais...** Cancun, México. 2002.

PEREIRA NETO, J. T. Produção de composto orgânico. In: I SICOM - SIMPÓSIO SOBRE COMPOSTAGEM - "CIÊNCIA E TECNOLOGIA", **Anais...** Botucatu (SP). Botucatu: Universidade Estadual Paulista. p. 1-27, 2004.

SANTOS, F.M.; VIEIRA, M. J.; MONEZI, T.A.; HÁRSI, C.M.; MEHNERT, D.U. Discrimination of adenovirus types circulating in urban sewage and surface polluted waters in São Paulo city, Brazil. **Water Science Technologies**, Water Supply v.4, n.2, p.79-85. 2004.

USEPA. **Method 3050 B**. 1998. Disponível em: <http://www.epa.gov/SW-846/pdfs/3050b.pdf>. Acesso em fev.2007.

4. AVALIAÇÃO DE ORGANOCLORADOS E METAIS PESADOS NO LODO BIOLÓGICO E NO COMPOSTO ORGÂNICO E O PONTENCIAL DE ABSORÇÃO DESTES COMPOSTOS PELA *Brassica juncea*

Resumo

A maioria das indústrias de celulose no Brasil, utilizam seqüências de branqueamento ECF (elemental chlorine free). Com isso existe a preocupação quanto a presença de compostos organoclorados na polpa e no efluente devido ao uso de dióxido de cloro nos estágios de branqueamento. O objetivo deste trabalho foi avaliar a presença de metais pesados e compostos organoclorados (PCDD e PCDF) em substratos compostos por lodo biológico da estação de tratamento de efluentes e por composto orgânico produzido a partir da casca de eucalipto e lodo biológico, e o potencial de absorção pela *Brassica juncea*. Foram testados 13 tratamentos com três repetições: 100 % de solo; 100 % de lodo biológico; 100 % de composto orgânico; 75 % de lodo biológico ou composto orgânico + 25 % de solo; 50 % de lodo biológico ou composto orgânico + 50 % de solo; 25 % de lodo biológico ou composto orgânico + 75 % de solo; 10 % de lodo biológico ou composto orgânico + 90 % solo e 1 % de lodo biológico ou composto orgânico + 99 % de solo. As plantas foram cultivadas em vasos de 0,63 dm³ em casas de vegetação durante 73 dias. Foram analisados os parâmetros no substrato e na planta: Fe, Mn, Pb, Ni, Cu, Zn, Cr, Cl⁻, carbono orgânico e organoclorados (OX). As análises de PCDD e PCDF foram realizadas nas folhas e nos substratos dos tratamentos que apresentaram melhores crescimentos foliares da *Brassica juncea*. Os resultados de metais pesados encontrados no substrato estão dentro dos limites estabelecidos no Brasil para aplicação de composto orgânico no solo. As concentrações de PCDD e PCDF foram menores que 0,5 ng I-EqT.kg⁻¹, sendo inferiores aos limites mais rigorosos para aplicação de composto orgânico na agricultura, estabelecidos em Quebec no Canadá (17 ng I-EqT.kg⁻¹), cujos valores foram baseados nos limites alemães. Nas amostras foliares não foram detectados traços de PCDD e PCDF.

4.1 Introdução

A indústria de celulose kraft branqueada passou nos últimos anos por transformações tecnológicas importantes, principalmente na etapa de branqueamento.

A pré-deslignificação com oxigênio após a polpação permite diminuir a carga orgânica destinada a estação de tratamento de efluentes. A substituição de seqüências de branqueamento “Standard”, onde se utilizava o cloro elementar como agente de branqueamento, foram substituídas por seqüências denominadas ECF (elemental chlorine free) que utilizam o dióxido de cloro. Tais práticas minimizaram muito a formação de compostos organoclorados na polpa de celulose e no efluente da fábrica. No Brasil, praticamente todas as fábricas adotaram seqüências de branqueamento ECF.

Atualmente, o Brasil ocupa a sexta posição no cenário mundial, como produtor de celulose. O setor de celulose gera grandes quantidades de resíduos sólidos, que precisam ser destinados de uma forma ambientalmente correta.

O lodo biológico proveniente da estação de tratamento de efluentes e a casca de eucalipto estão entre os resíduos de maior geração no processo, e uma forma de tratamento pode ser o processo de compostagem, que agrega valor e dispõe de uma forma correta, quando aplicado em plantios agrícolas.

No entanto, existem dúvidas quanto à segurança ambiental no uso do composto orgânico devido ao histórico de formação dos compostos organoclorados, embora se saiba que a formação destes compostos está associada à utilização do cloro elementar no branqueamento de celulose.

O presente trabalho tem o objetivo avaliar a viabilidade de utilização do lodo biológico provenientes da estação de tratamento e o composto orgânico produzido com lodo biológico e casca de eucalipto gerados pela empresa Celulose Nipo-Brasileira – CENIBRA, através da avaliação da presença e posteriormente a absorção de organoclorados (dioxinas e furanos) e metais pesados pelo cultivo de mostarda lisa (*Brassica juncea*), para que se possa fazer a utilização deste material para fins agrícolas.

4.2 Material e Métodos

Materiais utilizados como substratos

O solo utilizado no experimento foi retirado no município de Viçosa, MG, sendo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo. As amostras de solo retiradas foram secas ao ar e passadas por uma peneira de malha de 4,0 mm de abertura.

O composto orgânico e o lodo biológico foram fornecidos pela empresa Celulose Nipo-Brasileira - CENIBRA, o composto orgânico foi produzido por um processo de compostagem aeróbio em leiras estáticas a partir dos resíduos sólidos industriais (casca de eucalipto triturada e lodo biológico a uma proporção 1:1 em peso), por um período de 150 dias, apresentando uma relação C:N menor que 21:1.

As cascas são provenientes de descascadores a tambor. São geradas 1.700 t.dia⁻¹ de cascas na fábrica, sendo que 66 % são encaminhados para a queima na caldeira de biomassa e 22 % para a compostagem, o restante é comercializado.

São geradas 220 t.dia⁻¹ a 12 % de consistência de lodo biológico na estação de tratamento de efluentes (ETE) pelo processo de lodos ativados, todo lodo gerado é utilizado no processo de compostagem. A ETE trata 5.100 m³.h⁻¹ de efluentes, que são provenientes sobretudo do setor de branqueamento (contribuição de 90% de efluente na ETE) e 150 m³.h⁻¹ de esgoto sanitário. O branqueamento utiliza a seqüência * D_{ht} (E_{OP}) D P e o consumo total de ClO₂ na produção é de 35 t.dia⁻¹.

* O branqueamento possui como principal objetivo alvejar a polpa de celulose, preservando as características físico-mecânicas. Estágios de branqueamento: "D" – O dióxido de cloro é um agente de branqueamento muito eficiente e menos agressivo na degradação da viscosidade (integridade física das fibras de celulose), mas gera compostos organoclorados no efluente. "Dht" – O ClO₂ a quente, aumenta a temperatura, diminuindo o número kappa (teor de lignina) e a viscosidade. "E_{OP}"- O estágio de extração alcalina com oxigênio e peróxido de hidrogênio é um estágio onde se aumenta a deslignificação e o alveamento da polpa, produzindo alvuras maiores, reduzindo o consumo de reagentes subseqüentes, como, por exemplo, dióxido de cloro. "P" - No estágio com peróxido de hidrogênio, ocorre o aumento da alvura e minimiza a reversão da mesma.

O lodo biológico utilizado no experimento foi retirado da linha de recirculação de lodo biológico do processo de tratamento secundário da ETE, passando por um processo de filtragem em laboratório para ganhar uma consistência de 15 % de sólidos.

Montagem do experimento

O experimento foi conduzido em estufa do Departamento de Engenharia Florestal, durante 73 dias na Universidade Federal de Viçosa (UFV). O experimento consistiu de 13 tratamentos com diferentes substratos e três repetições (Tabela 4.1).

Tabela 4.1 - Dosagens dos substratos misturados com solo, utilizados em cada tratamento (% peso/peso).

Substratos	0 %	1 %	10 %	25 %	50 %	75 %	100 %
Composto Orgânico	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Lodo Biológico		T8	T9	T10	T11	T12	T13

Obs: T – tratamento

Exemplo: T1 – 0 % de substrato (composto orgânico ou lodo biológico) + 100 % solo

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado. Utilizou-se no experimento vasos de polietileno rígido (PE) com capacidade para 0,63 dm³, onde foram cultivadas mudas de mostarda lisa (*Brassica juncea*).

Obtenção das Mudanças

A sementeira do cultivar da *B. juncea* foi feita em bandejas de isopor perfuradas (Figura 4.1 (a) e (b)), com aproximadamente 10 cm de profundidade, preenchidas com vermiculita utilizada como substrato. Os transplantes das mudas foi feito após 22 dias de sementeira, e a colheita após 51 dias do transplante. As irrigações foram feitas com 50 ml de água deionizada em cada vaso, diariamente.



(a)



(b)

Figura 4.1 – (a) mudas em germinação; (b) mudas a serem transplantadas após 22 dias.

Utilizou-se como testemunha, uma planta comercializada no município de Viçosa, para os parâmetros analisados.

Cultivo da *B. juncea*

O experimento foi conduzido em uma estufa localizada no viveiro do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal Viçosa. A estufa possui uma área de 10 m x 20 m (Figura 4.2 (a)), e é coberta por uma lona plástica transparente, tendo aberturas laterais. Os vasos foram colocados a um espaçamento de 10 cm x 10 cm em bancadas de 1 m x 10 m (Figura 4.2 (b)).



Figura 4.2 – (a) Estufa; (b) Bancada com experimento.

Após o período de incubação dos substratos e da etapa de germinação das sementes de mostarda, foi realizado o transplante das mudas em cada um dos vasos plásticos. Os vasos foram distribuídos aleatoriamente na bancada, com o objetivo de aplicar os princípios básicos de casualização e repetição, necessários na condução de experimentos científicos.

Sob cada um dos vasos foram colocados pratos coletores, para que, caso ocorresse à percolação de água, o lixiviado fosse devolvido ao vaso, não garantindo dessa forma perdas de água no sistema por evaporação.

A temperatura da estufa foi medida por meio de leituras diárias em um termômetro acoplado a bancada. As temperaturas médias de máxima e mínima durante a condução do experimento foram de 38 e 22 °C, respectivamente.

O piso da estufa, bem como os arredores, foram umedecidas de duas a três vezes por dia, quando necessário, para que a temperatura e umidade relativa do ar permanecessem, tanto quanto possível, mais uniformes.

A colheita foi realizada aos 51 dias após o transplante, nas primeiras horas da manhã, quando a maioria das plantas já haviam atingido o máximo crescimento nas condições experimentais, cortando-as rente a superfície dos substratos.

Análises químicas

A matéria seca da parte aérea foi obtida após secagem em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 60 °C, até atingir peso constante. Posteriormente foram moídas em moinho tipo Wiley, com peneira de 20 mesh.

A extração das plantas foi feita via úmida usando-se 0,5 g de amostra com ácido nítrico p.a. (65 %) e ácido perclórico p.a. (70 %) em uma relação 3:1, onde foram determinados as concentrações totais de: Fe, Mn, Pb, Ni, Cu, Zn e Cr em espectrofotômetro por emissão de plasma (EMBRAPA, 1999).

Os substratos foram secos em uma estufa a 105 °C, e posteriormente moídos. Para a extração dos substratos utilizou-se as metodologias apresentadas em EMBRAPA – CNPS (1997), para os parâmetros mencionados.

O carbono orgânico foi determinado pelo Método Walkley & Black que utiliza o dicromato em meio ácido como oxidante dos compostos orgânicos

contidos em 0,1 g de amostra. A extração de Fe, Mn, Cu e Zn trocáveis (disponível) utilizou a solução extratora Mehlich (HCl 0,05 mol.l⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol.l⁻¹). Já a extração do Cr, Ni, e Pb trocáveis (disponíveis) foi feita com extrator Mehlich modificado (HCl 0,05 mol.l⁻¹ + H₂SO₄ 0,025 mol.l⁻¹) e a sua leitura foi feita por espectrofotometria de absorção atômica.

As concentrações de Cl⁻ foram determinadas no extrato de saturação por titulação com nitrato de prata (AgNO₃) em presença de dicromato de potássio (K₂CrO₄) como indicador. As concentrações de OX foram determinadas segundo a Norma SCAN – W 9:89.

Para as análises de dioxinas e furanos dos substratos, foram retiradas amostras acondicionando em frascos âmbar previamente lavados com ácido acético (10 %), com o objetivo de eliminar interferentes a base de cloro. Após este procedimento, as amostras foram enviadas para o laboratório especializado em caixas de isopor, mantendo a temperatura das amostras abaixo de 4 °C. Para as análises foliar, as amostras foram mantidas em sacos lacrados de polipropileno (PP). As determinações de dioxinas e furanos foram feitos por cromatografia gasosa acoplada à uma espectrometria de massa de alta resolução de diluições isotrópicas, utilizando-se as metodologia USEPA 8290 e 1613 (USEPA 1994a e USEPA 1994b). As análises foram feitas no laboratório da Analytical Solutions S.A (Rio de Janeiro).

Análises estatísticas

Os parâmetros analisados foram submetidos à análise de variância em um esquema fatorial 2 x 7 (2 substratos e 7 dosagens). Em caso de significância, as médias dos resultados foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

4.3 Resultados e Discussão

Desenvolvimento Foliar

Com base na Tabela 4.2, observa-se um desenvolvimento da massa foliar diferente entre as dosagens e os tipos de substratos (composto orgânico e lodo biológico) utilizados no experimento, evidenciando diferenças significativas entre os tratamentos propostos.

Tabela 4.2 - Análise de variância dos resultados de massa seca foliar e número de folhas, nos tratamentos propostos.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios	
		Massa seca foliar	Número de folhas
Substratos	1	4,02 *	27,52 **
Dosagens	6	18,38 **	43,88 **
Substratos X Dosagem	6	23,69 **	47,36 **
Resíduo	28	0,65	1,98
CV ^{1/} (%)		34,2	25,9

1/ coeficiente de variação de médias; ^{ns} F não significativo a 1% e 5%; ** F significativo a 1%; * F significativo a 5%.

Quando se analisa a massa seca das folhas de *B. juncea* constata-se que, dentre os tratamentos utilizados, aquele que consistiu de 100 % de composto orgânico e com 25 % de lodo biológico resultaram em maior rendimento (Tabela 4.3). Entretanto, quando o critério considerado para análise é o número de folhas, melhores resultados foram obtidos quando *B. juncea* foi cultivada em substratos contendo 75 % de composto orgânico e aquele contendo 25 % de lodo biológico.

Os substratos preparados nos tratamentos com 1 % de composto orgânico, 1 % de lodo biológico, 100 % de solo e 75 % de lodo biológico não promoveram desenvolvimento satisfatório das plantas, não sendo possível obter massa seca foliar necessária para as análises (abaixo de 0,1 g). No tratamento contendo 100 % de lodo biológico não houve crescimento das plantas.

Tabela 4.3 – Médias de massa seca foliar (g) e numero de folhas em relação as dosagens de cada substrato.

Substratos	Dosagens dos Substratos						
	0 %	1 %	10 %	25 %	50 %	75 %	100 %
	Massa Seca Foliar (g)						
Comp. Orgânico	0,06 A c	0,11 A c	1,23 B c	1,55 B c	3,94 A b	5,27 A ab	6,47 A a
Lodo Biológico	0,06 A c	0,11 A c	2,70 A b	6,53 A a	4,90 A a	0,01 B c	0,00 B c
	Numero de folhas						
Comp. Orgânico	1,7 A c	2,3 A c	5,7 A c	6,0 B c	7,6 A b	11,0 A ab	9,3 A a
Lodo Biológico	1,7 A c	2,3 A c	6,7 A b	11,7 A a	8,3 A a	1,7 B c	0,0 B c

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha para cada tipo de análise não diferem entre si ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey, valores médios de três repetições.

Observou-se, na Figura 4.3, que as curvas de desenvolvimento foliar se cruzam a uma dosagem próximo de 55 % dos substratos, isto significa que com esta dosagem haveria o mesmo desenvolvimento foliar.

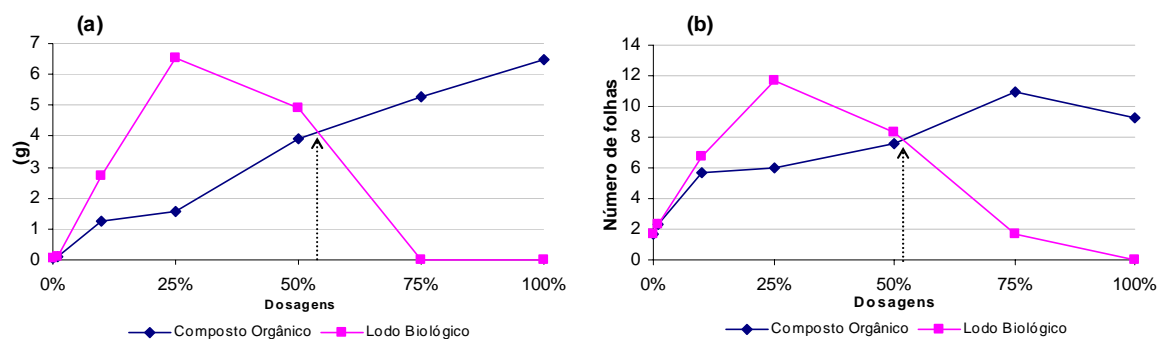


Figura 4.3 – (a) Massa seca em relação as dosagens; (b) Número de folhas em relação as dosagens.

Compostos Organoclorados

Os valores de carbono orgânico, cloretos e OX nos substratos de cada tratamento estão apresentados nas Tabelas 4.4 e 4.5. Observa-se, pelos resultados apresentados na Tabela 4.4 que, embora não tenha havido diferença

significativa para os resultados de cloretos, existe uma tendência de aumento de carbono orgânico e OX com o incremento das dosagens dos substratos.

Tabela 4.4 - Análise de variância dos resultados de carbono orgânico, cloretos e OX.

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios		
		Carbono Orgânico	Cloretos	OX
Substratos	1	23659,6 **	0,009 ns	346185,4 **
Dosagens	6	149408,0 **	0,141 ns	317546,6 **
Substratos X Dosagem	6	62000,1 **	0,116 ns	273096,7 **
Resíduo	28	276,5	0,069	165,3
CV ^{1/} (%)		10,0	11,7	10,4

1/ coeficiente de variação de médias; ns F não significativo a 1 % e 5 %; ** F significativo a 1 %; * F significativo a 5 %.

Os valores de OX encontrados nos tratamentos de composto orgânico estão abaixo do limite de 500 mg.kg⁻¹ estabelecido na Comunidade Européia para aplicação do composto orgânico no solo (SEPA, 1997), embora o tratamento com 100 % de lodo biológico ter sido superior ao limite. Os maiores valores encontrados foram 68,5 mg.kg⁻¹ no tratamento com 100 % de composto orgânico, e 1.215 mg.kg⁻¹ no tratamento com 100% de lodo biológico (Tabela 4.5).

Os valores de cloretos não apresentaram efeitos significativos na análise de variância aplicada pelo teste F a 5 % de probabilidade. Sendo assim, o menor valor encontrado foi 1,90 g.kg⁻¹ no tratamento com 25 % de lodo biológico e o maior foi 2,47 g.kg⁻¹ no tratamento com 10 % de composto orgânico.

Tabela 4.5 – Médias das concentrações de carbono orgânico, cloretos e OX nas dosagens de cada substrato preparado.

Substratos	Dosagens dos Substratos						
	0 %	1 %	10 %	25 %	50 %	75 %	100 %
Carbono Orgânico (g.kg ⁻¹)							
Comp. Orgânico	81,32 A c	75,37 A c	91,34 A c	110,05 A c	177,48 A b	210,12 A b	255,89 B a
Lodo Biológico	81,32 A c	57,67 A c	64,08 A c	81,24 B c	85,01 B c	205,35 A b	759,19 A a
Cloretos (g.kg ⁻¹)							
Comp. Orgânico	2,47 ns	2,07 ns	2,48 ns	2,39 ns	2,23 ns	2,20 ns	1,93 ns
Lodo Biológico	2,47 ns	2,05 ns	2,20 ns	1,90 ns	2,28 ns	2,46 ns	2,21 ns
OX (mg.kg ⁻¹)							
Comp. Orgânico	25,23 A b	14,25 A b	18,71 A b	23,70 A b	32,30 B b	46,47 B ab	68,54 B a
Lodo Biológico	25,23 A d	8,06 A d	25,96 A d	23,00 A d	64,50 A c	138,9 A b	1215 A a

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha para cada tipo de análise não diferem entre si ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey, valores médios de três repetições.

ns = Efeito não significativo, pelo teste F a 5 % de probabilidade.

Houve diferença significativa entre as médias de carbono orgânico presente nos substratos, somente a partir da dosagem com 25 % de cada substrato, com exceção da dosagem com 75 %. Para as médias de OX, houve diferença significativa a partir da dosagem com 50 % de cada substrato.

O coeficiente de correlação linear de Pearson, observado entre os resultados de carbono orgânico e OX, apresentaram boa correlação nos tratamentos com composto orgânico e lodo biológico, apresentando correlações de $r=0,94$ ($p=0,001$) e $r=0,99$ ($p<0,001$), respectivamente. Isto significa que, à medida que a concentração de carbono orgânico aumenta, é aumentada a concentração de OX. Os resultados de cloretos não foram utilizados para a correlação, pois não houve efeito significativo entre os tratamentos.

Dioxinas e Furanos

Os valores de dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDD) e dibenzofuranos policlorados (PCDF), expressos em termos de Equivalente Tóxico (EqT), encontrados nas amostras estão reportados no Tabela 4.6. Os fatores de equivalência tóxica (FET) adotados foram aqueles preconizados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA, 1987) e Organização Mundial da Saúde (WHO, 1981).

As análises foram realizadas nas amostras de substratos e folhas, dos tratamentos com 100 % de composto orgânico e 25 % lodo biológico, nos quais as plantas apresentaram o melhor desenvolvimento da massa seca foliar. Além disso, as análises foram feitas nas amostras dos substratos com 100 % de lodo biológico e 100 % solo, e uma amostra de *B. juncea* comercializada no município de Viçosa.

Como pode ser observado, os maiores valores de EqT foram encontrados no composto e no lodo biológico. No entanto, tais valores são considerados extremamente baixos.

Tabela 4.6 – Valores de equivalente tóxicos encontrado nas amostras analisadas

Amostras	Valores	Unidade
Solo 100 % (substrato)	1,6	pg EqT / kg
Composto Orgânico 100 % (substrato)	400	pg EqT / kg
Lodo Biológico 100 % (substrato)	130	pg EqT / kg
Lodo Biológico 25 % (substrato)	2,4	pg EqT / kg
Lodo Biológico 25 % (foliar)	nd	pg EqT / kg
Composto Orgânico 100 % (foliar)	nd	pg EqT / kg
Comercializada em Viçosa (foliar - testemunha)	nd	pg EqT / kg

nd – não detectado

O maior valor encontrado foi de 400 pg EqT.kg⁻¹ (0,4 ng EqT.kg⁻¹) para o composto orgânico. Os padrões mais restritos reportados em EqT de PCDD e PCDF em composto orgânico para uso agrícola na Província de Quebec no Canadá é de 17 ng.kg⁻¹, sendo este padrão estabelecido a partir do padrão alemão. Desta forma, constatou-se que o maior valor de EqT encontrado foi menor do que o mais restritivo padrão canadense e alemão. Os autores apresentam os

EqT de composto orgânico provenientes de fábricas de celulose e tais valores variaram de 0,9 a 4,9 ng.kg⁻¹, ou seja, superiores aos valores encontrados (Tabela 4.6) (Groeneveld e Hebert, 2003).

Uma vez que a empresa Cenibra utiliza em seu processo de branqueamento da pasta celulósica, apenas dióxido de cloro em seqüências denominadas Elemental Chlorine Free (ECF), não se esperava grande geração de dioxinas e furanos.

Nas amostras foliares, não foram encontrados valores de EqT para PCDD e PCDF. Segundo Rizzardi et al. (2003), estudos da fisiologia baseado em nutrição das plantas não confirmam o transporte de compostos com estruturas complexas como a dioxina e furanos através das raízes até as folhas, ou seja, somente haverá contaminação das folhas através de contato direto (solo-planta).

A Figura 4.4 apresenta os valores dos equivalentes tóxicos observados nas amostras dos tratamentos com 100% de composto orgânico, 100 % lodo biológico, 100 % solo e 25 % de lodo biológico. No tratamento com 100 % de composto orgânico, observou-se a presença de quase todos os 17 congêneres considerados mais tóxicos, faltando apenas 2378 TCDD (referência para o grupo de maior toxicidade) e o 12378 P5CDD. Para o tratamento com 100 % de lodo biológico, foram observados os congêneres 1234678 H7CDD, OCDD, 2378 T4CDD, 12378 P5CDF, 23478 P5CDF, 123478 H6CDF. Os tratamentos com 100 % de solo e 25 % de lodo biológico foram observados apenas os congêneres 1234678 H7CDD e OCDD.

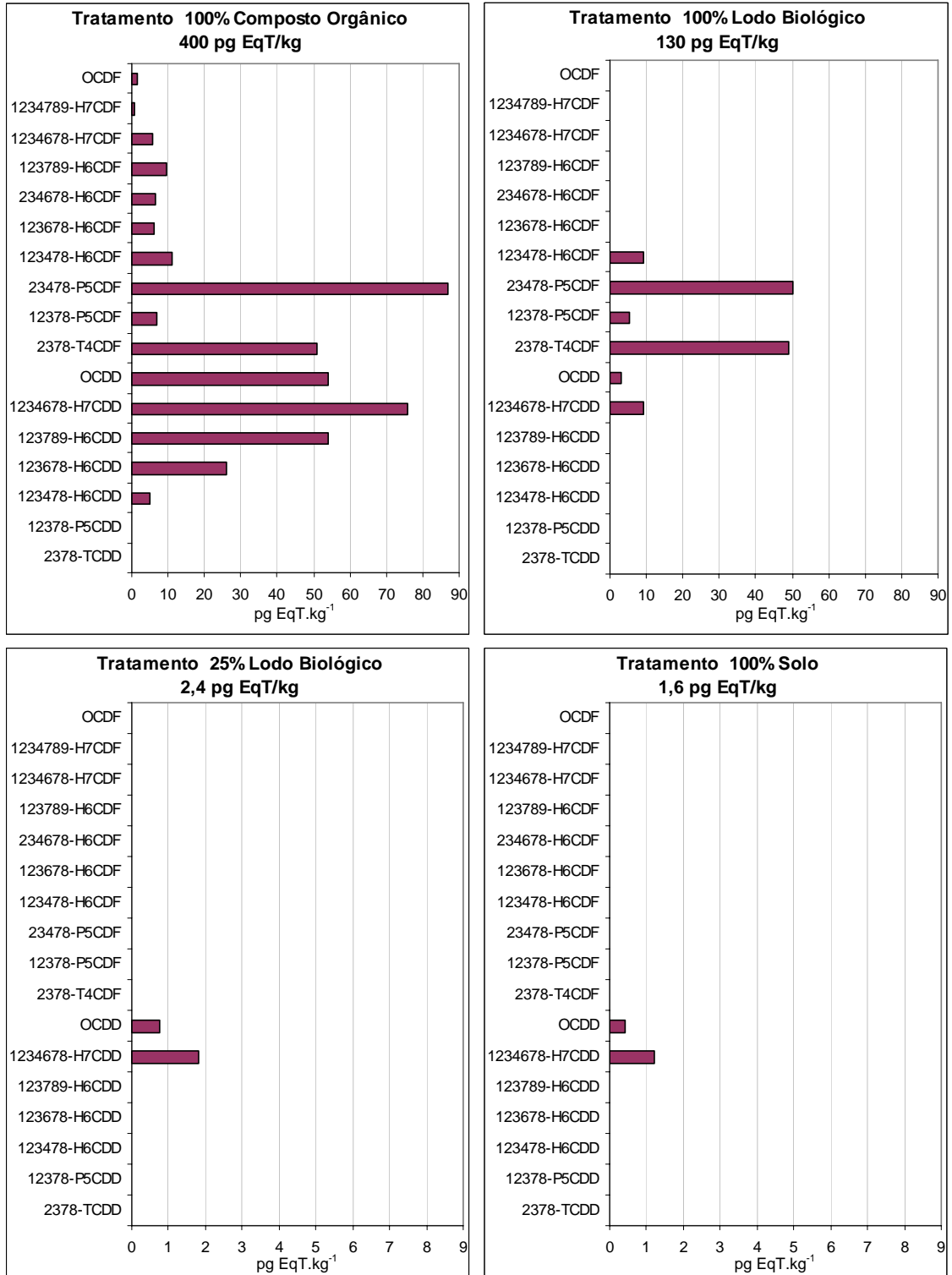


Figura 4.4 - Valores de Equivalentes Tóxicos dos 17 congêneres em cada amostra analisada.

Metais pesados nos substratos

A análise de variância realizada quanto à concentração de metais entre os substratos, as dosagens e a interação entre eles está apresentada na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Análise de variância dos resultados de metais pesados nos substratos

Fontes de Variação	GL	Quadrados Médios					
		Fe	Mn	Cu	Zn	GL	Cr
Substratos	1	5123,75 **	18271,18 **	0,003 ns	0,422 *	-	-
Dosagens	6	11674,07 **	15020,79 **	0,222 **	26,653 **	6	0,091 **
Subs X Dosag	6	2465,74 **	2366,28 **	0,102 **	2,706 **	-	-
Resíduo	28	114,21	10,79	0,004	0,088	12	0,015
CV ^{1/} (%)		15,6	6,7	24,5	12,8		47,2

1/ coeficiente de variação de médias; ns F não significativo a 1 % e 5 %; ** F significativo a 1 %; * F significativo a 5 %.

Observa-se, pelos resultados que existe uma interação significativa dos níveis de Fe, Mn, Cu e Zn entre os substratos e o incremento das dosagens utilizadas. Observou-se a variância dentro das dosagens de composto orgânico para o Cr, sendo esta significativa.

Entretanto, deve-se considerar que a mobilidade destes metais no solo dependerá da forma química sob a qual o metal se apresenta e das características do solo como pH, teor de matéria orgânica, CTC e percentagem de argila, que têm importância fundamental na mobilidade de cátions metálicos (Lopes et al., 2005), onde esses elementos estarão disponíveis para serem absorvidos pelas plantas.

A Tabela 4.8 apresenta os resultados médios de três repetições das concentrações de metais pesados em cada tratamento com lodo biológico e composto orgânico.

Tabela 4.8 – Teores de metais pesados observados nos substratos que compunham cada tratamento.

Substratos	Dosagens dos Substratos						
	0%	1%	10%	25%	50%	75%	100%
Fe (mg.kg ⁻¹)							
Comp. Orgânico	22,13 A c	32,85 A c	68,42 A b	96,81 A a	99,58 A a	116,4 B a	119,9 A a
Lodo Biológico	22,13 A c	15,31 A c	14,56 B c	25,10 B c	79,89 B b	168,0 A a	76,53 B b
Mn (mg.kg ⁻¹)							
Comp. Orgânico	2,90 A f	1,90 A f	26,49 A e	67,22 A d	105,8 A c	135,2 A b	149,6 A a
Lodo Biológico	2,90 A d	1,19 A d	3,31 B d	5,95 B d	24,34 B c	34,72 B b	124,7 B a
Cu (mg.kg ⁻¹)							
Comp. Orgânico	0,37 A a	0,17 b	0,16 b	0,24 A ab	0,25 B ab	0,33 B ab	0,37 A a
Lodo Biológico	0,37 A b	nd	nd	0,07 B c	0,41 A b	0,87 A a	0,25 B b
Zn (mg.kg ⁻¹)							
Comp. Orgânico	0,95 A d	1,04 A d	1,27 A d	1,49 A d	2,45 A c	3,54 B b	4,83 B a
Lodo Biológico	0,95 A d	0,35 B d	0,52 B d	0,68 B d	2,07 A c	4,81 A b	7,59 A a
Cr (mg.kg ⁻¹)							
Composto Orgânico	0,12 c	0,13 c	0,21 bc	0,14 c	0,33 abc	0,48 ab	0,56 a
Lodo Biológico	0,12	nd	nd	nd	nd	nd	nd

Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula na coluna, e minúscula na linha para cada tipo de análise não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, valores médios de três repetições.

nd – não detectado

Pode-se observar que as concentrações destes metais disponíveis encontram-se inferiores aos limites máximos para sua aplicação na agricultura, propostos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Brasil, 2002) que são de 500 mg Pb.kg⁻¹, 500 mg Cu.kg⁻¹, 1.500 mg Zn.kg⁻¹, 300 mg Cr.kg⁻¹, 100 mg Ni.kg⁻¹.

Os metais Pb e Ni não foram detectados nos substratos dos tratamentos com composto orgânico e lodo biológico e Cr nos tratamentos onde se utilizou lodo biológico. Nos tratamentos com 1 e 10 % de lodo biológico não foram determinados o Cu (Tabela 4.8).

Os maiores valores de Fe encontrados nos substratos foram de 168,0 mg.kg⁻¹ no tratamento com 75 % de lodo biológico e 119,9 mg.kg⁻¹ no tratamento com 100 % com composto orgânico. Os maiores teores de Mn disponíveis no substrato, foi 149,6 mg.kg⁻¹ no o tratamento com 100% de composto orgânico e

124,7 mg.kg⁻¹ no que continha 100 % com lodo biológico. Os valores de Cu encontrados nos tratamentos de composto orgânico e lodo biológico foram abaixo de 0,87 mg.kg⁻¹. O maior valor de Zn encontrado nos tratamentos foi 7,59 mg.kg⁻¹. O Cr apresentou o maior valor para o tratamento com 100 % de composto sendo 0,87 mg.kg⁻¹, e para os tratamentos com lodo biológico este elemento não foi detectado.

Os valores disponíveis de metais pesados encontrados nos substratos estão muito abaixo dos níveis informados por Santos (2005), onde as concentrações normais de metais a serem encontradas nos solo são: 1 – 900 mg Zn.kg⁻¹, 2 - 250 mg Cu.kg⁻¹, 0,01 – 2,0 mg Cd.kg⁻¹, 2 - 750 mg Ni.kg⁻¹, 2 - 300 mg Pb.kg⁻¹. De acordo com o mesmo autor, para as concentrações críticas no solo atingirem níveis de toxidez, os valores encontrados teriam que ser superiores aos seguintes valores: 70 - 400 mg Zn.kg⁻¹, 60 - 125 mg Cu.kg⁻¹, 3,0 – 8,0 mg Cd.kg⁻¹, 100 mg Ni.kg⁻¹, 100 - 400 mg Pb.kg⁻¹.

Um estudo realizado por Silva (2006), onde utilizava lodo de esgoto das cidades de Barueri e Franca para cultivo de plantas, os valores encontrados foram: 54.181 - 33.793 mg Fe.kg⁻¹, 429,5 – 349,3 mg Mn.kg⁻¹, 364,4 – 199,6 mg Pb.kg⁻¹, 518,4 – 54,7 mg Ni.kg⁻¹, 1.058 – 239,8 mg Cu.kg⁻¹, 2.821 – 1.230 mg Zn.kg⁻¹ e 823,8 – 633,8 mg Cr.kg⁻¹. Segundo o autor estes valores são característicos de lodo de esgoto, apresentando em alguns casos níveis críticos para aplicação no solo.

A baixa concentração de metais pesados encontrado no composto orgânico e no lodo biológico é característica da indústria de celulose e papel. Estes elementos estão presentes na estrutura da madeira e em alguns são provenientes de corrosões em tubulações na indústria.

Metais pesados nas plantas

A Tabela 4.9 apresenta os resultados médios de três repetições para concentrações de metais nas amostras foliares. Os resultados encontrados nas

plantas do tratamento com 100 % de composto orgânico apresentaram os maiores valores entre todos os tratamentos propostos.

Tabela 4.9 – Teores de metais observados dentro de cada tratamento das plantas.

Dosagem	Fe	Mn	Pb	Ni	Cu	Zn	Cr
Composto Orgânico $\mu\text{g.kg}^{-1}$							
100 % solo	sm	sm	sm	sm	sm	sm	sm
100 % Composto Org.	5,581 a	0,101 bc	0,019 ab	0,104 a	0,006 a	0,207 a	0,186 a
75 % Comp. + 25% solo	0,536 d	0,019 d	0,004 c	0,005 b	0,003 bc	0,025 b	0,004 b
50 % Comp. + 50% solo	0,432 d	0,019 d	0,004 bc	0,001 b	0,002 c	0,027 b	0,002 b
25 % Comp. + 75% solo	0,481 d	0,026 d	0,008 bc	0,001 b	0,002 c	0,027 b	0,002 b
10 % Comp. + 90% solo	1,470 c	0,064 c	0,006 bc	0,003 b	0,004 abc	0,026 b	0,005 b
1 % Comp. + 99 % solo	sm	sm	sm	sm	sm	sm	sm
Lodo Biológico $\mu\text{g.kg}^{-1}$							
100 % solo	sm	sm	sm	sm	sm	sm	sm
100 % Lodo Biológico	sm	sm	sm	sm	sm	sm	sm
75 % Lodo + 25% solo	sm	sm	sm	sm	sm	sm	sm
50 % Lodo + 50% solo	0,354 d	0,129 ab	0,015 abc	0,003 b	0,003 abc	0,033 b	0,004 b
25 % Lodo + 75% solo	1,898 c	0,156 a	0,023 a	0,007 b	0,005 ab	0,030 b	0,010 b
10 % Lodo + 90% solo	3,002 b	0,123 ab	0,015 abc	0,013 b	0,005 abc	0,048 b	0,026 b
1 % Lodo + 99 % solo	sm	sm	sm	sm	sm	sm	sm

Médias seguidas pelas mesmas letras na vertical não diferem estatisticamente a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

sm = Massa seca foliar insuficiente, abaixo de 0,1 g.

A capacidade das plantas de acumular elevados níveis de metais pesados (hiperacumulação) foi observada em várias espécies. Esta hiperacumulação depende de vários fatores como: a capacidade genética e a biodisponibilidade do metal pela planta (Blaylock et al., 1997).

Segundo Santos (2005), a *B. juncea* é uma das espécies herbácea de plantas mais tolerantes ao excesso de metais pesados no solo, portanto pode ser empregada ao processo de recuperação de áreas contaminadas por metais. Conforme Epstein et al. (1999), esta espécie de planta tem crescimento rápido, alta produção de biomassa e a sua capilaridade pode acumular e translocar concentrações de metais acima de $10.000 \text{ mg.kg}^{-1}$ em baixas quantidades de solo.

Os resultados de metais pesados encontrados na massa seca das amostras foliares foram muito inferiores aos valores reportados por Santos (2005), que descrevem os valores normais à serem encontrados em plantas como: 1 – $400 \text{ mg Zn.kg}^{-1}$, 5 - 20 mg Cu.kg^{-1} , 20 - $300 \text{ mg Mn.kg}^{-1}$, 0,1 – $2,4 \text{ mg Cd.kg}^{-1}$, 0,02 - 5 mg Ni.kg^{-1} , 0,2 - 20 mg Pb.kg^{-1} , e os valores críticos para as plantas como:

100 – 400 mg Zn.kg⁻¹, 20 - 100 mg Cu.kg⁻¹, 300 - 500 mg Mn.kg⁻¹, 5 – 30 mg Cd.kg⁻¹, 10 - 100 mg Ni.kg⁻¹, 30 - 300 mg Pb.kg⁻¹.

Segundo Tsutiya (1999), os teores de metais pesados podem variar muito conforme as partes das plantas, espécies e idade fisiológica.

É importante salientar que o consumo de plantas com elevados teores de metais pesados é uma fonte de contaminação para o homem. Os teores de metais pesados das plantas cultivadas em solos não contaminados não causam problemas à saúde humana.

4.4 Conclusões

Os valores de OX do composto orgânico estão abaixo dos limites permissíveis pela Comunidade Européia (500 mg.kg⁻¹). O maior valor de EqT encontrado, foi de 0,4 ng EqT.kg⁻¹ no composto orgânico, bem abaixo do valor de referência mais restritivo, adotado no Canadá e Alemanha, que é de 17 ng EqT.kg⁻¹ para aplicação de composto orgânico no solo para uso agrícola. Não foram encontrados valores de dioxinas e furanos nas plantas.

As concentrações de metais pesados encontrados nas amostras dos substratos estão inferiores aos limites máximos, propostos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Em relação às concentrações de metais pesados encontrados nas plantas, estas estão abaixo de limites apresentados por autores, como limites críticos.

Sendo assim, com estes resultados não há nenhuma restrição para a utilização do composto orgânico produzido a partir da casca de eucalipto e lodo biológico. Com isso, não há limite para utilização do composto orgânico no solo, como foi observado no tratamento com 100 % de composto orgânico.

Para a utilização do lodo biológico bruto (como utilizado neste trabalho) existem restrições, verificando-se assim a necessidade da estabilização do lodo ou a adição do mesmo no processo de compostagem junto à casca de eucalipto, para aplicação no solo.

4.5 Referências Bibliográficas

BLAYLOCK, M. J., SALT D. E., DUSHENKOV, S., ZAKHROVA, O., GUSSMAN C., KAPULNIK Y., ENSLEY, B. D., RASKIN, I. Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents. **Environ. Sci. Technol.** v.31. 1997.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) e Empresa brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa). CIRCULAR TÉCNICA Nº 03 – **Recomendações Técnicas para o Uso Agrícola do Composto de Lixo Urbano no Estado de São Paulo**. Campinas – SP, Novembro, 2002.

EMBRAPA – CNPS. **Manual de métodos de análises do solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro:EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. 247p.

EMBRAPA – CNPS; Embrapa Informática Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

EPSTEIN, A. L., GUSSMAN, C. D., BLAYLOCK, M. J., YERMIYAHU, U., HUANG, J. W., KAPULNIK, Y., ORSER, C. S. EDTA and Pb-EDTA accumulation in *Brassica juncea* grown in Pb-amended soil. **Plant and Soil**. v.208, 1999.

GROENEVELD, Elisabeth. HEBERT, Marc. **Dioxins, furans, PCBs and PAHs in eastern Canada compost**. Ministério de Meio Ambiente na Província de Quebec no Canadá. 2003.

LOPES, J. C., RIBEIRO, L. G., ARAÚJO, M. G., BRALDO, M. R. B. S. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.1, 2005.

RIZZARDI, M. A. FLECK, N. G. AGOSTINETTO, D. BALBINOT JR., A. A. **Ação de herbicidas sobre mecanismos de defesa das plantas aos patógenos**. Ciência Rural, Santa Maria, v.33, n.5, p.957-965, set-out, 2003.

SANTOS, G. C. G. dos. **Comportamento de B, Zn, Cu, Mn e Pb em solo contaminado sob cultivo de plantas e adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes do efeito tóxico**. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

SEPA - Swedish EPA. **Compost Quality and Potential for Use**. AFR- 154, Stockholm, Sweden, 1997.

SILVA, C. A., RANGEL, O. J. P., DYNIA, J. F., BETTIOL, W., MANZATTO, C. V. Disponibilidade de metais pesados para milho cultivado em latossolo sucessivamente tratado com lodos de esgoto. Seção IX – Poluição do solo e qualidade ambiental. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.30 p.353-364, 2006.

TSUTIYA, M. T. Metais pesados: o principal fator limitante para o uso agrícola de biossólidos das estações de tratamento de esgotos. In: XX Congresso da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** XX Congresso da ABES, 1999.

USEPA – United States Environmental Protection Agency. **The national dioxin study.** Tiers 3, 5, 6 and 7, EPA 440/4-87-003, Office of Water Regulations and Standards, Washington. D.C., September, 1987.

USEPA. **Method 8290.** Polychlorinated dibenzodioxins (PCDDs) and polychlorinated dibenzofurans (PCDFs) by high resolution gas chromatography/high resolution mass spectrometry (HRGC/HRMS), Office of Solid Waste, USEPA, Washington, DC. 1994a.

USEPA, **Method 1613.** Tetra-through octa-chlorinated dioxins and furans by isotopic dilution HRGC-HRMS, Washington, DC. 1994b.

WHO. World Health Organization.. **Environmental Health Criteria 17. International Programme on Chemical Safety.** Geneva, 1981. Disponível em: <http://incem.org/documents/ehc>.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A necessidade de se criar uma alternativa de tratamento e disposição dos resíduos sólidos ambientalmente correta e que seja economicamente viável é um desafio constante das empresas geradoras de resíduos. Na Cenibra a maioria dos resíduos gerados apresenta características orgânicas. Assim, o processo de compostagem se torna interessante, e vem sendo adotado há quase 10 anos. Atualmente, a empresa utiliza o composto orgânico produzido a partir da casca de eucalipto e lodo biológico, em seus plantios florestais até em um raio de 50 km da fábrica (se tornando viável economicamente), mas não consegue absorver todo o composto produzido. O estoque deste material vem aumentando nos últimos anos, e surgiu a necessidade de registrar este produto como “fertilizante orgânico”, junto ao Ministério da Agricultura, para se poder comercializar ou fazer doações a terceiros deste produto, minimizando este impacto ambiental.

Para a obtenção do registro, o Decreto nº 4954 de 14/01/2004 do Ministério da Agricultura, na qual dispõe da inspeção e fiscalização na produção e comercialização de fertilizantes, estabelece no Art. 16 e 17, a necessidade da pesquisa para se estudar a presença de agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem e metais pesados tóxicos, no produto a ser registrado. Além disso, existe a Instrução Normativa nº 23 de 31/08/2005 do Ministério da Agricultura, na qual classifica e estabelece os limites para o registro do “fertilizante orgânico”.

Atendendo as exigências do Decreto nº 4954, verificou-se através deste trabalho, que o composto orgânico, produzido a partir da casca de eucalipto e lodo biológico, não apresenta restrições ambientais e sanitárias, para sua aplicação na agricultura. No entanto, existem algumas restrições quanto à utilização do lodo biológico “in natura”, devido à presença de patógenos como *Salmonella* e ovos viáveis de helmintos, com números acima da legislação do CONAMA nº 375 de 29/08/2006 do Ministério do Meio Ambiente.

Com base nos resultados das análises microbiológica, verificou-se a importância e necessidade do processo de compostagem como forma de tratamento e reaproveitamento dos resíduos sólidos.

Observou-se também que o tempo de compostagem de 90 dias foi suficiente para a eliminação dos patógenos, mas não suficiente para a completa mineralização do composto orgânico, necessitando de mais tempo de compostagem, para atender a Instrução Normativa nº 23 em termos da relação C:N e umidade.

Em termos ambientais, constatou-se que as concentrações de metais pesados estão abaixo da legislação atual CONAMA nº 375 para aplicação na agricultura e os traços de organoclorados no composto orgânico estão abaixo dos limites estabelecidos pela Comunidade Européia, embora no lodo biológico tenham sido observadas concentrações acima deste limite. Os traços de dioxinas e furanos encontrados no composto orgânico e lodo biológico foram muito abaixo do estabelecido no Canadá e Alemanha, para aplicação na agricultura. Quando observado os resultados nas amostras foliares de *Brassica juncea*, não foram detectados traços de dioxinas e furanos.

Com base nos tratamentos experimentais com dosagens de composto orgânico e lodo biológico, observou-se que não há limites da utilização do composto orgânico na agricultura em geral. O tratamento utilizando 100 % de composto apresentou o melhor desenvolvimento e nenhuma restrição ambiental e sanitária. A aplicação direta do lodo biológico no solo poderá causar contaminação devido à presença de patógenos, necessitando assim, de sua estabilização através do processo de compostagem.