Campus de São Carlos

**AVALIAÇÃO DO COMPOSTO DE RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS NO CULTIVO DE
CENOURA**

Alexandre dos Santos Carvalho

Orientador: Prof. Dr. Durval Rodrigues de Paula Junior

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: 18 / 08 / 00

Ass.: *Am*

AVALIAÇÃO DO COMPOSTO DE RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS NO CULTIVO DE
CENOURA

Alexandre dos Santos Carvalho

Orientador: Prof. Dr. Durval Rodrigues de Paula Junior

AVALIAÇÃO DO COMPOSTO DE RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS NO CULTIVO DE
CENOURA

Alexandre dos Santos Carvalho

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia
de São Carlos da Universidade de São Paulo, como
parte dos requisitos para obtenção do título de
Mestre em Hidráulica e Saneamento.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Durval Rodrigues de Paula
Junior

São Carlos
2000

Classe.	TESE
Curr.	1211 ✓
Tombo	T0166/00

st 1098888

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

C331a Carvalho, Alexandre dos Santos
Avaliação do composto de resíduos sólidos urbanos no
cultivo de cenoura / Alexandre dos Santos Carvalho. --
São Carlos, 2000.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São
Carlos-Universidade de São Paulo, 2000.

Área: Hidráulica e Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Durval Rodrigues de Paula
Junior.

1. Resíduo sólido. 2. Compostagem. 3. Metal pesado.
4. Biodisponibilidade. I. Título.

Dedico este trabalho a minha amada esposa Iracema e ao meu filho Bruno que, pelo simples fato de existirem, já me tornam o homem mais feliz do mundo.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela bolsa de estudo concedida.

Ao Professor Dr. Durval Rodrigues de Paula Junior pelo incentivo e confiança dispensados durante a realização deste trabalho.

Aos químicos Gilberto Batista de Souza, Carlos Henrique Garcia e Lourdes Mitsuko Sumi pela enorme atenção, pelos inúmeros conselhos técnicos e pelas diversas análises realizadas no Laboratório de Solos do CPPSE - EMBRAPA.

Aos funcionários do Laboratório de Saneamento da EESC, Júlio César Trofino, Paulo Fragiácomo e pelas análises realizadas e apoio prestados.

Às técnicas Maria Helena Racy e Rosilene Aparecida Alves pelas análises realizadas no material vegetal e pela atenção prestada e a Telma Blanco pela permissão de uso do laboratório de análises do Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais da Universidade Federal de São Carlos e da Universidade Estadual Paulista CCDM - UFSCar/UNESP, situado na Cidade de São Carlos.

Às secretários Pavi e Sá, da Pós-Graduação do SHS pela consideração e paciência durante os três últimos anos.

Aos meus amigos Alessandra Ramos Pinto, Luís Altivo Carvalho Alvim, Cátia Araujo Farias e Renato Santos Barbieri pela consideração, respeito e prestatividade demonstrados.

Ao Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA) pela concessão de suas instalações para o desenvolvimento da pesquisa.

Aos meus ex-alunos do 2º grau que sempre demonstraram confiança no meu saber.

Em especial ao Sr. Domingos Petrucelli, experiente agricultor, pelos conselhos dados durante o cultivo das cenouras e pelo enorme trabalho dedicado ao cuidar dos canteiros durante o ano de 1998.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE ABREVIATURAS	x
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xi
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	01
2. OBJETIVO.....	04
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	05
3.1 - Compostagem.....	05
3.2 - Aplicação do Composto.....	09
3.3 - Metais pesados.....	16
3.4 - Metais pesados e o comportamento nos organismos.	20
3.4.1 - Cádmio.....	20
3.4.2 - Chumbo.....	21
3.3.3 - Níquel.....	22
3.4.4 - Crômio.....	24
3.4.5 - Cobre.....	25
3.4.6 - Zinco.....	26
3.5 - Classificação dos elementos presentes no solo.....	28
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
4.1 - Composto.....	34
4.1.1 - Amostragem do Composto.....	37
4.1.2 - Caracterização do Composto.....	38

4.2 - O Solo.....	39
4.2.1 - O Tipo de Solo Utilizado e Seu Preparo	39
4.2.2 - Amostragem Prévia do Solo.....	40
4.2.3 - Caracterização Prévia do Solo.....	41
4.3 - Aplicação do Composto.....	41
4.4 - Cultivo da Cenoura.....	43
4.4.1 - Espécie Vegetal.....	43
4.4.2 - Semeadura.....	43
4.4.3 - Tratos Culturais.....	46
4.4.3.1 - Primeiro Cultivo.....	46
4.4.3.2 - Segundo Cultivo.....	47
4.4.3.3 - Terceiro Cultivo.....	48
4.4.4 - Colheita.....	48
4.5 - Amostragem de Solo Após Cada Colheita.....	50
4.6 - Metodologias das Análises de Solo Após Cada Colheita.....	52
4.6.1 - Análises de Rotina.....	52
4.6.2 - Metais Totais.....	52
4.6.3 - Metais Disponíveis.....	53
4.7 - Metodologias das Análises das Raízes das Cenouras.....	54
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	56
5.1- Características do composto.....	56
5.2 - Propriedades iniciais do solo.....	58
5.2.1 - Potencial hidrogeniônico.....	58
5.2.2 - Resultados dos teores de M.O. , P , K , Ca e Mg em relação às faixas interpretativas para fins de fertilização.....	58
5.2.2.1 - Teor de matéria orgânica.....	61
5.2.2.2 - Concentração de Fósforo.....	61

5.2.2.3 - Concentração de Potássio.....	61
5.2.2.4 - Concentração de Cálcio.....	61
5.2.2.5 - Concentração de Magnésio.....	61
5.2.2.6 - Capacidade de Troca Catiônica.	62
5.3 - Resultados das Análises de Rotina.....	63
5.3.1 - Potencial hidrogeniônico e seus efeitos.....	64
5.3.2 - Teor de Matéria Orgânica (M.O)	64
5.3.3 - Teor de Fósforo.....	65
5.3.4 - Teor de Potássio.....	66
5.3.5 - Teor de Cálcio.....	66
5.3.6 - Teor de Magnésio.....	66
5.3.7 - Capacidade de Troca Catiônica.....	67
5.4 - Teores Totais e Disponíveis de Metais nas Amostras de Solo.....	67
5.4.1 - Teores de Zinco Total e Disponível.....	69
5.4.2 - Teor de Chumbo Total e Disponível.....	71
5.4.3 - Teor de Níquel Total e Disponível.....	73
5.4.4 - Teor de Cobre total e Disponível.....	74
5.4.5 - Teor de Cádmio Total e Disponível.....	76
5.4.6 - Teor de Crômio Total e Disponível.....	76
5.5 - Teor de Metais nas Raízes das Cenouras por ICP-AES.....	78
5.6 - Índices da Produção de Cenouras por Canteiro e Colheita e suas Relações com os Teores de Metais.....	81
5.6.1 - Taxa Mortalidade das Mudanças e Teor Disponível dos Metais.....	82
5.6.2 - Taxa de Mortalidade das Mudanças e Teor Total dos Metais.	83
5.6.3 - Taxa de Mortalidade das mudas e Teor de Metais nas raízes das Cenouras.....	84

5.6.4 - Massa Total das Raízes das Cenouras Colhidas e Teor Disponível dos Metais no Solo.....	84
5.6.5 - Massa Total das Raízes das Cenouras Colhidas e Teor Total dos metais.....	85
5.6.6 - Massa Total das Raízes das Cenouras Colhidas e Teor de Metais nas Raízes das Cenouras.....	86
6. CONCLUSÕES.....	87
7. RECOMENDAÇÕES.....	88
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 - Sistema SANECON (modificado) usado na cidade de Araraquara.....	08
FIGURA 3.2 - Efeito da concentração dos elementos essenciais sobre as plantas.....	33
FIGURA 3.3 - Efeito da concentração dos elementos não-essenciais sobre as plantas	33
FIGURA 4.1 - Pátio de recepção.....	34
FIGURA 4.2 - Peneiramento de 3 polegadas.....	35
FIGURA 4.3 - Leiras de compostagem.....	35
FIGURA 4.4 - Peneiramento de 1 e 0,5 polegada.....	36
FIGURA 4.5 - Composto pronto para ser vendido.....	36
FIGURA 4.6 - Aspecto do composto utilizado.....	37
FIGURA 4.7 - Posicionamento dos canteiros.....	40
FIGURA 4.8 - Canteiros 4 e 3 (da esquerda para a direita)	42
FIGURA 4.9 - Canteiros 2 e 1 (da esquerda para a direita)	42
FIGURA 4.10 - 1 terra / 1 areia grossa / 1 composto.....	45
FIGURA 4.11 - Mistura utilizada para a prévia adaptação das mudas de cenoura ao composto.....	45
FIGURA 4.12 - Emergência da plântulas.....	47
FIGURA 4.13 - Canteiros 2 e 1 após 115 dias da semeadura.....	49
FIGURA 4.14 - Produção de cenouras por canteiros da 2ª colheita.....	49
FIGURA 4.15 - Fluxograma do tratamento das amostras de solo após cada colheita.....	51
FIGURA 5.1 - Teores Totais de Zinco nas Amostras de Solo por Canteiro e Colheita.....	70
FIGURA 5.2 - Teores Disponíveis de Zinco nas Amostras de Solo por Canteiro e Colheita.....	71
FIGURA 5.3 - Teores Totais de Chumbo nas Amostras de Solo por Canteiro e colheita.	72

FIGURA 5.4 - Teores Disponíveis de Chumbo nas Amostras de Solo por Canteiro e Colheita.....	72
FIGURA 5.5 - Teores Totais de Níquel nas Amostras de Solo por Canteiro e Colheita.....	73
FIGURA 5.6 - Teores Disponíveis de Níquel nas Amostras de Solo por Canteiro e Colheita.....	74
FIGURA 5.7 - Teores Totais de Cobre nas Amostras de Solo por Canteiro e Colheita.	75
FIGURA 5.8 - Teores Disponíveis de Cobre nas Amostras de Solo por Canteiro e Colheita.....	76
FIGURA 5.9 - Teores Totais de Crômio nas Amostras de Solo por Canteiro e Colheita.	77
FIGURA 5.10 - Teores de Cobre nas Amostras das Raízes de Cenoura, na base seca, por Canteiro e Colheita.....	80
FIGURA 5.11 - Teores de Crômio nas Amostras das Raízes de Cenoura, na base seca, por Canteiro e Colheita.....	80
FIGURA 5.12 - Teores de Zinco nas Amostras das Raízes de Cenoura, na base seca, por Canteiro e Colheita.....	81
FIGURA 5.13 - Taxa de Mortalidade das Mudas de Cenouras por Canteiro e Colheita.....	82
FIGURA 5.14 - Massa Total das Raízes das Cenouras Colhidas por Canteiro e Colheita.....	84

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - Produção de batatas.....	10
TABELA 3.2 - Efeito da aplicação do lodo na concentração de metais no tecido comestível da Cenoura (valores relatados na base seca a 80°C)	13
TABELA 3.3 - Propriedades físico-químicas dos Metais.....	17
TABELA 4.1 - Parametros de caracterização do composto.	37
TABELA 4.2 - Parâmetros da caracterização prévia do Solo.....	40
TABELA 5.1 - Resultados da caracterização do composto.....	57
TABELA 5.2 - Classificação de qualidade de composto e limites para conteúdos de metais pesados em ppm ou mg.Kg ⁻¹	58
TABELA 5.3 - Faixas interpretativas para fins de fertilização.....	59
TABELA 5.4 - O significado dos valores de alguns parâmetros do solo.....	60
TABELA 5.5 - Resultados da caracterização prévia do solo.....	60
TABELA 5.6 - CTC efetiva.....	62
TABELA 5.7 - Resultados das análises de rotina do solo após a 1ª Colheita.....	63
TABELA 5.8 - Resultados das análises de rotina do solo após a 2ª Colheita.....	63
TABELA 5.9 - Resultados das análises de rotina do solo após a 3ª Colheita.....	64
TABELA 5.10 - Teores totais de metais nas amostras de solo após a 1ª Colheita.....	67
TABELA 5.11 - Teores totais de metais nas amostras de solo após a 2ª Colheita.....	68
TABELA 5.12 - Teores totais de metais nas amostras de solo após a 3ª Colheita....	68
TABELA 5.13 - Metais disponíveis (extração com EDTA) 1ª colheita.....	68
TABELA 5.14 - Metais disponíveis (Extração com EDTA) 2ª colheita.....	69
TABELA 5.15 - Metais disponíveis (Extração com EDTA) 3ª colheita.....	69
TABELA 5.16 - Teor de metais nas raízes cenouras por ICP-AES.....	79
TABELA 5.17 - Resultados da produção das raízes de cenouras.....	81

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	-Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEAGESP	-Companhia de Entrepósitos e Armazens Gerais do Estado de São Paulo
CPPSE/EMBRAPA	-Centro de Pesquisa de Pecuária do Sudeste/ Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
CTC	-Capacidade de troca catiônica
EAA	-Espectrofotômetro de Absorção Atômica
ICP-AES	-Espectrômetro de Emissão Atômica com Plasma Induzido
M.O	-Matéria orgânica
NBR	-Norma Brasileira Registrada
RSU	-Resíduo Sólido Urbano
SNLCS (1960)	-Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo

LISTA DE SÍMBOLOS

As	- Arsênio
B	- Boro
Ca	- Cálcio
Cd	- Cádmio
Cr	- Cromo
Cu	- Cobre
Co	- Cobalto
CaCl ₂	- Cloreto de Cálcio
emg	- equivalente miligrama
F	- Flúor
g . cm ⁻³	- Grama por centímetro cúbico
g/dm ³	- Grama por decímetro cúbico
HCl	- Ácido Clorídrico
Hg	- Mercúrio
HNO ₃	- Ácido Nítrico
H ₂ SO ₄	- Ácido Sulfúrico
in	- Polegadas
K	- Potássio
Mg	- Magnésio
me	- miliequivalente
mg.dm ⁻³	- miligrama por decímetro cúbico
mg.Kg ⁻¹	- miligramas por quilogramas
mg/Kg	- miligramas por quilogramas
µg.g ⁻¹	- microgramas por gramas
mmolc.dm ⁻³	- milimol de carga por decímetros cúbicos
mol.L ⁻¹	- Mol por litros
N	- Nitrogênio
Ni	- Níquel

P	- Fósforo
Pb	- Chumbo
pH	- Potencial Hidrogeniônico
ppm	- Partes por milhão
t/ha	- Toneladas por hectare
Se	- Selênio
Zn	- Zinco

RESUMO

O destino e a utilização da imensa quantidade de resíduo sólido produzida nas cidades devem ser regulados por critérios rigorosamente científicos, desta forma, a aplicação no solo do composto produzido a partir deste material deve vir precedida de pesquisas que demonstrem a viabilidade ou não do seu uso. Neste trabalho utilizou-se o composto no cultivo da cenoura e analisou-se alguns parâmetros do composto, do solo e das cenouras, quantitativa e qualitativamente, para obter subsídios suficientes para o uso responsável e adequado deste tipo de resíduo na agricultura. Desta forma, com os resultados obtidos através das avaliações dos teores totais e disponíveis de metais (Zn, Pb, Ni, Cu, Cd e Cr) nas amostras de solo e nas raízes das cenouras, pode-se verificar a viabilidade da aplicação do composto para o cultivo da cenoura, considerando que não houve indícios de que o teor de qualquer metal nas raízes tenha sido suficientemente alto para trazer qualquer dano a saúde de quem as consome, entretanto o aumento da mortalidade das mudas relacionou-se diretamente com a taxa de aplicação do composto evidenciando um aspecto negativo da sua aplicação.

Palavras-chave: resíduo sólido; compostagem; metal pesado; biodisponibilidade.

ABSTRACT

The destination and the use of the immense amount of municipal solid wastes should be strictly regulated by scientific approaches. Taking that into consideration, the application in the soil of the compost produced from this residue should be preceded of studies to prove its viability. In this work, the compost was used in the cultivation of carrot. Some parameters of the compost, soil and carrots were analysed quantitatively and qualitatively to obtain subsidies for the responsible and appropriate use of this material in the agriculture. The viability of compost application was verified, when cultivating carrots, by evaluating the total amount of available metals (Zn, Pb, Ni, Cu, Cd and Cr) in the soil compost and carrot roots, because there were no indications of sufficiently high traces of metals in the roots to cause any harm to human health. However, the increase of the plants' mortality was directly related with the compost application rate, thus evidencing a negative aspect of its use.

Keywords: solid waste; composting; heavy metal; bioavailability

1 - INTRODUÇÃO

Em um passado não muito distante a produção de resíduos era de algumas dezenas de Kg/hab.ano, atualmente países altamente industrializados, como os Estados Unidos, produzem mais de 700Kg/hab.ano. No Brasil, segundo **BIDONE (1999)**, o valor médio verificado nas cidades mais populosas é da ordem de 180Kg/hab.ano. Desta forma, cada pessoa nas cidades mais populosas do Brasil produz em média, meio quilo de lixo por dia. Mas comporta-se, em geral, como se nada tivesse com isso, como se lixo domiciliar fosse problema exclusivo do poder público.

As áreas urbanas brasileiras produzem hoje mais de 100 mil toneladas diárias de lixo, das quais se coletam cerca de 90 mil. Juntamente com os aterros, esse serviço tem um custo que já se aproxima de R\$ 5 milhões/dia, R\$ 1,5 bilhão/ano.

Segundo levantamento realizado em 1998 pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, apenas 27 municípios (4,2%) manipulam de forma segura o lixo. Embora a maior parte seja constituída de matéria orgânica, há no Estado apenas 23 usinas de compostagem para aproveitá-la. Dessas, só 11 estão em operação e, mesmo assim, metade dos resíduos tratados não tem qualidade adequada, isto ocorre porque, além das usinas terem capacidade limitada, normalmente não é feita a coleta seletiva, o que aumenta o desperdício e reduz a qualidade do produto final. A separação posterior é difícil e imperfeita.

Em diversas cidades brasileiras, a quantidade de matéria orgânica ultrapassa os 45% da composição (**GROSSI, 1993**): São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Manaus, entre outras. É a respeito da utilização desta parcela que será dirigida toda atenção deste trabalho.

Qualquer composto orgânico de origem natural, isto é, sintetizado por organismos vivos é, também, decomposto por atividade de organismos vivos. Este princípio decorre da necessidade que existe de

todos os elementos formadores de matéria viva serem reciclados, isto é, serem devolvidos ao meio, para servirem a novas sínteses.

O resíduo sólido urbano produzido é formado por diversos tipos de materiais e, entre eles, a matéria orgânica, de origem natural, passível de sofrer biodegradação.

Para a utilização da matéria orgânica do lixo, o processo comumente utilizado é a compostagem. Através do tratamento da fração orgânica do lixo, obtém-se um material com características próximas ao do húmus, que é usado como condicionador do solo e que é capaz de melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, ou seja, melhora sua estrutura, areja solos argilosos e agrega os arenosos; aumenta a capacidade de retenção de água; atenua as variações de temperatura; armazena nutrientes; dissolve calcários e fosfatos; associa-se a micronutrientes; aumenta a vida do solo; favorece os rizóbios e, finalmente, aumenta a resistência das plantas às pragas e doenças, além disso, segundo **KIEHL (1998)** não se pode referir à matéria orgânica humificada apenas como condicionadora do solo, já que essa possui, também, importante valor como fornecedora de elementos essenciais à vida vegetal.

Apesar de todas as vantagens da utilização da fração orgânica do lixo, sabe-se que este é formado por uma grande diversidade de constituintes (em virtude de sua origem) e que nem todos serão benéficos às culturas e conseqüentemente, ao homem, depende, pois, de como for usado.

O solo tem sido considerado um destino natural dos resíduos, seja na forma de composto ou não. Assim sendo, é necessário aprofundar o conhecimento das interações que existem entre os constituintes desses resíduos e o solo, particularmente quando os resíduos estão contaminados por substâncias tóxicas como metais pesados e que apresentam características cumulativas sobre o ecossistema.

A crescente aplicação de composto de lixo urbano na agricultura como fonte de nutrientes ou, ainda, como alternativa para a

disposição de resíduos, pode provocar efeitos negativos sobre o meio ambiente, com a liberação de metais pesados para o solo e a transferência destes para a cadeia alimentar através das plantas, podendo trazer consequências indesejáveis à saúde humana.

O uso de alguns adubos minerais ou orgânicos pode levar a um aumento no teor de diversos elementos químicos no solo, tanto na fase sólida quanto em solução, de onde passariam à planta e desta aos animais e aos homens. Resta saber em que proporção se dão essas transferências e o que poderão representar para a saúde animal e humana, bem como, o que fazer para evitar uma eventual acumulação excessiva. Nesse sentido, uma avaliação do grau de acumulação de metais pesados em algumas culturas e a sua disponibilidade no solo, antes e depois da aplicação de um composto, pode ser de grande interesse.

Como as plantas estão entre os principais meios reguladores da transferência dos metais para a cadeia alimentar, torna-se importante a avaliação de qual parte dos metais pesados presentes no solo é, efetivamente, disponível para a planta. Decidiu-se, no presente trabalho, analisar o plantio da cenoura, por esta representar uma das principais hortaliças comercializadas pela CEAGESP e ser, constantemente, recomendada pelos médicos para alimentação de crianças e pessoas anêmicas e , além disso, habitualmente se consome esta raiz com a casca.

2 - OBJETIVO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar os possíveis efeitos da biodisponibilidade de alguns metais pesados (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn), provenientes da aplicação de composto de resíduo sólido urbano sobre o solo, no desenvolvimento e na produção da *Daucus Carota* (cenoura).

3 - REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Compostagem

Segundo **TINOCO (1999)**, as primeiras tentativas de compostagem mecanizada no país foram feitas com as "Células Becaris". Trata-se de um processo anaeróbico de confinamento dos resíduos orgânicos com produção de gases, odores altamente fétidos, larga geração de chorume, excessiva perda de nutrientes da massa de compostagem e grande atração e proliferação de vetores. Em consequência de tudo isto, tem-se a produção de um composto orgânico sem humificação, com toxinas e impróprio para o uso.

Em seguida, veio o advento do Sistema Dano de Compostagem (Biodigestores). Mesmo nos **raros** casos em que o biodigestor funcionava sob critérios técnicos e manutenção que permitisse o correto funcionamento do controle interno da aeração e temperatura da massa de compostagem, o composto produzido era de péssima qualidade. Tudo devido à má interpretação de que o material extraído do bioestabilizador (após 3 a 4 dias de retenção) era composto orgânico. A este grande erro, atribui-se, inclusive, o descrédito a que a compostagem tem hoje no país.

Nesses processos, a fase ativa de degradação não era completada (material sem completa degradação) e a fase de maturação e humificação era negligenciada. Como na maioria dessas instalações, a aeração e o controle da temperatura da massa de compostagem não eram eficientes para o bom encaminhamento do processo, essas instalações apresentavam os mesmos problemas de anaerobiose, odores, vetores, chorumes e consequentemente a produção de um produto final de péssima qualidade. Por tratar-se de tecnologia importada, nem sempre adaptada às características do lixo brasileiro, existia, ainda, o agravante da ineficiência da triagem (inapropriada para o lixo brasileiro), o que contaminava a massa

de compostagem no biodigestor, agravado pela abrasão dos fragmentos metálicos, além de resinas, tintas, etc.

Fatos semelhantes são encontrados em vários outros processos, exemplo do Sistema Triga de Compostagem que preconizava, no país, produzir o composto orgânico em apenas 4 dias. Fato este totalmente absurdo, principalmente para quem tem um mínimo de conhecimento das atividades biológicas e químicas que regem a degradação e humificação dos resíduos orgânicos na compostagem.

É muito difícil obter o composto orgânico, a partir da fração orgânica do lixo urbano, em menos de 60 dias, pois não existem equipamentos que façam composto orgânico, eles apenas auxiliam e aceleram o processo que é **biológico**.

Na **NBR(10703) da ABNT de julho de 1989** que define os termos empregados nos estudos , projetos, pesquisas e trabalhos em geral, relacionados à análise, ao controle e à prevenção da degradação do solo, pode-se encontrar as seguintes definições:

Compostagem - Processo biológico pelo qual a matéria orgânica existente nos resíduos sólidos é digerida pela ação dos microorganismos aeróbios, normalmente já presentes nos próprios resíduos, produzindo o composto orgânico.

Composto Orgânico - Produto obtido pelo processo de compostagem, geralmente utilizado na melhora das propriedades do solo para fins agrícolas.

Segundo **KIEHL (1998)**, "a compostagem é definida como um processo controlado de decomposição microbiana de oxidação e oxigenação de uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido e úmido, passando pelas seguintes fases: uma inicial e rápida de fitotoxicidade ou de composto cru ou imaturo, seguida da fase de semicura ou bioestabilização, para atingir finalmente a terceira fase, a cura, maturação ou, mais tecnicamente, a humificação, acompanhada da

mineralização de determinados componentes da matéria orgânica, quando se pode dar por encerrada a compostagem.

Como resultado da compostagem são gerados dois importantes componentes: sais minerais, contendo nutrientes para as raízes das plantas, e húmus, como condicionador e melhorador das propriedades físicas, físico-químicas e biológicas do solo”.

De acordo com **MELO et al (1997)** a compostagem consiste na oxidação do material orgânico oriundo do lixo por um sucessão rápida de populações microbianas sob condições aeróbias, dando origem a um produto estabilizado, de coloração escura, em que os compostos orgânicos sofreram mineralização e processos de neo-síntese assumindo natureza coloidal, denominado composto.

LIMA (1988) define compostagem de lixo como o ato ou a ação de transformar os resíduos orgânicos através de processos físicos, químicos e biológicos, em uma matéria biogênica mais estável e resistente à ação das espécies consumidoras.

De acordo com **GROSSI (1993)**, o tratamento do lixo pode ser feito por diversos tipos de usinas com características semelhantes e que fazem a princípio, uma reciclagem e, posteriormente, um trabalho que visa facilitar a atividade biológica. São conhecidos e usados nas usinas brasileiras os sistemas: SANECON, DANO, FAIRFIELD-HARDY, TRIGA e alguns outros.

No presente trabalho, o tratamento foi feito pelo sistema SANECOM. Este é um sistema brasileiro bastante simples. O ponto de maior destaque é a catação manual que é formada quase sempre por uma esteira longa de cerca de 20 metros com várias pessoas dispostas nas laterais. O material a ser compostado é peneirado e, em seguida, disposto para maturação em leiras ou pilhas durante um curto período de tempo, variável para cada usina. Uma peneiração no final da maturação é prevista para obtenção de composto fino. O sistema SANECON (Modificado) usado na cidade de Araraquara está ilustrado na **FIGURA 3.1**.

FIGURA 3.1 - Sistema SANECON (modificado) usado na cidade de Araraquara

Atualmente, existe muita controvérsia sobre a utilização, com fins agrícolas, do que se denomina corretivos ou fertilizantes orgânicos procedentes de resíduos de caráter urbano e parece claro que, em face da enorme produção de resíduos urbanos gerados nas grandes cidades, dar-lhes um destino racional mediante sua adição aos solos, apresenta as seguintes vantagens: 1) aumento do conteúdo de matéria orgânica no solo; 2) uma considerável redução do volume de resíduos com o correspondente benefício ambiental, sabendo-se que a fração orgânica está entre 40 e 50% da massa total do RSU produzido.

Entretanto, nem tudo é vantagem no emprego agrícola dos resíduos. Existem problemas derivados dos metais pesados presentes, comumente, em concentrações excessivamente elevadas que são incorporados ao solo.

3.2 Aplicação do Composto

KIEHL (1998) em seu **MANUAL DE COMPOSTAGEM** esclarece que desde os primórdios da agricultura os resíduos orgânicos têm sido utilizados como um meio para aumentar a produção agrícola. Como resíduos orgânicos foram utilizados na, antigüidade, os excrementos humanos e animais e, principalmente, os restos culturais. Mais recentemente tem-se empregado como fertilizante orgânico outros resíduos como o lixo domiciliar, o lodo de esgoto, farinhas de peixe, carne, sangue, tortas vegetais e inúmeros restos como os das indústrias alimentícias de enlatados, de indústrias farmacêuticas (meios de cultura de antibióticos, partes vegetais que sofreram processo de esgotamento por extração de seus princípios ativos), de fábricas de papel e de diversas outras agroindústrias. Todos esses resíduos são excelentes matérias-primas para serem utilizados pelas plantas como fertilizante orgânico. Todavia, muitos desses materiais vêm recebendo tratamentos especiais para produção de

bens de consumo, nos quais são empregados produtos químicos considerados tóxicos, causando preocupações quanto à recomendação de seu uso agrícola na fertilização das terras agricultáveis.

Ainda, segundo **KIEHL (1998)**, o lixo domiciliar e o lodo de esgoto têm sido apontados como os mais prováveis portadores de metais pesados. Existe a preocupação com o emprego na agricultura, de certos materiais orgânicos contendo elementos químicos considerados tóxicos pelo fato de as plantas absorverem, além dos elementos essenciais à sua nutrição, também esses componentes, os quais se deslocam das raízes para as partes comestíveis do vegetal, tornando-se danosos tanto para as próprias plantas como para o homem e os animais que delas se alimentam.

Há experiências em que o emprego de resíduos tem produzido fenômenos adversos em colheitas como consequência das substâncias fitotóxicas incorporadas (**IGLESIAS-JIMÉNES¹ apud HERNANDEZ et al 1992**). Alguns desses problemas têm sido solucionados submetendo os resíduos a processos de fermentação acelerados (compostagem), com os quais se consegue estabilizar a matéria orgânica e reduzir ou eliminar algumas substâncias fitotóxicas (**GARCIA² apud HERNANDEZ et al 1992**).

HERNANDEZ et al (1992) observaram, em um experimento, que os rendimentos alcançados em plantas (alfaces) adubadas com RSU fresco, superavam os de plantas sem adubação em valores de até 60t/ha. No entanto se a dose era aumentada, produzia-se um forte efeito depressivo que poderia ser motivado pela existência de substâncias fitotóxicas que influenciavam, negativamente, a partir de uma certa concentração ou, também, poderia ocorrer que, com o surgimento de uma grande quantidade de microrganismos no solo, como consequência da aplicação dos resíduos frescos, estes competiriam com a planta pelo N do solo, afetando, portanto, negativamente o desenvolvimento das plantas, sem

¹ IGLESIAS JIMENEZ, E. and PEREZ GARCIA, V., 1989. Evaluation of city refuse compost maturity: A review. *Biological wastes*, 27: 115-143.

² GARCIA, C., 1990. Estudio del compostaje de residuos orgánicos. Valoración agrícola. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia.

descartar também o efeito negativo devido a adição ao solo deste resíduo, de aumentar sua temperatura e produzir asfixia radicular. Entretanto, a concentração de N e P das plantas desenvolvidas nos solos corrigidos era superior ao controle em todos os casos. O fato do teor N determinado em plantas, que se desenvolveram em solo corrigido por RSU fresco, permanecer maior que o controle poderia descartar a hipótese de uma competição com os microrganismos por nutrientes. Desta maneira poderia ser confirmada a existência de substâncias fitotóxicas no RSU fresco.

PURVES & MACKENZIE (1973) cultivando, entre outras hortaliças, a batata em solo corrigido por composto de lixo urbano, não detectou diferenças na aparência ou crescimento em qualquer período do cultivo, mas houve um aumento significativo na produção das batatas como resultado deste tratamento com o composto em relação à testemunha, conforme mostrado na **TABELA 3.1**:

TABELA 3.1 - Produção de batatas

Composto (t /ha)	Produção (Kg)
0	8,39
50	9,48
100	9,43

Em geral, os resultados destes ensaios estabeleceram que a adição do composto municipal ao solo, à taxa acima de 100t/ha pode aumentar acentuadamente o conteúdo de metais pesados no solo. Um significativo incremento dos níveis disponíveis de Cu, Zn e B no solo foram observados usando três diferentes grupos de composto municipal em três estações do ano e não pôde haver dúvidas que este tipo de material é uma fonte potencial de metais pesados que podem contaminar o solo. Esta contaminação não é, evidentemente, eliminada pelo lixiviamento, pois estes solos reamostrados por anos seguidos ainda mantinham um significativo

aumento com respeito a todos os elementos estudados e não apresentaram apreciável redução do nível de contaminação.

Ainda, com relação aos elementos estudados, os autores concluíram que era improvável que os vegetais estudados, não exibindo sintomas de toxicidade, pudessem ser inadequados ao consumo humano como resultado de uma única aplicação do composto naquelas taxas. Todavia, repetidas aplicações poderiam acarretar o risco de progressivo crescimento da concentração dos metais pesados no solo.

Em outro experimento de campo, *PETRUZZELLI et al (1989)* aplicaram durante quatro anos, composto de lixo urbano à taxa de 30t/ha/ano com o propósito de avaliar a eventual acumulação de metal pesado no solo e no cultivo do milho. A concentração de Cd nas plantas aumentou particularmente nas raízes de 0,22 $\mu\text{g.g}^{-1}$ até 1,31 $\mu\text{g.g}^{-1}$, a concentração de Zn e Cu aumentou nos grãos, de 26,8 para 35,8 $\mu\text{g.g}^{-1}$ e de 2,4 até 4,2 $\mu\text{g.g}^{-1}$ respectivamente. Um aumento relevante nas raízes foi detectado para Zn, de 34,6 para 146,8 $\mu\text{g.g}^{-1}$. Somente no quarto ano, a concentração de Ni aumentou na porção da raiz enquanto o conteúdo de Pb e Cr, no milho, ficou inalterado com a aplicação do composto. A concentração de metais pesados no solo, determinada por extração, indicou que a extratabilidade mudou com o tempo. Um certo aumento foi encontrado do início ao fim do experimento, particularmente para Zn de 23,3 $\mu\text{g.g}^{-1}$ para 45,1 $\mu\text{g.g}^{-1}$, em forma extraível.

Ao fim dos quatro anos do experimento, os autores enfatizaram, em suas conclusões, o perigo potencial do uso do composto de RSU em solo agrícola, e que deve ser levado em conta por meio de um controle preciso da acumulação pelas culturas e das formas químicas destes elementos no solo.

Estudos da absorção de elementos químicos pelas plantas são de importância primária na avaliação da contaminação ambiental resultante dos metais pesados no solo. No experimento relatado com o cultivo de milho, observou-se que a concentração de Cu, Zn e Cd aumentou nas

plantas de milho após a aplicação do composto, embora a absorção pela planta tenha removido uma porcentagem relativamente pequena dos metais adicionados com o composto.

SHAUER, P.S. et al (1980) cultivando alfaces, cenouras, rabanetes e tomates em solo modificado por lodo de esgoto, obtiveram vários resultados de interesse que são relatados a seguir.

A concentração de metais pesados no lodo de esgoto usado nesse estudo crescia na seguinte ordem $Cd < Ni < Zn < Cu$. Embora a carga total de metais pesados deva ser considerada nas aplicações no solo de lodo de esgoto, as concentrações individuais são, também, de grande importância. As concentrações de Cu e Ni no lodo usado neste estudo foi maior do que é geralmente recomendado para aplicação no solo. Apesar da carga total de Cu ter sido a maior de todos os metais analisados, o tecido comestível da cenoura apresentou uma maior concentração de Zn. Esta preferência por Zn foi verificada para todos os vegetais analisados.

O efeito da aplicação de lodo de esgoto na concentração de metais pesados nos vegetais foi dependente sobretudo da taxa de aplicação do lodo, espécie de planta e o ano em que estes vegetais cresceram. Apesar da produção não ter sido medida neste estudo nenhum sintoma fitotóxico foi observado, mesmo para as plantas que tiveram um aumento significativo em sua concentração de metais.

O efeito da aplicação do lodo na concentração de metais no tecido comestível da cenoura está mostrado na **TABELA 3.2**. A concentração de Cd no tecido vegetal em geral foi aumentada do ano de 76 para 77. O maior aumento ocorreu com brotos de alface e raízes da cenoura que quase dobraram em concentração. À taxa de 60t/ha, a concentração de Cd na cenoura aumentou de 1,4 para 2,4 $\mu g.g^{-1}$ de 1976 para 1977. Isto talvez seja explicado pela oxidação do lodo e o aumento na disponibilidade do Cd com o tempo.

Embora o lodo deste estudo tenha apresentado concentrações de 1500 $\mu g.g^{-1}$ de cobre, maior do que é recomendada para aplicação no

solo (CHANEY apud SHAUER, 1980), a concentração de Cu geralmente aumentou levemente nos vários tecidos das plantas de 1976 a 1977, entretanto houve uma redução de 60 a 75% na concentração de Cu nas raízes das cenouras, indicando que o Cu foi efetivamente excluído do tecido comestível da cenoura (raízes).

TABELA 3.2 - Efeito da aplicação do lodo na concentração de metais no tecido comestível da cenoura (valores relatados na base seca a 80°C) .

Taxa de Lodo (t/ha)	Concentração dos metais em $\mu\text{g.g}^{-1}$			
	Cd	Cu	Ni	Zn
ANO DE 1976.				
0	1,2	10	16	33
20	1,3	13	15	40
60	1,4	11	18	76
L.S.D (0,05)	NS	NS	NS	20
ANO DE 1977				
0	2,3	2	13	39
20	2,7	4	15	51
60	2,4	4	11	59
L.S.D (0,05)	NS	NS	NS	NS

FONTE: SHAUER, P.S. et al (1980)

O valor da concentração de Ni no tecido comestível das plantas geralmente seguiu a seguinte ordem Cenouras>rabanetes>alfaces>tomates. Estas diferenças talvez sejam efeitos das espécies, entretanto, **MITCHELL³ apud SHAUER (1980)** também relatou que a concentração de Ni em raízes excede muito aquela encontrada em brotos ou grãos, o que pode sugerir uma retenção contra a translocação na planta. Embora o tecido da cenoura, neste estudo, contivesse duas ou três vezes a concentração de Ni dos outros vegetais,

³ MITCHELL, G. A., F. T. Bingham, and A. L. Page. 1978. Yield and metal composition of lettuce and wheat grown on soil amended with sewage sludge enriched with cadmium, copper, nickel, and zinc. J. Environ. Qual. 7: 165-171.

nenhum aumento significativo, como resultado dos outros tratamentos de lodo, foram notados.

Durante o ano de 1977, houve uma grande absorção de Ni por todas as plantas, exceto pela cenoura, que sofreu um decréscimo na concentração deste metal. Este comportamento foi similar aos dos outros metais (Cu e Zn) exceto para Cd no qual a concentração quase dobrou.

O Zn acumulou-se no tecido comestível das plantas, em maiores quantidades que todos os outros metais analisados.

Um significativo aumento na concentração de Zn, nos tecidos comestíveis das plantas, foi observado para um aumento no nível de aplicação de lodo durante os dois anos, exceto para rabanetes e cenouras em 1977 (um leve decréscimo de Zn foi observado para rabanetes e cenouras).

A razão Cd/Zn tem mostrado ser muito importante na assimilação de Cd desde que este é absorvido pelas plantas competitivamente com o Zn segundo **CHANEY⁴ apud SHAUER (1980)**. Tem-se sugerido que baixas razões Cd/Zn (<1%) poderiam resultar em toxicidade por zinco antes da acumulação por Cd na cadeia alimentar e tornar-se um problema sério. A razão Cd/Zn no lodo deste estudo foi de 1,3%. Esta razão foi menor do que aquela relatada por **KELLING⁵ apud SHAUER (1980)**, que foi 2,3% para lodo de esgoto.

A média da razão entre Cd e Zn (Cd/Zn) no tecido da cenoura foi de 4%. Este valor é maior que o obtido para as cenouras no trabalho de **DOWDY⁶ apud SHAUER (1980)**; entretanto, o lodo eles utilizaram tinha uma razão menor de Cd/Zn (0,69%) que o lodo usado neste experimento (1,3%). **KELLING et al apud SHAUER (1980)** também relataram baixa razão Cd/Zn no tecido das plantas. No entanto, o referido estudo envolveu

⁴ CHANEY, R. L. 1974. Recommendations for management of potentially toxic elements in agricultural and municipal wastes, p. 97-130. In Factors involved in land application of agricultural and municipal wastes. USDA, ARS, Beltsville, Md.

⁵ KELLING, K. A., D. R. KEENEY, L. M. WALSH, and J.A. RYAN. 1977. A field study of the agricultural use of sewage sludge: III. Effect on uptake and extractability of sludge-borne metals. J. Environ. Qual. 6:352-358.

⁶ DOWDY, R. H., and W. E. LARSON. 1975. The availability of sludge-borne metals to various vegetable crops. J. Environ. Qual. 4:278-282.

forragens e grãos e o pH do solo era aproximadamente 6,0. É visível, neste estudo, que alguns vegetais podem absorver seletivamente grande porcentagem de Cd aplicado em detrimento do Zn, particularmente dentro de condições ácidas do solo. Em acréscimo, a razão Cd/Zn diminui com o aumento da taxa de lodo, entretanto, as razões foram maiores durante o segundo ano do experimento.

3. 3 - Metais Pesados

MELO et al (1997) explica que o termo metal pesado é aplicado a um grupo heterogêneo de elementos, incluindo metais, semimetais e não metais. Segundo MALAVOLTA apud MELO et al (1997), a característica comum destes elementos é possuírem peso específico maior que 5g.cm^{-3} ou número atômico maior que 20. Há autores que consideram $4,5\text{ g . cm}^{-3}$ a densidade mínima para que um elemento seja considerado metal pesado (**GARCIA⁷ et al apud MELO et al, 1997**).

Genericamente, atribui-se a denominação de metal pesado a todo e qualquer elemento tóxico às plantas e animais, incorrendo-se no erro de considerar como metal, o As (semimetal); o F e o Se (ametais); e o Al (metal leve).

KIEHL (1998) explica que os elementos químicos metálicos são classificados em metais leves e metais pesados de acordo com suas densidades (ou massas específicas). Metais considerados leves são os que possuem densidade inferior a $5,0\text{ g.cm}^{-3}$. Metais pesados são aqueles cujas densidades são maiores que $5,0\text{ g.cm}^{-3}$. Há autores que adotam a densidade de $4,5\text{ g.cm}^{-3}$ como limite entre metais leves e pesados. Acontece que tanto metais leves como pesados têm representantes capazes de gerar toxicidade. Entre os elementos químicos que podem oferecer

⁷ GARCIA, C.; HERNANDEZ, T. & COSTA, F. The influence of composting and maturation processes on the heavy-metal extractability from some organic wastes. Biol. Wastes, 31:291-301, 1990.

toxicidade às plantas quando absorvidos em doses elevadas, estão não só os elementos metálicos; como também os semimetálicos e os metalóides ou não-metálicos. Por definição, os metais se caracterizam por possuírem brilho metálico e depositarem-se, pelo efeito da eletrólise, no polo negativo, indicando ter carácter positivo.

DOWDY & VOLK⁸ apud MATTIAZZO-PREZOTTO (1994) esclarecem que, devido ao uso intensivo que nossa sociedade industrial faz de metais, é grande a quantidade dos mesmos que aparece nos seus rejeitos. Entre esses metais merecem destaque Cu, Zn, Cr, Cd, Mn e Pb que juntamente com o Hg são os que têm recebido mais atenção com respeito à acumulação em solos, transporte pelas plantas e contaminação de águas subterrâneas.

Segundo **MATTIAZZO-PREZOTTO (1994)**, como o uso de metais pela indústria é função de suas propriedades físico-químicas, o uso agrícola de resíduos contendo metais deve ser feito com base nas características de seus íons. A **TABELA 3.3** apresenta propriedades físico-químicas dos metais de interesse neste trabalho.

⁸ DOWDY, R.H. & VOLK, V.V. Movement of heavy metals in soils. In: NELSON, D.W.; ELRICK, D. E.; TANJI, K. K. Chemical mobility and reactivity in soil systems. Madison. Soil Science Society of America, 1983. P. 229-40.

TABELA 3.3 - Propriedades Físico-Químicas dos Metais .

<i>Metais</i>	<i>Cd</i>	<i>Pb</i>	<i>Ni</i>	<i>Cr</i>	<i>Cu</i>	<i>Zn</i>
Propriedades	Metal branco, com brilho metálico, bastante mole, dútil e maleável, escurece rapidamente com o ar	Branco azulado pesado, oxida-se rapidamente com o oxigênio do ar tornando-se fosco	Branco prateado, brilhante, muito dútil e maleável.	Metal branco, brilhante, duro e quebradiço.	Metal vermelho dureza 3, na escala de Mohs, muito tenaz e dútil.	Metal branco azulado de brilho forte que diminui em contato com o ar.
Número Atômico	48	82	28	24	29	30
Peso Atômico (u.m.a)	112,41	207,20	58,70	51,996	63,54	65,38
Densidade (20°C, g/cm³)	8,64	11,34	8,9	7,18	8,92	7,14
Ponto de Fusão °C	320,9	327,5	1452	1840	1083	419,4
Ponto de Ebulição °C	767,3	1755	2840	2300	2350	907
Número de Oxidação	2	2 ou 4	0, 2 ou 3	2,3 ou 6	1 ou 2	2

Segundo **KIEHL (1998)**, de uma maneira geral, pode-se dizer que os elementos químicos potencialmente tóxicos são encontrados nos materiais industrializados coloridos: borrachas, tecidos, cerâmicas e porcelanas decoradas, vidros de cor, couros, papéis de propaganda, revistas etc. Os metais pesados são responsáveis pelo colorido dos fogos de artifício, tintas e anilinas, sendo encontrados em produtos de limpeza e sanitários; em muitos dos resíduos industriais como os de fundição,

galvanoplastia, de soldas e caldeamentos, em inseticidas e pesticidas. São, ainda, encontrados no material que dá opacidade às lâmpadas elétricas, nas baterias (pilhas elétricas) e outros materiais eletrônicos. Entram na composição da gasolina, da fumaça e produtos de combustão ou incineração incompleta de lixo e muitos outros materiais.

A avaliação da toxicidade de espécies químicas é muito difícil, especialmente com respeito aos humanos, e é geralmente expressa em termos da dose que mata 50% de uma população numerosa o suficiente para o estudo. A variabilidade individual em resposta que pode ser muito grande é levada em conta. Entretanto, efeitos tóxicos são influenciados pelo modo de aplicação e pela presença ou ausência de outros compostos ou alimentos.

Segundo **O'NEILL (1989)**, testes de toxicidade não podem ser realizados em humanos, por isso existe muito pouco conhecimento detalhado sobre as doses tóxicas e informações obtidas de estudos usando outros animais como ratos ou coelhos, sendo notoriamente difícil de interpretar e comparar. Por exemplo, a taxa de absorção gastrointestinal de $Pb^{2+}_{(aq)}$ por ratos está em torno de um décimo daquela encontrada em uma pessoa comum.

Controvérsias têm sido geradas sobre os efeitos de baixos níveis de compostos químicos potencialmente tóxicos, mas existem evidências de que elementos como Pb, Hg e Cd se acumulem com o tempo em alguns organismos.

Os limites máximos permitidos de ingestão de metais pesados são muito discutidos e devem ser calculados com base no consumo diário (**KABATA-PENDIAS & PENDIAS⁹ apud MALAVOLTA, 1994**). De acordo com a Organização Mundial de Saúde / Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação (WHO/FAO) citadas por **ADRIANO¹⁰**

⁹ KABATA-PENDIAS, A. & H. PENDIAS. 1985. Trace elements in soil and plants. CRC Press, Inc. Boca Raton. 315p.

¹⁰ ADRIANO, D.C. 1986. Trace elements in the terrestrial environment. Springer Verlag. Nova Iorque, 533 p.

apud MALAVOLTA (1994) a ingestão diária de Cd dever ser no máximo 57,1-71,4 microgramas. No caso do Cr, o número correspondente é 150 microgramas/dia . A ingestão diária máxima de Ni é de 400 microgramas e a de Pb é semelhante, 430 microgramas. Enfatizando somente os metais estudados (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn) são fornecidas em seguida informações compiladas das seguintes fontes: **LESTER (1989); MALAVOLTA (1994); KIEHL (1998) e MATTIAZZO-PREZOTTO (1994).**

3. 4 - Metais pesados e o comportamento nos organismos.

3.4.1 - Cádmio

No Brasil, o teor de cádmio total no solo geralmente se situa entre valores de 0,1 até 0,4 mg.kg⁻¹ (**FERGUSON¹¹ apud MATTIAZZO 1994**). Não se têm informações sobre os teores trocáveis.

As plantas variam grandemente, na sua habilidade em absorver, acumular e tolerar cádmio. Alface, espinafre, aipo e repolho tendem a acumular cádmio. **FERGUSON apud MATTIAZZO (1994)** apresenta trabalhos onde foram detectados teores de Cd na parte aérea dessas plantas variando entre 175 a 354 mg.Kg⁻¹. Essas plantas cresciam em solos cujo teor de cádmio total era de 640 mg.kg⁻¹.

Entretanto, entre todas as espécies vegetais estudadas, o fumo é considerado aquela que acumula mais Cd do que qualquer outra. **LOGAN & CHANEY¹² apud MATTIAZZO PREZOTTO (1994)** relatam que plantas de fumo crescendo em solos onde o teor de Cd total era de 1mg.kg⁻¹, apresentam teor de elemento nas folhas variando entre 1 e 44 mg.kg⁻¹; valores esses em base seca.

¹¹ FERGUSON, J. E. Heavy elements: chemistry, environmental impact and healthy effects. London, Pergamon Press, 1990. 614 p.

¹² LOGAN, T.J. & CHANEY, R.L. Metals. In: WORKSHOP ON UTILIZATION OF MUNICIPAL WASTEWATER AND SLUDGE ON LAND, Riverside, 1983. Proceedings. Riverside, University of California, 1983. P. 235- 323.

Níveis de Cd de $0,02 \text{ mg.kg}^{-1}$ são considerados normais para arroz (**ALLOWAY¹³ apud MATTIAZZO, 1994**) enquanto que em grãos de trigo e soja o teor de Cd é de $0,20 \text{ mg.kg}^{-1}$ e $0,71 \text{ mg.kg}^{-1}$, respectivamente segundo **ADRIANO apud MATTIAZZO (1994)**.

A absorção por ingestão é geralmente baixa em humanos, mas pode sofrer um aumento nos casos onde a dieta de cálcio é baixa. A absorção pelo organismo depende das espécies envolvidas. Sulfeto de cádmio e selenito de cádmio são menos absorvidas que cloreto de cádmio e óxido de cádmio. O Cd tende a se concentrar na parede intestinal, porém, através de uma exposição prolongada, os rins tornam-se o órgão mais crítico. Eventualmente, há acumulação no córtex renal conduzindo a um decréscimo na reabsorção de proteínas e a disfunção renal reduz a produção de vitamina D causando problemas ósseos. A meia-vida do Cd nos rins foi estimada de 10 a 40 anos, e no fígado de 5 a 10 anos. A excreção é feita, principalmente, pela via urinária, porém somente uma quantidade muito pequena do total. Os sintomas de exposição a baixas concentrações incluem vômitos, diarreia e colites. Uma contínua exposição causa hipertensão, aumento do coração e morte.

Tentativas foram feitas para estimar o limite de exposição por Cd, baseadas em autópsias. Concluiu-se que o nível crítico de Cd no córtex renal para o aparecimento de proteinúria (presença de proteínas na urina) é em torno de 200 mg/kg de peso. O limite máximo de $0,2$ a $0,25 \text{ mg}$ de Cd por dia para um adulto foi estimado no caso de ingestão oral.

3.4.2 - Chumbo

Há mais de 30 anos a toxicidade do Pb parece ter chamado a atenção devido à sua presença no inseticida arseniato de chumbo, visto que nem sempre o efeito danoso à planta, provocado pelo mesmo, podia ser explicado somente pelo As.

Os solos agrícolas podem ter uma faixa de variação no seu teor de chumbo total dependendo de vários fatores, principalmente o material de origem e as entradas antropogênicas. Os limites geralmente

¹³ ALLOWAY, B.J. Cadmium. In:----- ed. Heavy metals in soil. New York. John Wiley, 1990. P. 100-124.

mencionados estão entre 2 e 200ppm. Entretanto, há quem ache que teores acima de 110ppm não devam ocorrer naturalmente.

Geralmente o chumbo se acumula no solo superficial, nos primeiros centímetros e o teor diminui no perfil. Esse tipo de distribuição é atribuído à acumulação pela matéria orgânica mediante reciclagem, pelas plantas, do Pb das camadas inferiores. O Pb antropogênico mostra como regra o mesmo tipo de distribuição, embora em alguns casos possa descer a 30-45 cm. Em um solo que recebeu lodo de esgoto durante 6 anos verificou-se que 90% dos metais estavam no primeiros 15 cm do solo.

Uma vez absorvido, o chumbo passa à corrente sanguínea onde mais de 95% é ligado aos eritrócitos, causando aumento da fragilidade e redução do espaço de vida das células.

O chumbo possui uma grande afinidade por ossos. A concentração de Pb nos ossos aumenta durante toda a vida. A quantidade total normalmente carregada pelo homem foi estabelecida em 165mg, mas no caso de trabalhadores expostos alcança 566mg. O chumbo possui uma meia vida, no corpo, variando de dias a anos. A excreção é feita principalmente pela urina.

A intoxicação nos adultos se manifesta por anemia, constipação, cólica e excesso de urina. Os sintomas em crianças incluem irritabilidade, perda de apetite, vômitos ocasionais, dor abdominal intermitente e constipação. Níveis maiores que $0,8 \text{ mg.L}^{-1}$ de sangue foram considerados uma inequívoca evidência de intoxicação, porém investigações feitas em alguns tipos de trabalhadores revelaram que alguns possuíam concentrações acima de $1,5 \text{ mg.L}^{-1}$ de sangue, com óbvios sintomas clínicos.

A ingestão semanal tolerável de acordo com a OMS, estabelecida em 1972, é de 3 mg de Pb para pessoas adultas.

3.4.3 - Níquel

O teor de níquel em solos depende da rocha de origem, porém estima-se que o teor médio mundial seja da ordem de $40 \mu\text{g.mg}^{-1}$. Solos derivados de serpentina podem conter teores de níquel entre 100 e 7000 mg.kg^{-1} , juntamente com teores altos de Cr, Mg e Fe.

A concentração total de Ni em solos geralmente varia entre teores de 5 até 700 $\mu\text{g}.\text{mg}^{-1}$ com um valor médio de 20 $\text{mg}.\text{kg}^{-1}$ na camada de 0-20 cm. Em solos derivados de serpentina (silicato ácido de magnésio) a concentração total de Ni pode variar de 80 até 7100 $\text{mg}.\text{kg}^{-1}$ (**UREN¹⁴ apud MATTIAZZO, 1994**). Na literatura, o único trabalho que apresenta valores para teor solúvel de Ni é o de **TAYLOR¹⁵ apud MATTIAZZO (1994)** onde teores de Ni, obtidos pelo extrator de Mehlich (HCl 0,05 M e H₂SO₄ 0,025 M) variando entre 2,3 e 4,2 $\text{mg}.\text{kg}^{-1}$ foram apresentados por um solo proveniente de área degradada por mineração.

A essencialidade do Ni²⁺ na nutrição vegetal foi demonstrada em 1975 quando se descobriu que era componente da enzima urease em feijão e soja (**McGRATH & SMITH¹⁶ apud MATTIAZZO, 1994**). A partir dessa descoberta, estendeu-se a essencialidade do Ni para as demais leguminosas, porém em outras espécies essa essencialidade não foi ainda estabelecida. Sintomas de deficiência de Ni ainda não foram detectados em planta, provavelmente devido ou aos baixos teores necessários ou às deficiências de Co, Cu e Zn se manifestarem primeiramente. Ao contrário, o efeito fitotóxico do Ni é conhecido já há bastante tempo. **UREN apud MATTIAZZO (1994)** cita trabalhos onde são relatados que teores de 2 $\text{mg}.\text{Kg}^{-1}$ de Ni são suficientes para inibir crescimento de raízes. Também relata que foram observados sintomas de toxicidade, em trigo, quando o teor de Ni no solo era de 8 $\text{mg}.\text{Kg}^{-1}$, enquanto que aveia não apresentou nenhum sintoma quando o teor no solo era de 147 $\text{mg}.\text{kg}^{-1}$. Dessas observações se conclui que a toxicidade de Ni é função da espécie vegetal, sendo esta toxicidade normalmente associada à deficiência de Co (**LOGAN & CHANEY; ADRIANO; McGRATH & SMITH apud MATTIAZZO, 1994**).

Níquel é tido como essencial para o crescimento normal de alguns animais. Seu papel como elemento essencial para o homem não foi ainda confirmado. Uma vez absorvido, o níquel é transportado pela corrente sangüínea ligado ao soro albuminoso e durante esta distribuição o níquel torna-se complexado com aminoácidos, peptídeos e proteínas

¹⁴ UREN, N.C. Forms, reactions, and availability of nickel in soils. *Advances in Agronomy*, New York, 48: 141-203, 1992.

¹⁵ TAYLOR, R. W. ; IBEABUCHI, I. O. ; SISTANI, K. R. ; SHUFORD, J. W. Accumulation of some metals by legumes and their extractability from acid mine spores. *Journal of Environmental Quality*, Madison, 21: 176-180, 1992.

¹⁶ McGRATH, S. P. & SMITH, S. Chromium and nickel. In: ALLOWAY, B. J., coord. *Heavy metals in soils*. New York, John Wiley, 1990. P. 125-150

acumulando-se em tecidos do pulmão, rins, fígado, glândulas endócrinas e cérebro, dependendo do modo de absorção. Ele é rapidamente excretado do corpo pela urina e também pelo suor. A forma mais tóxica do níquel conhecida para o homem é o carbonil níquel e a maioria das informações epidemiológicas com relação à toxicidade do níquel é baseada nas exposições ocupacionais desta forma, por exemplo, nas refinarias de níquel.

Quando inalado, o carbonil níquel pode causar severos danos aos pulmões e produzir sintomas de dor de cabeça, vertigem, náusea, vômitos e insônia. Exposição oral, no entanto, produz uma baixa reação toxicológica devido à baixa absorção por esta via. O Ni é capaz de causar efeitos mutagênicos pela ligação a fosfatos e a bases heterocíclicas dos ácidos nucleicos no lugar de outros elementos com o Mg.

A concentração máxima admissível se refere à água potável e foi especificado pelo Conselho das Comunidades Europeias em 0,05mg/L de água.

3.4.4 – Crômio

Na maioria dos solos, o teor total de crômio está situado entre 5 e 1000mg.Kg⁻¹, sendo os teores mais elevados encontrados nos solos derivados de rochas ígneas e de serpentina (ALLOWAY apud MATTIAZZO 1994). O teor médio mundial está em torno de 50 mg.Kg⁻¹.

O crômio não é considerado elemento essencial para plantas.

Em plantas, o teor de crômio usualmente é menor que 1 mg.Kg⁻¹ e raramente excede 5 mg.Kg⁻¹ expressos em função do peso seco. A toxicidade de crômio nunca foi demonstrada conclusivamente em condições de campo. **KABATA-PENDIAS & PENDIAS apud MATTIAZZO (1994)** reportam que plantas de aveia crescendo num solo contendo 634 mg.Kg⁻¹ de crômio total apresentavam sintomas de toxicidade. No entanto, solos com altos teores de crômio, também apresentam teores elevados de Ni, ficando a dúvida de qual é o elemento responsável pela toxicidade apresentada pelas plantas.

De acordo com **LOGAN & CHANEY apud MATTIAZZO (1994)** para a maioria das espécies vegetais a barreira solo-planta parece ser um mecanismo eficiente que previne a entrada de crômio na cadeia alimentar.

Segundo **MORTVEDT & GIORDANO¹⁷ apud MATTIAZZO (1994)** em soluções nutritivas, o nível tóxico varia entre 5 e 500 mg.Kg⁻¹ quando a forma de Cr presente é Cr⁺⁶

É um elemento essencial pois é um fator de tolerância para a glicose no sangue. Ele está geralmente no ambiente como um sal trivalente, fracamente solúvel em água e é considerado de baixa toxicidade. A absorção do sal de crômio (III) pelo trato gastrointestinal é baixa em humanos, variando de 0,5 a 1%; a presença de comida geralmente retarda a absorção. Crômio hexavalente é a forma mais tóxica e a mais prontamente absorvida, mas é raramente presente. A concentração do Cr no corpo abaixa com a idade, mas a meia-vida é desconhecida. A urina é a principal rota excretora do Cr. Os efeitos tóxicos do Cr são relacionados à forma química e muitos efeitos parecem ser causados predominantemente por compostos de Cr⁺⁶. Efeitos agudos de exposição oral incluem severa corrosão do trato gastrointestinal e necrose dos rins, enquanto a exposição crônica via inalação de compostos de Cr⁺⁶ podem resultar em úlceras na pele e buracos no septo nasal. Efeitos localizados incluem dermatites e aumento da sensibilidade alérgica.

3.4.5 - Cobre

O teor total de cobre em solos geralmente varia entre 2 e 100 µg.mg⁻¹, sendo os teores médios geralmente situados na faixa de 20 a 30 µg.mg⁻¹. Entretanto, em função do material de origem do solo, esse limite pode ser ampliado para 150 µg.mg⁻¹ como é o caso de solos derivados de rochas basálticas e os ferrasolos de clima tropical. Teores totais elevados de cobre em solos, superiores a 254 µg.mg⁻¹, já foram encontrados em solos próximos a fundições (**BAKER¹⁸ apud MATTIAZZO, 1994**).

A variação do teor total de cobre em solos do Estado de São Paulo situa-se entre 23 e 126 µg.mg⁻¹.

Cobre é um nutriente essencial para plantas e animais inclusive para o homem.

¹⁷ MORTVEDT, J.J. & GIORDANO, P. M. Response of corn to zinc and chromium in municipal wastes applied to soil. *Journal of Environmental Quality*, Madison, 4: 170-174, 1975.

¹⁸ BAKER, D. E. Copper. In: ALLOWAY, B. J., coord. *Heavy metals in soils*. New York, John Wiley, 1990. P. 151-176.

Tecidos normais de plantas contém teores de cobre variando entre 5 a 20 mg.kg⁻¹. Teores menores que 4 mg.kg⁻¹ são encontrados em plantas deficientes.

Sintomas de fitotoxicidade já foram observados em pomares de citrus devido ao uso excessivo de fungicidas cúpricos. **ADRIANO apud MATTIAZZO (1994)** sugere que teores de Cu em tecidos foliares maiores que 20 mg.Kg⁻¹ são indicativos de toxicidade. Convém entretanto salientar que a concentração de cobre em material vegetal varia com a espécie de planta, parte da planta, tipo e característica do solo onde o vegetal está sendo cultivado.

A principal função do cobre no homem é a de atuar como catalisador de reações. Desempenha função na síntese da hemoglobina e outras proteínas que contém ferro, oxidando Fe²⁺ para Fe³⁺.

O cobre é um elemento essencial usado nos processos de formação do sangue e de utilização do Fe. O ser humano diariamente necessita de 0,03 mg.kg⁻¹ por adulto e a principal forma de entrada é através da dieta alimentar e água.

O cobre é absorvido pelo trato intestinal, embora como o zinco, a absorção varie com a forma de entrada. A meia-vida em humanos é de 80 dias e o total que pode ser transportado pelo organismo é de 75 a 150mg. Uma vez absorvido, o cobre é transformado no sangue e armazenado nos músculos, fígado e tecidos cerebrais. Nos casos de intoxicação aguda, o Cu é encontrado no cérebro, fígado, estômago, raízes dos cabelos e urina. Os sintomas de intoxicação aguda são úlceras, gastrites, hemólises, necrose hepática e danos renais. A intoxicação crônica no homem é encontrada raramente, mas foi relatado como causa da doença rosa em crianças que ingerem água contaminada com cobre nas concentrações de 0,8mg/L de água. A elevação é associada a desordens tais como a cirrose em crianças.

3.4.6 - Zinco

O Teor de Zn presente em solos depende da concentração de Zn na rocha de origem, porém também depende de fatores como pH e conteúdo de matéria orgânica. Estima-se que o conteúdo normal varie entre

10 e 300 mg.Kg⁻¹, sendo os teores menores os apresentados por solos derivados de granitos e gnaisses e os maiores, os apresentados por solos derivados de rochas sedimentares. O teor médio de Zn presente em solos é estimado em 40 mg.kg⁻¹. Entretanto, em solos próximos a fundições já foram encontrados teores de 1000 a 10.000 mg.kg⁻¹ (**KIEKENS apud MATTIAZZO, 1994**).

O íon Zn²⁺ é elemento essencial, para os humanos, para os vegetais e para o homem.

O conteúdo de Zn²⁺ em plantas varia conforme a espécie, sendo algumas espécies sensíveis à deficiência de Zn (milho, sorgo, pêssago, maçã, uva, citrus e cacau). De um modo geral pode-se dizer que o conteúdo de zinco em planta é considerado deficiente quando está entre 10 e 20 mg.kg⁻¹ na matéria seca; níveis normais ocorrem entre 25 e 150 mg.kg⁻¹ e níveis tóxicos ocorrem quando a concentração de Zn é maior que 400 mg.Kg⁻¹. Entretanto não são freqüentes sintomas de toxicidade de Zn em plantas segundo (**SMILDE¹⁹ apud MATTIAZZO 1994**).

Zinco é um elemento essencial, com uma quantidade diária requerida na ordem de 10 a 20mg. O zinco é obtido pela dieta com água. que usualmente supre somente uma pequena fração da entrada de zinco. É absorvido no duodeno e é requerido nas metaloenzimas e tem um papel na síntese e metabolismo de proteínas, ácidos nucléicos e na mitose das células. O zinco tende a ser menos tóxico que os outros metais, e a diferença entre o nível essencial e o tóxico é grande. Existe evidência, que o excesso de zinco no sangue é compelido pela albumina. Os sintomas da intoxicação pelo zinco são vômitos, desidratação, desequilíbrio eletrolítico, dor de estômago, náusea, letargia, vertigem e descontrole muscular. A dose em água de zinco que causa vômito é de 675 a 2280mg/l. O papel do zinco como um carcinogênico não é muito claro.

3.5 - Classificação dos elementos presentes no solo

Segundo **MALAVOLTA (1994)**, para as plantas os elementos podem ser classificados como:

- (1) **ESSENCIAL** - sem ele a planta não vive; faz parte de compostos vitais ou reações cruciais para a vida da planta, pode ser um macronutriente ou um micronutriente, de acordo com a quantidade exigida.
- (2) **BENÉFICO OU ÚTIL** - não é essencial, a planta pode viver sem eles; sua presença, entretanto, é capaz de contribuir para o crescimento, produção ou para a resistência a condições desfavoráveis do meio (clima, pragas, moléstias, compostos tóxicos presentes no solo, na água e no ar).
- (3) **TÓXICO** - prejudicial à planta e não enquadrado em nenhuma das duas categorias anteriores.

A lista dos elementos essenciais conta hoje em dia com os seguintes elementos, fornecidos pelo solo ou pelo adubo ou corretivo, além do carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O) que vem do ar e da água:

MACRONUTRIENTES - nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), Magnésio (Mg), enxofre (S).

MICRONUTRIENTES - boro (B), cloro (Cl), cobalto (Co), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), molibdênio (Mo), níquel (Ni), sódio (Na), selênio (Se), silício (Si), Zinco (Zn).

De acordo com **BECKETT²⁰²¹ apud MALAVOLTA (1994)** a toxicidade de um elemento deve ser acompanhada e medida pelas seguintes variáveis:

¹⁹ SMILDE, K. W. ; VAN LUIT, B. ; VAN-DRIEL, W. The extraction by soil and adsorption by plants of applied zinc and cadmium. Plant and Soil . The Hague, 143(2): 233-238, 1992.

²⁰ BECKETT, P.H.T. 1991. Critical tissue concentrations as indicators of toxicity. Suelos Ecuatoriales (Bogota) 21(2): 39-44.

- (1) diminuição no crescimento ou redução na colheita;
- (2) sintomas visíveis;
- (3) concentração no tecido.

O primeiro efeito ou manifestação pode ser devido à interferência provocada pelo elemento, na absorção ou transporte . O sintoma visível, que poderá não ser específico, é o resultado de uma cadeia de acontecimentos que começa com uma alteração em nível molecular, continua com modificação subcelular que, por sua vez, conduz a uma alteração celular a qual, finalmente, resulta em modificações no tecido, isto é, no sintoma.

A toxicidade dos metais pesados para as plantas e, eventualmente para o animal, tem duas causas: a própria natureza e o homem, isto é, antropogênica. Nos dois casos, evidentemente, há somente um motivo para que a toxicidade se manifeste: o aumento na disponibilidade de elemento no solo. A contribuição do conteúdo de um ou outro metal pesado contido no ar, ainda que exista, é menos expressiva que a do solo.

Segundo **MALAVOLTA (1994)** de um modo geral o que acontece com os metais pesados, micronutrientes ou não, no solo é o seguinte:

- (1) perdas por erosão, lixiviação e volatilização;
- (2) conversão em formas não disponíveis, minerais ou orgânicas;
- (3) adsorção ao complexo de troca;
- (4) entrada na solução do solo;
- (5) absorção pelas plantas.

O benefício para a planta no caso dos micronutrientes está relacionado com a fração que permanece disponível, ou seja, com os itens (3) e (4). O mesmo se diga do eventual prejuízo ao vegetal. O possível dano para o animal ou homem vai depender, por sua vez, da fração do absorvido que estiver contida na parte comestível da planta.

A toxicidade por metais pesados, segundo **BARCELÓ & POSCHENRIEDER²²** *apud MALAVOLTA (1994)* pode se manifestar em três níveis: (1) absorção, transporte e acumulação; (2) mecanismo primário, ao nível molecular, celular e subcelular; (3) mecanismo secundário, ou seja, interferência nos processos funcionais da planta.

Segundo **O'NEILL (1989)**, considerando a distribuição de elementos no solo, algumas formas são mais disponíveis para absorção que outras. Os íons solúveis e os íons complexos são diretamente disponíveis desde que as raízes das plantas não tenham mecanismos específicos de exclusão. Os íons adsorvidos provavelmente são a próxima forma mais disponível à medida que, em alguns casos, são prontamente trocados dos seus sítios de sorção, particularmente se as condições tornam-se mais ácidas e o íon hidrogênio desloca estes cátions. A disponibilidade dos metais pesados dispersos nos óxidos hidratados é aumentada por condições mais redutoras ou por outras mudanças, tais como aumento da acidez que também aumenta a solubilidade de óxidos hidratados. A disponibilidade dos elementos metálicos oriundos dos seus próprios compostos "insolúveis", ou quando dispersos, em outros minerais, depende sobretudo da estabilidade relativa do composto ou mineral.

É claro que, por causa da alta proporção de um elemento químico particular que pode estar ligado aos minerais do solo em uma forma indisponível, a análise da concentração total de um elemento não fornece necessariamente um indicador útil de que, se as plantas crescerem naquele solo, irão sofrer de algum problema de deficiência ou toxicidade. Como determinar o nível de elementos disponíveis no solo é um dos maiores problemas da química analítica. A aproximação mais comum para este problema é o uso de diferentes soluções extratoras que são pretensamente preferenciais para extrair elementos químicos particulares do solo.

²² BARCELÓ, J. & C. POSCHENRIEDER. 1992. Respuesta de las plantas a la contaminación por metales pesados. Suelo y Planta 2: 345-361.

Segundo **MELO et al (1997)** as plantas não são capazes de regular a absorção de elementos de tal forma que, estando os mesmos em contato com as raízes em forma disponível, serão absorvidos, sendo ou não necessários ao pleno desenvolvimento das mesmas. Nestas condições, haverá a chamada absorção de luxo, que poderá atingir níveis tóxicos, assim como a absorção de elementos não essenciais, entre eles os chamados metais pesados.

O transporte dos elementos da superfície da raiz até o xilema ocorre através do apoplasto e do simplasto. Da raiz às folhas, o transporte se faz pelo xilema e a redistribuição, ou seja, o movimento das regiões de acúmulo para outras partes, como folhas novas, ocorre pelo floema.

Às vezes, como no caso do Pb, pode haver formação de complexos insolúveis com a parede celular, o que impede ou diminui o transporte para as partes mais altas da planta. Ainda no caso do Pb, sua movimentação no apoplasto é lenta, o que diminui seu transporte em direção ao xilema.

Os metais pesados, micronutrientes e, talvez também os demais, apresentam baixa mobilidade no floema, o que dificulta a redistribuição na planta, motivo pelo qual os sinais de deficiência aparecem em folhas mais novas.

A absorção dos metais pesados, micronutrientes ou não, também pode ocorrer via foliar, translocando-se daí para outras partes da planta. Desta forma, metais pesados colocados na atmosfera em regiões poluídas podem ser levados pelo vento a regiões não poluídas. Aí, por ação da chuva, depositam-se sobre as folhas e podem ser absorvidos ou, se não o forem, chegar em solo com a queda das folhas e, com o tempo, tornarem-se disponíveis para a absorção radicular. É o que parece ocorrer no caso do Pb que se deposita nas folhas na forma de aerossol, cujas partículas são muito insolúveis, de tal forma que a absorção foliar parece ser muito baixa.

De um modo geral, a distribuição dos metais pesados nas diferentes partes da planta varia com o elemento: Zn e Ni distribuem-se de maneira mais ou menos uniforme nas raízes e na parte aérea; Cu e Cd usualmente ocorrem em maiores concentrações nas raízes, mas também podem ser encontrados em concentrações elevadas na parte aérea e Cr e Pb ocorrem principalmente nas raízes, e em quantidades muito pequenas na parte aérea.

Esta distribuição pode ser modificada em função da espécie vegetal, da concentração e tipo de metal no substrato.

De acordo com **O'NEILL (1989)** a absorção dos metais pelas plantas é dependente, sobretudo, da disponibilidade e mobilidade que eles apresentam. Solos com um alto pH e alta capacidade de troca catiônica tenderão a imobilizar muitos dos metais adicionados. Entretanto, uma posterior mudança nas condições, particularmente uma queda no pH, poderia causar a liberação dos metais. É importante limitar a elevação de elementos potencialmente tóxicos mesmo se eles são inicialmente encontrados em formas "indisponíveis".

Todos os elementos essenciais quando presentes em formas disponíveis, apresentam curvas similares à curva apresentada na **FIGURA 3.2 - Efeito da concentração dos elementos essenciais sobre as plantas**. De fato esses elementos são reconhecidos essencialmente por esse tipo de curva. Elementos não-essenciais e elementos em formas indisponíveis poderiam produzir curvas similares a apresentada na **FIGURA 3.3 - Efeito da concentração dos elementos não-essenciais sobre as plantas**, na qual, quanto maior a toxicidade de uma substância química, menor é o patamar estável ST.

Na curva apresentada **FIGURA 3.3**, não está claro em que estágio o ponto T é alcançado e quais efeitos adversos são sentidos. O aumento da mobilização dos elementos associado à produção de compostos usualmente desconhecidos nos sistemas naturais, acarretam

aumento do esforço dos organismos vivos de todos os tipos para se manter no patamar ST indicado na **FIGURA 3.3**.

FIGURA 3.2 - Efeito da concentração dos elementos essenciais sobre as plantas

FONTE: O'NEILL, P. (1989); *Environmental Chemistry*. 2.ed. Chapman e Hall. London. p.198

FIGURA 3.3 - Efeito da concentração dos elementos não-essenciais sobre as plantas

FONTE: O'NEILL, P. (1989); *Environmental Chemistry*. 2.ed. Chapman e Hall. London. p.199.

4 - MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 - COMPOSTO

O composto utilizado neste trabalho como adubo orgânico é oriundo da usina de compostagem de Araraquara, produzido a partir de lixo urbano, compostado aerobiamente durante 90 (noventa) dias.

O processamento do lixo realizado pela usina utiliza o sistema SANECON com algumas modificações, consistindo basicamente das seguintes etapas: recepção, catação, peneiramento (3n in.), maturação (período estimado em três meses) e, finalmente, após este período um peneiramento final (1 e 0,5 in). Detalhes do sistema estão mostrados na **FIGURA 4.1** - Pátio de recepção, na **FIGURA 4.2** - Peneiramento de 3 in, na **FIGURA 4.3** -Leiras de compostagem, na **FIGURA 4.4** - Peneiramento de 1 e 0,5 in e na **FIGURA 4.5** - Composto pronto para ser vendido.

FIGURA 4.1 - Pátio de recepção

FIGURA 4.2 - Peneiramento de 3 in

FIGURA 4.3 - Leiras de compostagem

FIGURA 4.4 - Peneiramento de 1 e 0,5 in

FIGURA 4.5 - Composto pronto para ser vendido

4.1.1 - AMOSTRAGEM DO COMPOSTO

De uma leira de cerca de 5m^3 , vide **FIGURA 4.6** - Aspecto do composto utilizado, coletaram-se 20 subamostras, de mesmo volume (200ml) utilizando-se uma caneca plástica. Após coletar as 20 subamostras, foram bem misturadas em um balde e retiradas duas amostras de aproximadamente 200g. As duas amostras compostas foram secas ao ar livre sobre material plástico, ensacadas, rotuladas e enviadas ao Laboratório de Solos -CPPSE/EMBRAPA onde foram realizadas as análises.

FIGURA 4.6 - Aspecto do composto utilizado

4.1.2 - CARACTERIZAÇÃO DO COMPOSTO:

As análises no composto foram realizadas no Laboratório de Solos - CPPSE/EMBRAPA/São Carlos utilizando metodologias descritas em **MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (1983)**, para fertilizantes orgânicos. Os parâmetros analisados estão relacionados na **TABELA 4.1** - Parâmetros de caracterização do composto.

TABELA 4.1 - Parâmetros de caracterização do composto.

<i>Parâmetros</i>
Umidade na base de matéria seca a 100-105°C
Teor de matéria orgânica
Nitrogênio total
Fósforo
Potássio
Cálcio
Magnésio
Cádmio (Total);
Cobre (Total);
Cromo (Total);
Níquel (Total);
Zinco (Total);
Chumbo (Total).

4.2 - O Solo

4.2.1 - O Tipo de solo utilizado e seu preparo

Os experimentos de campo foram conduzidos em área pertencente ao Departamento de Hidráulica e Saneamento (SHS) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP) situada no Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada (CRHEA), junto à Represa do Lobo, localizado entre os municípios de Itirapina e Brotas, no Estado de São Paulo.

O solo da área do experimento é classificado, segundo **CATI (1985)¹** apud **SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (1986)**, como *Terra Rocha Estruturada distrófica A moderada textura média*. De acordo com **OLIVEIRA et al (1992)**, esta classe compreende solos de grande importância agronômica: os distróficos, respondem bem à aplicação de fertilizantes e corretivos e, para este solo, a fertilidade constitui fator limitante associado ao risco à erosão com a acentuação dos declives dos terrenos. Em vista das suas qualidades, tal solo, abstraindo-se o relevo, está apto a todos os usos agropastoril-florestal adaptados às condições climáticas.

A área utilizada foi limpa, gradeada e arada, em seguida, foram preparados quatro canteiros de 10 m² cada um, separados em dois patamares, no primeiro e mais alto 50 cm, localizavam-se o canteiro “1 e 2” e no segundo, mais baixo, os canteiros “3 e 4”, dispostos de tal forma a não haver contribuição entre os mesmos por percolados, conforme mostrado na **FIGURA 4.7** - Posicionamento dos canteiros.

¹ CATI (1985). Classificação dos Solos do Estado de São Paulo (correspondência entre a classificação antiga e atual). Seção de Pedologia - Instituto Agronômico de Campinas.

FIGURA 4.7 - Posicionamento dos canteiros

4.2.2 - Amostragem Prévia do Solo

Percorreu-se a área gradeada e arada, antes do preparo dos canteiros, caminhando em ziguezague, coletando-se, ao acaso, 20 subamostras (amostras simples de terra) de cerca de 200g cada uma. Utilizou-se uma enxada e uma pequena pá de jardineiro, para que se pudesse alcançar a profundidade de até 35 cm. À medida em que foram coletadas, as amostras foram colocadas em um balde plástico limpo e em seguida misturadas. Deste balde retiraram-se duas amostras que foram secas ao ar livre sobre material plástico e enviadas ao “Laboratório de Solos” - CPPSE/EMBRAPA.

4.2.3 - Caracterização Prévia do Solo:

As metodologias utilizadas para estas análises foram aquelas descritas por **RAIJ et al (1987)**

Estão relacionados na **TABELA.4.2** os parâmetros analisados durante a caracterização prévia do solo:

TABELA 4.2 - Parâmetros da caracterização prévia do Solo.

Parâmetro
pH em H ₂ O
pH em CaCl ₂
M.O. (g/dm ³)
P (mg/dm ³) em Resina
K (mmolc/dm ³) Trocável
Ca (mmolc/dm ³) Trocável
Mg (mmolc/dm ³) Trocável
CTC (mmolc/dm ³)

4.3 - Aplicação do Composto

O composto, oriundo da Usina de Compostagem de Araraquara com 90 dias de cura, foi aplicado superficialmente até 5cm de profundidade uma única vez, logo após os canteiros terem sido gradeados, arados e amostrados.

No primeiro canteiro não se aplicou composto. Este canteiro de número "**1**" foi tomado como testemunha ou referência em relação aos demais. Nos canteiros de números "**2 , 3 e 4**" aplicaram-se, respectivamente, 30 Kg, 60 Kg e 90 Kg de composto utilizando-se um balde plástico como medida durante a aplicação, de forma a obter-se as taxas de aplicação de 30t/ha, 60t/ha e 90t/ha respectivamente, conforme mostram a **FIGURA 4.8** - Canteiros 4 e 3 (da esquerda para a direita) e a **FIGURA 4.9** - Canteiros 2 e 1 (da esquerda para a direita). As duas primeiras taxas de

aplicação (30 t/ha e 60 t/ha) foram escolhidas por já terem sido utilizadas em outros trabalhos (**PETRUZZELLI, 1989; HERNÁNDEZ et al, 1992**) e a terceira taxa (90 t/ha) foi utilizada porque está acima de valores comumente utilizados em pesquisa com composto orgânico.

FIGURA 4.8 - Canteiros 4 e 3 (da esquerda para a direita)

FIGURA 4.9 - Canteiros 2 e 1 (da esquerda para a direita)

4.4 - Cultivo da Cenoura

4.4.1 - Espécie Vegetal

Escolheu-se utilizar a cenoura (***Daucus carota***) nesta pesquisa posto que ela representa uma das principais hortaliças comercializadas pela CEAGESP e ser recomendada pelos médicos para alimentação de crianças e pessoas anêmicas. Além disso, não apresenta um período muito longo até a colheita (cerca de três meses) e teoricamente, por ser uma raiz, estaria mais suscetível ao acúmulo de metais pesados.

4.4.2 - Semeadura

Utilizou-se neste trabalho uma cultivar de cenoura conhecida como ***Brasília Selecionada*** de formato cilíndrico, pouco cônico, raiz laranja clara, folha verde escura prateada para cultivo de primavera, verão e outono.

Apesar das orientações técnicas (MINAMI & NETO, 1994) indicarem que, para a cenoura, a semeadura deve ser efetuada diretamente no local definitivo, preferiu-se executar a primeira etapa do cultivo em potes de 500 mL (com 9 cm de diâmetro de borda). Este procedimento justificou-se pelos seguintes motivos:

- a) A maior exigência de água ocorre antes e logo após a germinação;
- b) Viabilidade de uso do mesmo solo e composto nos vasos utilizados para a semeadura;
- c) A importância de um acompanhamento diário e uma proteção por cobertura morta para se abrigar as plântulas da insolação e o solo do dessecamento e aquecimento;

- d) Não se poderia prever exatamente quais sementes germinariam e, portanto, não seria possível igualar, por canteiro, o número de mudas para uma posterior comparação;
- e) Na prática, é possível o replantio, desde que as mudas estejam fortes o suficiente para ser transplantadas.

Chegou-se à conclusão de que poderiam ser replantadas 250 mudas por canteiro para manter uma distância aproximada de 20 cm uma da outra (distância sugerida por MINAMI & NETO 1994), perfazendo um total de 1000 mudas. Por segurança, optou-se por semear pelo menos 1250 pontos nos potes.

Prepararam-se duas misturas: uma na proporção de **1 terra / 1 areia grossa / 1 composto** e a outra na proporção de **2 terra / 1 areia grossa**, isto foi feito para possibilitar uma prévia adaptação das mudas de cenoura ao composto e para que se evitasse a compactação durante a irrigação dos potes. Esta ilustrado na **FIGURA 4.10** - 1 terra / 1 areia grossa / 1 composto e na **FIGURA 4.11** - Mistura utilizada para prévia adaptação das mudas de cenoura ao composto . A primeira mistura foi adicionada a 190 potes e a segunda a 60 potes. Em seguida, cada pote foi semeado em 5 pontos. Estes potes foram previamente perfurados em três pontos na parte inferior para que pudesse haver o escoamento da água em excesso.

Em cada pote pronto (cheio com a mistura) foram feitos cinco sulcos de aproximadamente 1 cm de profundidade e colocadas, em média, 4 sementes por sulco e, em seguida, cobertos pela própria mistura do pote. Este procedimento foi realizado para os três cultivos.

FIGURA 4.10 - 1 terra / 1 areia grossa / 1 composto

FIGURA 4.11 - Mistura utilizada para a prévia adaptação das mudas de cenoura ao composto

4.4.3 - Tratos culturais

4.4.3.1 - Primeiro Cultivo

Para fazer a proteção das plântulas recém-nascidas, colocou-se em todos os potes a cobertura de capim seco. A emergência das plântulas ocorreu, em média, 12 dias após a semeadura, conforme mostrado na **FIGURA 4.12** - Emergência das plântulas, e a irrigação foi feita diariamente até completar um mês, a partir deste período, de dois em dois dias, até quando completaram 42 dias e foram transplantadas.

Constatou-se, durante este primeiro cultivo, que as mudas dos potes com composto desenvolveram-se primeiro, entretanto ao fim de 40 dias não apresentaram diferenças visíveis em termos de tamanho e aparência.

Durante o replantio, a distância mantida de uma muda para a outra foi de aproximadamente 20 cm, totalizando 250 mudas por canteiro, em seguida, cada canteiro foi irrigado durante cerca de 2 h com aspersores. Durante os três dias seguintes, procedeu-se da mesma forma para evitar uma grande mortandade de mudas. Após os primeiros dias, passou-se a fazer a irrigação, periodicamente, a cada dois dias, exceto quando não havia necessidade devido ao tempo chuvoso.

Além das atividades anteriores, foi feita manualmente, a retirada de tiriricas que poderiam prejudicar o bom desenvolvimento das cenouras. Apesar de todo o esforço, constatou-se a presença desta praga durante todo o desenvolvimento das cenouras.

FIGURA 4.12 - Emergência das plântulas

4.4.3.2 - Segundo Cultivo

Após a primeira colheita, deixou-se o solo descansar durante 10 dias antes do segundo cultivo.

Procedeu-se de maneira idêntica ao primeiro cultivo, entretanto observaram-se algumas diferenças no desenvolvimento inicial das mudas enquanto estavam nos potes:

- a) A germinação foi antecipada e realizou-se aos 7 dias após a sementeira;
- b) As mudas desenvolveram-se igualmente nos potes com e sem o composto;
- c) e em virtude, possivelmente, da menor umidade e do menor período de sol, as mudas estavam menos desenvolvidas aos 42 dias para o replantio.

4.4.3.3 - Terceiro Cultivo

Após a segunda colheita, deu-se o mesmo intervalo de tempo (10 dias) para a reutilização do solo.

As sementes dos potes sem o composto germinaram primeiro (10 dias), entretanto após 14 dias existiam mudas desenvolvidas com composto e sem composto de tamanhos iguais.

As mudas estavam mais desenvolvidas, aos 42 dias, que as anteriores, do segundo cultivo, provavelmente devido à maior umidade e exposição ao sol relativa a este período do ano, em que elas se desenvolveram.

Não houve alteração com relação ao restante dos procedimentos.

4.4.4 - Colheita

A colheita das cenouras foi feita após 115 dias contados a partir da sementeira, conforme mostra a **FIGURA 4.13** - Canteiros 2 e 1 após 115 dias da sementeira. Cada cenoura foi contada, limpa, lavada e seca ao ar, conforme mostra a **FIGURA 4.14** - Produção de Cenouras/ Canteiro da 2ª colheita. A produção de cada canteiro foi pesada, colocada em sacos plásticos, rotulada e finalmente congelada para posterior análise, este procedimento foi executado para as três colheitas.

Com a finalidade de amenizar a perda de nutrientes durante os seguidos cultivos, devolveu-se, ao solo dos canteiros, a parte aérea da cenoura após cada colheita.

FIGURA 4.13 - Canteiros 2 e 1 após 115 dias da sementeira

FIGURA 4.14 - Produção de cenouras por canteiros da 2ª colheita

4.5 - Amostragem de Solo Após Cada Colheita

Percorreu-se cada canteiro após cada colheita, caminhando-se em ziguezague, coletando-se, ao acaso, 20 subamostras (amostras simples de terra) de cerca de 100g cada uma. Utilizou-se, para isto, de uma enxada e uma pequena pá de jardineiro a fim de que se pudesse alcançar a profundidade de até 35 cm. À medida que foram coletadas, as amostras foram colocadas em um balde plástico limpo e em seguida misturadas. Deste balde retiraram-se duas amostras compostas de cerca de 300g cada uma que foram secas ao ar livre sobre material plástico, esta metodologia foi sugerida por **PRIMAVESI (1992)**. No total foram coletadas 24 amostras, 8 por colheita, sendo 12 enviadas para o **Laboratório de Solos - CPPSE/EMBRAPA (EMBRAPA)** e as outras 12 para o **Laboratório de Saneamento do SHS e Laboratório de Resíduos Sólidos - EESC (LAB. SHS)**.

As amostras retiradas do canteiro **1** após à **1ª colheita** foram rotuladas como **1-1c**, as dos canteiros **2, 3 e 4** foram rotuladas respectivamente **2-1c, 3-1c e 4-1c**. As amostras obtidas após as duas colheitas subseqüentes receberam como identificação o número do canteiro de onde foram retiradas (**1, 2, 3 ou 4**) e **2c de 2ª colheita** ou **3c de 3ª colheita**.

Esta etapa está representada pela **FIGURA 4.15** - Tratamento das amostras de solo após cada colheita.

FIGURA 4.15 - Tratamento das amostras de solo após cada colheita.

4.6 - Metodologias das Análises de Solo Após Cada Colheita

Cada amostra enviada à EMBRAPA (12 no total) foi dividida em duas parcelas, uma para as chamadas *Análises de Rotina* e a outra com a finalidade de se realizar a *Digestão com Água Régia* (1HNO_3 : 3HCl), e obter uma solução a ser analisada por EAA para a determinação do teor total de metais pesados.

4.6.1 - Análises de Rotina (EMBRAPA)

Foram as mesmas realizadas durante a análise prévia do solo:

1. pH em H_2O ;
2. pH em CaCl_2 ;
3. M.O. (g/dm^3);
4. P (mg/dm^3) em Resina;
5. K (mmol/dm^3) Trocável;
6. Ca (mmol/dm^3)
Trocável;
7. Mg (mmol/dm^3)
Trocável;
8. CTC (mmol/dm^3).

As metodologias utilizadas para estas análises foram aquelas descritas por **RAIJ et al (1987)**.

4.6.2 - Metais Totais (EMBRAPA/LAB. SHS):

Esta metodologia consistiu basicamente em uma digestão das amostras com água régia e posterior análise.

Para a digestão com água régia ($1:3 \text{HNO}_3:\text{HCl}$), adiciona-se 250mg da amostra de solo e 12,00 mL da solução ácida em um frasco digestor, em seguida, procede-se ao aquecimento até a temperatura de 120-

130°C durante aproximadamente 2 horas. Espera-se o resfriamento, filtra-se a solução (Filtro Whatman nº 41) e completa-se o volume com água destilada até 25,00 mL. A solução resultante é colocada em um frasco de polietileno de 50mL e levada à análise por EAA no Laboratório de Saneamento do SHS. Este método utilizado pela EMBRAPA segue orientações de JACINTO et. al (1985).

De acordo com a **ENCYCLOPEDIA OF ANALYTICAL SCIENCE (1995)**, podem-se ser dispensadas digestões mais rigorosas com $\text{HF}+\text{HClO}_4$, pois porções dos elementos retidos em matrizes minerais estáveis (silicatos) não trariam conseqüências em termos de fitotoxicidade.

Um método muito parecido (**EPA 3050**) sugerido pela U.S. Environmental Protection Agency descrito em **CANADIAN SOCIETY OF SOIL SCIENCE (1993)** é utilizado com a mesma finalidade, da mesma forma, também são dispensados HF e HClO_4 .

4. 6.3 - Metais Disponíveis

Após uma série de investigações desenvolvidas em conjunto por vários laboratórios europeus e iniciadas pela "Commission of the European Communities, Community Bureau of Reference (CBR)", estabeleceu-se que diversos procedimentos sobre métodos vigentes de especiação de metais do solo com reagentes químicos poderiam ser harmonizados em poucos métodos, entre estes, sugeriu-se a extração com uma solução de $\text{EDTA } 0,05 \text{ mol.L}^{-1}$, descrito por **URE (1993)**.

Este método foi selecionado, em relação a outros, pelos seguintes motivos:

1. Simplicidade;
2. Boa reprodutibilidade;
3. Realizado em uma só etapa;
4. Uso de poucos reagentes;
5. Rapidez de execução;
6. Confiabilidade.

A soluções obtidas das extrações foram inseridas em garrafas de polietileno de 200mL e levadas para o Laboratório de Saneamento para análise via EAA.

4.7 - Metodologias das Análises das Raízes das Cenouras

Conforme descrito anteriormente, as cenoura foram contadas, limpas, lavadas e secas ao ar após a colheita. A produção de cada canteiro foi pesada, colocada em sacos plásticos, rotulada, e finalmente congelada para posterior análise.

Para a obtenção de amostras representativas, procedeu-se inicialmente ao quarteamento da produção de cada canteiro, desprezou-se a parte aérea da cenoura, só a raiz foi tomada para análise, obtendo-se ao final uma quantidade aproximada de 5 (cinco) a 6 (seis) cenouras. Homogeneizaram-se estas cenouras através de um processador doméstico (Multiprocessador Walita Masterplus 250W). O material homogeneizado foi seco ao ar por 30 minutos e, em seguida, acondicionado em recipientes de polietileno e levado ao laboratório (4 canteiros x 3 colheitas = 12 amostras).

Pesou-se cada amostra (cerca de 10 gramas) na forma hidratada e logo após, foram levadas a uma estufa, e secas a 100 °C durante 1 h. Após a secagem foram resfriadas à temperatura ambiente em dessecador, e pesadas. Desta forma foi possível calcular a quantidade de água existente na amostra bruta. Logo em seguida, foram desagregadas em almofariz de ágata e peneiradas em peneira 150 mesh, retornando-as à estufa a 100 °C durante 30 minutos. Resfriou-se em dessecador e pesou-se cerca de 250 mg, adicionando-se 10 ml de água-régia (3 HCl : 1 HNO₃). A digestão foi realizada em forno de microondas com sistema fechado utilizando-se a seguinte programação: 10 min, 300 W; 5 min, 0 W; 5 min, 600 W; 5 min, 0 W,; 10 min, 480 W e 5 min de ventilação. As amostras foram diluídas para balão volumétrico de 25 ml com água deionizada e os

elementos de interesse determinados por espectrometria de emissão atômica com plasma induzido.

Nos procedimentos acima seguiram-se orientações da ***ENCYCLOPEDIA OF ANALYTICAL SCIENCE (1995)***, volume 3, páginas 1554 e 1555 e de ***BETTINELLI et al. (1989)***, páginas 163-164 e 171-173.

As determinações foram feitas em um Espectrômetro de Emissão Atômica com Plasma Induzido da marca Thermo Jarrell Ash, modelo AtomScan 25.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1- Características do Composto

A **TABELA 5.1** mostra os resultados obtidos a partir de duas amostras compostas retiradas do composto de lixo, mostrado na **FIGURA 4.6**, trazido da Usina de Compostagem do Município de Araraquara-SP.

Na análise da composição química do composto observou-se presença de Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio e Magnésio em teores encontradas em composto de lixo domiciliar, (**GUIA RURAL, 1990**). De acordo com **KIEHL (1998)**, o composto utilizado neste trabalho poderia ser classificado como maturado ou humificado devido a sua relação C/N ter o valor de **8/1**, situando-se na faixa que vai de 8/1 até 12/1, indicando um produto acabado ou maturado .

Tomando como referência algumas leis estipuladas por países europeus, com relação aos teores de metais pesados encontrados no composto, **GENEVINI et al. (1997)**¹ apud **KIEHL (1998)** classificariam o composto utilizado neste trabalho como de qualidade baixa em relação ao cádmio; de qualidade com presença de contaminantes com relação ao cobre e chumbo; de qualidade alta com relação ao cromo e de qualidade baixa com relação ao níquel e ao zinco, conforme ilustra a **TABELA 5.2** - Classificação de Qualidade de Composto e Limites para Conteúdos de Metais Pesados em ppm ou mg.Kg⁻¹.

¹ GENEVINI, P.L.; ADANI, F.; BORIO, D.; TAMBONE, F. Heavy metal content in selected european commercial compost. *Compost Science & Utilization*, Emmaus, v.5, p.31-39, 1997.

TABELA 5.1 - Resultados da caracterização do composto.

<i>Parâmetro</i>	<i>Resultados em percentagem (%)</i>
Umidade na base de matéria seca a 100-105°C	10,75
Teor de matéria orgânica	28,2
Carbono orgânico total	15,7
Nitrogênio total	1,9
Fósforo	0,5
Potássio	0,7
Cálcio	2,5
Magnésio	0,2
<i>Parâmetro</i>	<i>Resultados em mg.Kg⁻¹ e Desvio Padrão</i>
Cádmio (Total);	5 ± 1
Cobre (Total);	351 ± 7
Cromo (Total);	122 ± 27
Níquel (Total);	142 ± 43
Zinco (Total);	1123 ± 178
Chumbo (Total).	263 ± 53

Obs.: Os resultados são expressos na base seca a 100-105°C
A obtenção do valor do carbono orgânico total é conseguido pela divisão da
matéria orgânica total por 1,8 , segundo KIEHL (1998).

TABELA 5.2 - Classificação de Qualidade de Composto e Limites para
Conteúdos de metais pesados em ppm ou mg.Kg⁻¹.

Classe de Composto	Cádmio	Crômio	Níquel	Chumbo	Cobre	Zinco
Qualidade muito alta	abaixo de 1	abaixo de 70	abaixo de 30	abaixo de 100	abaixo de 100	abaixo de 200
Qualidade alta	1 - 2,5	70-150	30-60	100-150	100-200	200-400
Presença de contaminantes	2,6 - 4	151-200	61-100	151-500	201-400	401-1000
Qualidade Baixa	acima de 4	acima de 200	acima de 100	acima de 500	acima de 400	acima de 1000

Extraído de GENEVINE et al. (1997) apud KIEHL (1998)

5.2 - Propriedades Iniciais do Solo

5.2.1 - Potencial Hidrogeniônico (pH)

Constatou-se uma acidez média, segundo **GUIA RURAL (1990)**, de pH entre 5 e 6. Estas medidas foram efetuadas em água e em solução 0,01M de CaCl₂.

5.2.2 - Resultados dos teores de M.O. , P , K , Ca e Mg

De forma a facilitar a discussão, são apresentadas a seguir a **TABELA 5.3** - Faixas Interpretativas para Fins de Fertilização e a **TABELA 5.4** - O Significado dos Valores de Alguns Parâmetros do Solo, segundo **BARBIERI et al (1984)²** apud **SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (1986)** e **GUIA RURAL (1990)**, respectivamente.

² BARBIERI, J. L., POLI, D.M. E DONZELLI, J.L. (1984). Cartografia da Fertilidade de Solos e Programas de Fertilização e alocação de variedades. II Seminário de Tecnologia Agrônômica. Centro de Tecnologia Copersucar. Piracicaba.

Discute-se, nos itens seguintes os resultados dos teores de M.O. , P, K, Ca e Mg mostrados na TABELA 5.5, comparados com as informações compiladas na literatura.

TABELA 5.3 - Faixas Interpretativas para Fins de Fertilização.

Potássio H₂SO₄ 0,5N	Teor muito baixo baixo médio alto Muito alto	me K⁺ /100mL $\leq 0,12$ $> 0,12-0,23$ $> 0,23-0,39$ $> 0,39-0,78$ $> 0,78$
Cálcio KCl 1N	Teor baixo médio alto	me Ca⁺ /100mL ≤ 2 $> 2-5$ > 5
Magnésio KCl 1N	Teor baixo médio alto	me Mg⁺ /100mL $\leq 0,5$ $> 0,5-1,0$ $> 1,0$
Matéria Orgânica	Teor baixo médio alto	me Mg⁺ /100mL $\leq 1,4$ $> 1,4-2,4$ $> 2,4$

Fonte: BARBIERI et. al. (1985)² apud SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO (1986).

² BARBIERI, J.L., POLI, D.M. E DONZELLI, J.L. 1984. Cartografia da Fertilidade de Solos e Programas de Fertilização e alocação de variedades. II Seminário de Tecnologia Agrônômica. Centro de Tecnologia Copersucar. Piracicaba.

TABELA 5.4 - O Significado dos Valores de Alguns Parâmetros do Solo.

pH (potencial de hidrogênio)			
Níveis		O que significam	
Inferior a 5		acidez alta	
de 5 a 6		acidez média	
7		solo neutro	
maior que 7		solo alcalino	

Magnésio (em e.mg/100mL de solo)		Potássio (em e.mg/100mL de solo)	
Níveis		Níveis	
Inferior a 0,4		Superior a 0,1	baixa quantidade
de 0,4 a 0,8	média quantidade	de 0,1 a 0,3	média quantidade
superior a 0,8	alta quantidade	de 0,3 a 0,6	alta quantidade
		Superior a 0,6	altíssima quantidade

Cálcio (em e.mg/100mL de solo)		Carbono (em porcentagem)	
Níveis		Níveis	
Inferior a 2			
	pouca quantidade	Inferior a 0,8	alta quantidade
de 2 a 4	média quantidade	de 0,8 a 1,4	média quantidade
superior a 4	alta quantidade	Superior a 1,4	alta quantidade

Fósforo (em ppm)		Matéria Orgânica (em porcentagem)	
Níveis		Níveis	
Inferior a 6		Inferior a 1,4	pouca quantidade
de 6 a 12	média quantidade	de 1,4 a 2,4	média quantidade
Superior a 12	alta quantidade	Superior a 2,4	alta quantidade

Fonte: GUIA RURAL (1990)

TABELA 5.5 - Resultados da caracterização prévia do Solo.

Parâmetro	Resultado
pH em H ₂ O	6,0
pH em CaCl ₂	5,3
M.O. (%)	2,3
P (mg.Kg ⁻¹) em Resina	17,3
K mmolc. (100mL) ⁻¹ Trocável	0,16
Ca mmolc. (100mL) ⁻¹ Trocável	4,3
Mg mmolc. (100mL) ⁻¹ Trocável	2,2
CTC mmolc.(100g) ⁻¹	5,2

Obs.: As determinações dos resultados foram efetuadas nas amostras secas ao ar.

5.2.2.1 - Teor de Matéria Orgânica

Pode-se considerar médio o teor de matéria orgânica, em virtude do valor encontrado 2,3% estar dentro da faixa (média quantidade) que vai de 1,4 a 2,4%.

5.2.2.2 - Concentração de Fósforo

Considerando o valor encontrado de 17,3 mg/Kg, podemos considerar de grau médio o teor de fósforo no solo, levando-se em conta que esta faixa abrange valores maiores que 12 mg/Kg.

5.2.2.3 - Concentração de Potássio

Considerando-se que o valor encontrado é igual a 0,16 mmolc/dm³ pode-se dizer que o solo apresenta um valor baixo de potássio, pois este está dentro da faixa que vai de 0,12 a 0,23 mmolc.(100mL)⁻¹ considerada baixa.

5.2.2.4 - Concentração de Cálcio

Os valor 4,3 mmolc. (100mL)⁻¹ situa-se na faixa de teor médio, que vai de 2 até 5 mmolc. (100mL)⁻¹

5.2.2.5 - Concentração de Magnésio

Os valores encontrados 2,2 mmolc. (100mL)⁻¹ estão acima de 1,0 mmolc.(100mL)⁻¹ indicando alto teor de magnésio no solo amostrado.

5.2.2.6 - Capacidade de Troca Catiônica

As amostras indicaram uma CTC alta, $5,2 \text{ mmolc.}(100\text{g})^{-1}$, muita acima $4 \text{ emg.}(100\text{g})^{-1}$ ou $4 \text{ mmolc.}(100\text{g})^{-1}$, que segundo **CURI & LOPES (1986)³** apud **SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO** indica uma alta CTC efetiva (**TABELA 5.6**), sugerindo uma pequena disponibilidade em termos de metais pesados para as raízes e uma boa adsorção de elementos químicos potencialmente tóxicos no material constituinte do solo.

TABELA 5.6 - CTC efetiva

CTC efetiva:
<i>Baixo: menor que 1,5 emg/100g</i>
<i>Médio: 1,5 - 4,0 emg/100g</i>
<i>Alto: maior que 4,0 emg/100g</i>

³ CURI, N. e A. S. LOPES (1986). Soil Acidity and Fertility evaluation on Oxisols: a need for adequate management. Acid tropical Soils Management Network, Brasília.

5.3 - Resultados das Análises de Rotina

Os resultados das análises de rotina do solo após a 1^a, 2^a e 3^a colheita estão apresentadas nas **TABELAS 5.7, 5.8 e 5.9** respectivamente. Os resultados dos parâmetros obtidos são discutidos nos itens seguintes:

TABELA 5.7 - Resultados das Análises de Rotina do Solo após a **1^a**
Colheita

Canteiro e Teor de Composto	pH H2O	pH CaCl2	M O	P (Resina)	K	Ca	Mg	CTC
			%	mg. Kg ⁻¹	mmolc.(100mL) ⁻¹	Trocável		mmolc.(100g) ⁻¹
1(0 t/ha)	5,8	5,2	2,1	15,9	0,1	4,2	0,9	4,3
2 (30t/há)	6,1	5,4	2,4	25,5	0,2	5,6	0,9	4,7
3 (60t/há)	6,7	6,1	2,4	21,8	0,4	8,1	1,3	5,6
4 (90t/há)	6,7	6,1	2,9	26,4	0,5	8,8	1,4	6,0

TABELA 5.8 - Resultados das Análises de Rotina do Solo após a **2^a**
Colheita

Canteiro e Teor de Composto	pH H2O	pH CaCl2	M O	P (Resina)	K	Ca	Mg	CTC
			%	mg. Kg ⁻¹	mmolc.(100mL) ⁻¹	Trocável		mmolc.(100g) ⁻¹
1(0 t/ha)	5,7	5,1	2,2	18,6	0,1	4,2	0,9	4,2
2 (30t/há)	6,1	5,5	2,2	36,4	0,2	6,6	1,0	5,2
3 (60t/há)	6,8	6,2	2,2	33,2	0,2	8,7	1,3	5,6
4 (90t/há)	6,5	6,1	2,6	25,9	0,1	6,3	1,0	4,4

TABELA 5.9 - Resultados das Análises de Rotina do Solo após a 3ª
Colheita

Canteiro e Teor de Composto	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	M O %	P (Resina) mg.Kg ⁻¹	K mmolc.(100mL) ⁻¹	Ca Trocável	Mg Trocável	CTC mmolc.(100g) ⁻¹
1(0 t/ha)	5,9	5,1	1,9	19,5	0,0	4,1	0,9	4,1
2 (30t/há)	6,1	5,3	1,9	21,4	0,1	4,6	0,8	4,2
3 (60t/há)	6,7	6,2	1,9	10,9	0,1	7,2	1,0	4,8
4 (90t/há)	6,5	5,8	2,2	26,4	0,3	8,2	1,1	5,6

5.3.1 - Potencial Hidrogeniônico e Seus Efeitos

Observa-se, segundo as **TABELAS 5.7, 5.8 e 5.9**, que houve um aumento relativo de pH com a taxa de aplicação do composto. Esse efeito perdurou durante os três cultivos, independentemente de nova aplicação de composto. Sabe-se que os metais são afetados diferentemente pelo pH, alguns tendo sua disponibilidade aumentada e outros diminuída com o aumento do pH, entretanto no caso do Cu, Ni, Zn, Pb e Cd, à medida que o pH do solo aumenta, a disponibilidade destes metais diminui.

No caso do Cr, quando a contaminação é devida ao Cr⁺⁶ uma diminuição do pH com a a adição de agentes redutores (matéria orgânica, por exemplo) pode ser usada para acelerar a redução a Cr⁺³, insolúvel nas condições normais do solo. Mas, uma vez efetuada a redução o aumento do pH seria recomendável para a precipitação de compostos de Cr⁺³, segundo **KABATA-PENDIAS & PENDIAS (1985)⁴ apud MALAVOLTA (1994)**.

5.3.2 - Teor de Matéria Orgânica (M.O)

Em virtude da adição de composto com um teor de 28,2% de M.O à taxa de 30 t/ha no canteiro 2, 60 t/ha no canteiro 3 e 90 t/ha no canteiro 4, deveria ocorrer um aumento crescente no teor de M.O. encontrado no solo, porém não se observou esse crescimento de forma tão

⁴ KABATA-PENDIAS, A & PENDIAS⁴ (1985). Trace elements in soils and plants. CRC Press, Inc. Boca Raton. 315 p.

acentuada. Na verdade, constatou-se, após a primeira colheita, que os teores de M.O. dos canteiros 2 (30t/ha) e 3 (60t/ha) eram iguais entre si e maiores que a testemunha, após 4 meses de aplicação do composto e que o canteiro 4 (90t/ha) apresentava o maior teor de M.O. dos canteiros.

Após a segunda colheita os canteiros 1,2 e 3 apresentaram teores de M.O. iguais, mas ainda inferiores ao canteiro 4.

As últimas análises após a terceira e última colheita indicaram que os canteiros 1, 2 e 3, ainda apresentavam teores iguais entre si, entretanto valores menores que os da 2ª colheita, já o canteiro 4 continuou apresentando o maior teor entre eles, apesar do valor ser menor que o observado durante a segunda colheita.

Observou-se uma redução do teor de M.O. em todos os canteiros com o tempo e uma tendência a igualdade de valores entre os quatro canteiros.

5.3.3 - Teor de Fósforo

Não se pôde constatar relação direta entre o aumento da taxa de aplicação do composto com o aumento do teor de fósforo, mas se observou que o canteiro testemunha manteve um teor sempre menor que os canteiros onde foi aplicado o composto.

O canteiro 2 e 3 apresentaram os maiores teores na análises realizadas após a 2ª colheita, indicando alta quantidade de Fósforo (36,4 e 33,2 respectivamente), isto é, aproximadamente três vezes o valor de 12mg.Kg^{-1} que indica um nível de alta quantidade de fósforo, vide **TABELA 5.4 - O significado dos valores de alguns parâmetros do solo, segundo GUIA RURAL (1990)**. O canteiro 2 manteve, ainda, uma taxa de fósforo sempre acima do canteiro 3 apesar da maior taxa de aplicação neste último. Não houve grande alteração nos valores observados para o canteiro 4 durante as três análises do solo compostado.

5.3.4 - Teor de Potássio

Observou-se que o teor de potássio aumentou com a taxa de aplicação do composto a cada colheita, exceto pelo valor $0,1 \text{ mmolc.}(100\text{mL})^{-1}$ encontrado após a segunda colheita no canteiro 4, que foi menor que o valor encontrado no canteiro 2 e 3.

Com o decorrer do tempo, houve uma tendência de redução dos teores de potássio, exceto pelo canteiro 4 durante a terceira e última colheita que apresentou teor $0,3 \text{ mmolc.}(100\text{mL})^{-1}$ maior que o apresentado pelo mesmo canteiro durante a segunda colheita $0,1 \text{ mmolc.}(100\text{mL})^{-1}$.

5.3.5 - Teor de Cálcio

Como no caso do potássio o teor de cálcio aumentou com aumento da taxa de aplicação, também constatou-se que após a segunda colheita os canteiros 2 e 3 apresentavam teores maiores que o canteiro 4.

Os teores de cálcio durante os três cultivos mantiveram-se acima de $4 \text{ mmolc.}(100\text{mL})^{-1}$ indicando uma alta quantidade de cálcio. Não se constatou uma redução progressiva de cálcio com as seguidas colheitas, como ocorreu no caso do Potássio.

5.3.6 - Teor de Magnésio

Todos os canteiros, inclusive a testemunha, apresentaram um alto teor e pôde-se observar que os teores aumentaram com o aumento da taxa de aplicação. Este comportamento foi observado nos resultados obtidos nas três colheitas, exceto pelo canteiro 4 após a segunda colheita.

5.3.7 - Capacidade de Troca Catiônica.

Todos os canteiros indicaram uma CTC alta, independentemente da época. Os valores observados durante uma dada colheita indicaram um crescimento com a taxa de aplicação do composto.

Comparando-se os valores observados entre um mesmo canteiro durante as três colheitas, podemos verificar que da 1ª (primeira) até a 3ª (terceira) colheita os valores tendem a decrescer, com exceção do canteiro 4 que apresenta uma redução da primeira para a segunda colheita e na terceira indica um aumento em relação a segunda.

Este comportamento reforça os resultados encontrados para os cátions potássio, cálcio e magnésio que fazem parte dos cálculos da CTC efetiva do solo.

5.4 - Teores Totais e Disponíveis de Metais nas Amostras de Solo

Os teores totais de metais obtidos nas amostras de solo estão representadas nas tabelas **5.10, 5.11 e 5.12** (1ª, 2ª e 3ª colheita) e os teores disponíveis de metais nas tabelas **5.13, 5.14 e 5.15** (1ª, 2ª e 3ª colheita), discute-se, nos itens seguintes esses resultados.

TABELA 5.10 - Teores totais de metais nas amostras de solo após a 1ª Colheita

<i>Canteiro e Teor de Composto</i>	<i>Zn</i>	<i>Pb</i>	<i>Cd</i>	<i>Ni</i>	<i>Cu</i>	<i>Cr</i>
	<i>mg/Kg</i>					
1- (0t/ha)	113,8	ND	ND	8,1	56,9	6,3
2- (30t/ha)	125,0	ND	ND	9,4	57,5	7,5
3- (60t/ha)	56,3	ND	ND	23,8	55,0	11,9
4- (90t/ha)	98,8	8,75	ND	8,8	53,8	ND

Obs.: As amostras de solo foram secas ao ar

TABELA 5.11 - Teores totais de metais nas amostras de solo após a 2ª Colheita

Canteiro e Teor de Composto	Zn	Pb	Cd	Ni	Cu	Cr
	mg/Kg					
1- (0t/ha)	115,0	ND	ND	7,5	63,1	8,1
2- (30t/ha)	88,8	20	ND	41,9	59,4	8,8
3- (60t/ha)	100,0	8,75	ND	34,4	55,6	12,5
4- (90t/ha)	99,4	7,5	ND	10,0	51,9	ND

Obs.: As amostras de solo foram secas ao ar

TABELA 5.12 - Teores totais de metais nas amostras de solo após a 3ª Colheita

Canteiro e Teor de Composto	Zn	Pb	Cd	Ni	Cu	Cr
	mg/Kg					
1- (0t/ha)	102,5	ND	ND	6,3	58,1	7,5
2- (30t/ha)	75,0	ND	ND	38,8	55,6	11,9
3- (60t/ha)	86,3	ND	ND	23,8	51,9	25,0
4- (90t/ha)	90,0	7,5	ND	10,0	45,0	ND

Obs.: As amostras de solo foram secas ao ar

TABELA 5.13 - Metais Disponíveis (*Extração com EDTA*) 1ª Colheita

Canteiro e Teor de Composto	Zn	Pb	Cd	Ni	Cu	Cr
	mg/Kg					
1- (0t/ha)	15	7	ND	ND	21,8	ND
2- (30t/ha)	20	8	ND	0,6	25,5	ND
3- (60t/ha)	20	7,8	ND	1	26	ND
4- (90t/ha)	30	11	ND	1,5	30,2	ND

TABELA 5.14 - Metais Disponíveis (*Extração com EDTA*) 2ª Colheita

Canteiro e Teor de Composto	Zn	Pb	Cd	Ni	Cu	Cr
	mg/Kg					
1- (0t/ha)	15	7	ND	0,6	20,4	ND
2- (30t/ha)	30	9,7	ND	0,6	29,4	ND
3- (60t/ha)	25	8,9	ND	1,1	26,7	ND
4- (90t/ha)	40	14	ND	2	31	ND

TABELA 5.15 - Metais Disponíveis (*Extração com EDTA*) 3ª Colheita

Canteiro e Teor de Composto	Zn	Pb	Cd	Ni	Cu	Cr
	mg/Kg					
1- (0t/ha)	15	5,4	ND	0,9	20,5	ND
2- (30t/ha)	15	7,2	ND	1,7	24	ND
3- (60t/ha)	15	8	ND	1,1	24,6	ND
4- (90t/ha)	28	10,5	ND	1,8	27	ND

5.4.1 - Teores de Zinco Total e Disponível

Segundo MELO, W. J. et al. (1997), os teores de zinco nos solos do Estado de São Paulo, vão de 4 mg.Kg⁻¹ (re-gossolo) a 236 mg.Kg⁻¹ (latossolo roxo).

Observou-se que os valores dos teores totais de zinco não aumentaram com a taxa de aplicação do composto, conforme TABELAS 5.10 , 5.11 e 5.12 que indicam os teores totais de metais nas amostras de solo após as colheitas. Ao relacionarmos os valores podemos verificar que os maiores foram encontrados no canteiro 2 na 1ª colheita (TABELA 5.10) e no canteiro 1 (testemunha) na 2ª colheita (TABELA 5.11) e 3ª colheita (TABELA 5.12), portanto não se pode dizer, observando estes resultados, que a taxa de aplicação de composto neste cultivo realmente influenciou de maneira significativa o teor total de zinco determinado.

Os resultados dos teores totais e disponíveis de zinco estão ilustrados nas figuras 5.1 e 5.2, respectivamente.

Apesar dos resultados dos teores totais não indicarem relação direta com a taxa de aplicação do composto (**FIGURA 5.1**), os valores (**TABELAS 5.13, 5.14 e 5.15**) observados durante a extração com EDTA (metais disponíveis) indicam um tendência de aumento dos teores do 1º ao 4º canteiro a cada colheita (**FIGURA 5.2**), este aumento chegou a 166% durante a segunda colheita, com os valores variando de 15 a 40 mg.Kg⁻¹.

FIGURA 5.1 - Teores Totais de Zinco nas Amostras de Solo por Canteiro e Colheita.

FIGURA 5.2 - Teores Disponíveis de Zinco nas Amostras de Solo por Canteiro e Colheita

5. 4. 2 - Teor de Chumbo Total e Disponível

Os teores de chumbo nos solos do Estado de São Paulo variam de 0,6-13 mg.Kg⁻¹ de acordo com **MELO, W. J. et al. (1997)**.

Os resultados dos teores totais e disponíveis de chumbo estão ilustrados nas **figuras 5.3 e 5.4**, respectivamente.

Apesar de não ter sido possível realizar uma comparação entre os resultados das três colheitas para o teor total do metal (**FIGURA 5.3**), devido a ausência de vários resultados (**TABELA 5.10 à 5.12**), causada possivelmente pela precipitação do chumbo com o cloreto durante as análises, os resultados dos teores disponíveis (Extração com EDTA), relacionados nas **TABELAS 5.13 à 5.15** indicaram uma tendência de aumento em todas as colheitas (**FIGURA 5.4**), com uma variação de até 100% (7 a 14 mg.Kg⁻¹), do 1º ao 4º canteiro, após a segunda colheita.

FIGURA 5.3 - Teores Totais de Chumbo nas Amostras de Solo por Canteiro e Colheita.

FIGURA 5.4 - Teores Disponíveis de Chumbo nas Amostras de Solo por Canteiro e Colheita

5. 4. 3 - Teor de Níquel Total e Disponível

Os teores de níquel nos solos do estado de São Paulo variam de 10 a 127 mg.Kg^{-1} de acordo com **MELO, W. J. et al. (1997)**.

Os resultados dos teores totais e disponíveis de níquel estão ilustrados nas **figuras 5.5 e 5.6**, respectivamente.

Observando os valores do teor de metais totais obtidos na primeira colheita (**TABELA 5.10**), verificou-se um crescimento do canteiro 1 ao 3 e decréscimo do canteiro 3 para o 4, entretanto não se verifica, nos valores das colheitas seguintes (**TABELAS 5.11 e 5.12**), um crescimento do teor do metal com a taxa de aplicação do composto, além disso o valor do teor total de níquel no canteiro 4 se mantém abaixo do canteiro 2 e do canteiro 3 em todas as amostragens, apesar da taxa aplicada no canteiro 4 ser maior.

Embora os teores totais não mostrem uma relação direta entre a taxa de aplicação e o teor deste metal presente no solo (**FIGURA 5.5**), quando se observa os valores obtidos na extração com EDTA (**TABELA 5.13 à 5.15**) é possível dizer que existe uma tendência de aumento com a taxa de aplicação (**FIGURA 5.6**), chegando 233% de aumento ($0,6$ a 2 mg.Kg^{-1}) após a segunda colheita.

FIGURA 5.5 - Teores Totais de Níquel nas Amostras de Solo por Canteiro e Colheita.

FIGURA 5.6 - Teores Disponíveis de Níquel nas Amostras de Solo por Canteiro e Colheita

5. 4. 4 - Teor de Cobre Total e Disponível

Os teores de cobre nos solos do estado de São Paulo variam de 2 a 340 mg.Kg⁻¹ de acordo com **MELO, W. J. et al. (1997)**.

Os resultados dos teores totais e disponíveis de cobre estão ilustrados nas **figuras 5.7 e 5.8**, respectivamente.

Observou-se uma relação inversamente proporcional, após as três colheitas, entre a taxa de aplicação do composto e o teor total de cobre presente no solo (**FIGURA 5.7**).

De maneira completamente oposta ao observado para o teor total do metal, o teor disponível (extraído com EDTA) aumentou com a taxa de aplicação em todas as colheitas (**FIGURA 5.8**).

O decréscimo do valor do teor total do metal do canteiro 1 ao 4 (**TABELA 5.10 à 5.12**) não pôde ser explicado, por dois motivos: a) o cobre é um dos metais menos móveis entre os metais pesados; b) este metal é efetivamente excluído da raiz da cenoura, conforme explica

CHANEY apud SHAUER (1980) e se não fosse deste forma, ainda assim, o canteiro 1 deveria apresentar uma concentração menor que os canteiros 3 e 4, já que a produção geralmente se manteve maior em massa produzida e em quantidade de mudas.

O crescimento do teor disponível, entretanto sugere uma relação direta com a taxa de aplicação do composto, pois em todas as colheitas, durante as amostragens dos canteiros 1 ao 4, houve crescimento dos teores extraídos do metal.

FIGURA 5.7 - Teores Totais de Cobre nas Amostras de Solo por Canteiro e Colheita.

FIGURA 5.8 - Teores Disponíveis de Cobre nas Amostras de Solo por Canteiro e Colheita

5. 4. 5 - Teor de Cádmio Total e Disponível

Os teores de cádmio nos solos em geral variam de 0,1 até 1,0 mg.Kg^{-1} de acordo com **MELO, W. J. et al. (1997)**.

Em nenhuma das amostras foi possível uma detecção dos teores de cádmio presentes, isto se deve possivelmente ao baixo teor deste elemento no solo e no composto e, segundo **KIEHL, J. E. (1998)** ao fato do zinco competir com o cádmio por sítios de adsorção do solo, reduzindo ainda mais a concentração deste último elemento.

5. 4. 6 - Teor de Crômio Total e Disponível

Os teores de crômio nos solos em geral variam de 100 até 300 mg.Kg^{-1} de acordo com **MELO, W. J. et al. (1997)** e, segundo **MATTIAZZO (1994)**, o teor médio mundial está em torno de 50 mg.Kg^{-1} .

Os resultados dos teores totais e disponíveis de cromo estão ilustrados nas **figuras 5.9 e 5.10**, respectivamente.

Os teores totais de cromo indicaram um aumento com a taxa de aplicação (**FIGURA 5.9**), embora este aumento tenha sido constatado durante as três colheitas (**TABELAS 5.10 À 5.12**) ele só foi observado do canteiro 1 ao 3, pois não foram detectados os valores de cromo no canteiro 4 em todas as colheitas.

É possível que o valor de 90 t/ha contenha um teor de matéria orgânica que provoque a formação de compostos altamente insolúveis e, desta forma, o teor total do metal não pôde ser detectado nas amostras do canteiro 4.

Não foi possível detectar o teor do metal nas soluções extratoras, devido possivelmente ao cromo estar quelatizado pela matéria orgânica presente em todos os canteiros.

FIGURA 5.9 - Teores Totais de Cromo nas Amostras de Solo por Canteiro e Colheita.

5. 5 - Teor de Metais nas Raízes das Cenouras por ICP-AES

Os resultados dos teores de metais nas raízes das cenouras estão relacionados na **TABELA 5.16** e ilustrados nas **FIGURAS 5.10, 5.11 e 5.12**.

Observou-se que a absorção de cobre nas amostras das raízes das cenouras analisadas (**FIGURA 5.10**), em geral, cresceu em um mesmo canteiro a cada colheita (**TABELA 5.16**), exceto pelo teor obtido na amostragem do canteiro 3 após a 3ª colheita, que foi inferior ao obtido pelo mesmo canteiro após a 2ª colheita. Estes resultados contradizem aqueles apresentados por **CHANEY apud SHAUER (1980)** citado na revisão de literatura e também indicam que o teor de cobre das amostras do canteiro testemunha cresceram tanto ou mais que os outros canteiros, desta forma o teor de cobre não deve estar diretamente ligado à taxa de aplicação do composto.

O teor de cromo mostrou uma relativa tendência de crescimento para o mesmo canteiro a cada colheita (**FIGURA 5.11**), mas o canteiro testemunha apresentou idêntico comportamento e, além disso, um valor superior ao do canteiro 3 após a 2ª colheita e um valor maior ou igual a todos os outros canteiros após a 3ª colheita. Portanto, não se pode afirmar que há uma relação direta ou inversa entre a absorção do cromo pela cenoura e a taxa de aplicação do composto, exceto se considerarmos somente a primeira colheita, mas ainda assim relevando o teor apresentado pela testemunha que neste caso foi maior que o segundo e terceiro canteiro.

Observou-se que o comportamento do teor de zinco foi muito semelhante ao apresentado pelo cromo, indicando uma tendência de crescimento do teor para o mesmo canteiro a cada colheita (**FIGURA 5.12**), mas também não foi possível relacionar direta ou indiretamente o teor de metal na cenoura com a taxa de aplicação, exceto se considerarmos a 1ª colheita.

Não foi possível detectar os teores exatos de níquel, cádmio e chumbo, em virtude dos valores apresentados pelas amostras estarem abaixo dos limites de detecção do aparelho.

TABELA 5.16 - Teores de Metais nas Raízes Cenouras por ICP-AES

Amostras	Cu (mg/L)	Ni (mg/L)	Cd (mg/L)	Cr (mg/L)	Zn (mg/L)	Pb (mg/L)	Umidade (% m/m)
Canteiro 1 1ª Colheita	9,0 ± 0,71	< 20	< 2	11,5 ± 1,41	37,0 ± 1,41	< 26	90,1
Canteiro 2 1ª Colheita	8,0 ± 0,71	< 20	< 2	< 9	29,0 ± 2,83	< 26	89,7
Canteiro 3 1ª Colheita	13,0 ± 1,41	< 20	< 2	11,0 ± 0	33,0 ± 2,12	< 26	88,4
Canteiro 4 1ª Colheita	12,0 ± 0,71	< 20	< 2	12,0 ± 0	38,0 ± 0,71	< 26	89,4
Canteiro 1 2ª Colheita	24,0 ± 0	< 20	< 2	15,0 ± 2,12	45,0 ± 0	< 26	90,8
Canteiro 2 2ª Colheita	18,0 ± 2,12	< 20	< 2	22,0 ± 2,12	46,0 ± 0	< 26	92,4
Canteiro 3 2ª Colheita	28,0 ± 1,41	< 20	< 2	13,0 ± 2,12	44,0 ± 1,41	< 26	93,1
Canteiro 4 2ª Colheita	20,0 ± 0	< 20	< 2	17,0 ± 2,12	55,0 ± 2,12	< 26	93,1
Canteiro 1 3ª Colheita	53,0 ± 3,54	< 20	< 2	16,0 ± 0,71	54,0 ± 3,54	< 26	92,4
Canteiro 2 3ª Colheita	41,0 ± 2,12	< 20	< 2	13,0 ± 1,41	56,0 ± 2,12	< 26	93,0
Canteiro 3 3ª Colheita	24,0 ± 2,12	< 20	< 2	15,0 ± 2,12	45,0 ± 1,41	< 26	92,2
Canteiro 4 3ª Colheita	24,0 ± 2,83	< 20	< 2	16,0 ± 0,71	52,0 ± 0	< 26	92,3

Obs.: Valores relatados na base seca a 100 °C

FIGURA 5.10 - Teores de Cobre nas Amostras das Raízes de Cenoura, na base seca, por Canteiro e Colheita

FIGURA 5.11 - Teores de Crômio nas Amostras das Raízes de Cenoura, na base seca, por Canteiro e Colheita

FIGURA 5.12 - Teores de Zinco nas Amostras das Raízes de Cenoura na, base seca, por Canteiro e Colheita

5.6 - Índices da Produção de Cenouras por Canteiro e Colheita e suas Relações com os Teores de Metais

Os resultados da produção das raízes de cenouras estão mostrados na **TABELA 5.17**. Discute-se, nos itens seguintes, a influência do teor de metais com os resultados da produção de cenouras.

TABELA 5.17 – Resultados da Produção das Raízes de Cenouras

Canteiros/Colheitas	Taxa de Sobrevivência das Mudas em Porcentagem (%)	Taxa de Mortalidade das Mudas em Porcentagem (%)	Peso Médio das Cenouras em gramas (g)	Massa Total Obtida por Canteiro em gramas (g)
Canteiro 1 - 1ª Colheita	90,2	9,8	20,3	4665
Canteiro 2 - 1ª Colheita	94,9	5,1	35,5	8585
Canteiro 3 - 1ª Colheita	75,8	24,2	21,8	4390
Canteiro 4 - 1ª Colheita	66,9	33,1	29,9	5195
Canteiro 1 - 2ª Colheita	77,0	23,0	8,1	1250
Canteiro 2 - 2ª Colheita	44,8	55,2	17,3	1935
Canteiro 3 - 2ª Colheita	23,6	76,4	10,3	610
Canteiro 4 - 2ª Colheita	21,2	78,8	14,2	750
Canteiro 1 - 3ª Colheita	73,1	26,9	11,2	1310
Canteiro 2 - 3ª Colheita	50,5	49,5	5,9	595
Canteiro 3 - 3ª Colheita	42,5	57,5	9,4	800
Canteiro 4 - 3ª Colheita	42,5	57,5	13,4	1140

5.6.1 - Taxa Mortalidade das Mudanças e Teor Disponível dos Metais no solo

A **FIGURA 5.13** mostra a taxa de mortalidade de mudas de cenouras por canteiro e por colheita.

FIGURA 5.13 - Taxa de Mortalidade das Mudanças de Cenouras por Canteiro e Colheita

Verificou-se alguma relação entre a taxa de mortalidade das cenouras, relacionada na **TABELA 5.17**, e a disponibilidade dos metais no solo. Para o cobre observou-se que durante a 3ª colheita com o crescimento do teor disponível do solo cresceu a taxa de mortalidade das plantas (**FIGURA 5.13**), mas não se verificou esta relação direta para a 1ª e 2ª colheitas.

O teor disponível de níquel (**FIGURA 5.6**) pode ser relacionado diretamente com a taxa de mortalidade das mudas (**FIGURA 5.13**) durante a primeira e segunda colheita.

Pode-se relacionar diretamente o teor disponível de chumbo (**FIGURA 5.4**) após a 3ª colheita com a taxa de mortalidade (**FIGURA 5.13**), porém não se pode fazer o mesmo com a 1ª e 2ª colheitas.

O teor de zinco disponível (**FIGURA 5.2**) não mostrou relação direta nem inversa com a taxa de mortalidade das mudas.

Apesar de não ser possível estabelecer uma relação do teor disponível do metal com a taxa de mortalidade das mudas para todas as colheitas, os valores máximos dos teores de cobre, níquel, chumbo e zinco coincidem com o máximo de mortalidade, determinado após a segunda colheita no canteiro 4 (onde aplicou-se a maior taxa de composto).

5.6.2 - Taxa de Mortalidade das Mudas e Teor Total dos Metais no Solo

Os teores totais de cromo encontrados nas amostras de solo (**FIGURA 5.9**) indicaram para a 2ª e 3ª colheita relação direta com a mortalidade (**FIGURA 5.13**), apesar de não se ter conseguido obter os teores de cromo do 4ª canteiro em nenhuma colheita. Não foi possível determinar de uma forma conclusiva, a causa da não detecção de cromo total no canteiro 4.

Os teores totais de cobre (**FIGURA 5.7**) apresentaram relação inversa com a taxa de mortalidade das mudas, exceção feita à primeira colheita.

Se não considerarmos o canteiro testemunha durante a 2ª e 3ª colheitas pode-se observar uma relação direta da taxa de mortalidade com os teores totais de zinco encontrados nas amostras (**FIGURA 5.1**).

Os teores totais de chumbo, em virtude da ausência de alguns resultados, não puderam ser devidamente relacionados com a taxa de mortalidade.

Os teores totais de níquel (**FIGURA 5.5**) não indicaram nenhuma relação aparente com a taxa de mortalidade.

5.6.3 - Taxa de Mortalidade das mudas e Teor de Metais nas raízes das Cenouras

Somente nas amostras obtidas após a terceira colheita, observou-se uma relação inversa entre a mortalidade (**FIGURA 5.13**) e o teor de cobre nas raízes das cenouras (**FIGURA 5.10**).

Só os resultados do teor de cromo (**FIGURA 5.11**) e zinco (**FIGURA 5.12**) após a 1ª colheita indicaram uma relação direta com a mortalidade.

5.6.4 - Massa Total das Raízes das Cenouras Colhidas e Teor Disponível dos Metais no Solo

A **FIGURA 5.14** mostra a massa total das raízes das cenouras colhidas por canteiro e por colheita.

FIGURA 5.14 - Massa total das Raízes das Cenouras Colhidas por Canteiro e Colheita

Pode-se observar uma relação direta entre o teor disponível de cobre (**FIGURA 5.8**) e a massa total das raízes produzidas (**TABELA 5.17 e FIGURA 5.14**), durante a 1ª e 2ª colheitas, e a mesma relação durante a terceira colheita se relevarmos o resultado do canteiro testemunha.

Com o teor disponível de níquel (**FIGURA 5.6**) não foi possível estabelecer nenhuma relação.

O teor disponível de chumbo (**FIGURA 5.4**) relaciona-se com a massa produzida (**FIGURA 5.14**) de uma maneira muito parecida com a do cobre, apresentando a mesma relação direta se não levarmos em consideração o canteiro testemunha durante a 3ª colheita.

O teor disponível de zinco (**FIGURA 5.2**) também apresentou um comportamento parecido com o do cobre, relacionando-se diretamente com a massa total produzida durante a 1ª e 2ª colheita, entretanto durante a terceira colheita nenhuma relação pôde ser verificada.

5.6.5 - Massa Total das Raízes das Cenouras Colhidas e Teor Total dos metais no Solo

Não observou-se nenhuma relação do teor total de cromo (**FIGURA 5.9**) com a massa total produzida pelos canteiros (**FIGURA 5.14**).

Exceto por uma possível relação inversa entre o teor total de cobre (**FIGURA 5.7**) e a massa total durante a 3ª colheita, se relevarmos o canteiro testemunha, nenhuma relação foi observada. Entre o teor total de cobre e a massa total produzida pelos canteiros.

Para os teores totais de níquel (**FIGURA 5.5**) e chumbo (**FIGURA 5.3**), nenhuma relação com a massa produzida foi observada.

Observou-se alguma relação direta entre o teor de zinco (**FIGURA 5.1**) e a massa total produzida para a 1ª e 3ª colheitas.

5.6.6 - Massa Total das Raízes das Cenouras Colhidas e Teor de Metais nas Raízes das Cenouras

Observando cuidadosamente é possível verificar uma relação inversa entre a massa total produzida (**FIGURA 5.14**) e o teor de cobre nas raízes (**FIGURA 5.10**).

Exceto pelo valor do teor de cromo observado no 2º canteiro após a 1ª colheita, pode-se verificar uma relação direta entre a massa produzida e o teor de cromo nas raízes das cenouras (**FIGURA 5.11**).

Para o teor de zinco nas raízes (**FIGURA 5.12**) não foi possível observar alguma relação com a massa produzida.

6 – CONCLUSÕES

Com este trabalho pode-se chegar as seguintes conclusões:

- com respeito a utilização do composto de lixo estudado, pode-se dizer que é viável a aplicação de composto no solo para o plantio da cenoura, sem implicações negativas para a saúde de quem consome esta raiz. Entretanto, esta afirmação é feita somente com relação ao teor de metais pesados observados nas cenouras, pois independentemente da taxa de aplicação tais teores se mantiveram dentro da normalidade (Levando-se em conta as referências citadas e os teores encontrados nas cenouras produzidas no canteiro testemunha).
- o aumento da mortalidade das mudas das cenouras está diretamente relacionado com a taxa de aplicação do composto, desta forma pode-se citar duas possibilidades que caracterizariam a fitotoxicidade do composto utilizado : a) o composto não estaria completamente estabilizado e/ou b) a existência de poluentes tóxicos presentes no composto.
- houve uma tendência de aumento da disponibilidade de Zn, Pb, Ni e Cu no solo (determinado via EDTA) com o aumento da taxa de aplicação do composto, mas não foi possível chegar a conclusões claras quando se utilizou os resultados dos teores totais.
- não se pode concluir, considerando-se as três colheitas, que o aumento ou a diminuição da disponibilidade dos metais no solo influenciou a taxa de mortalidade das mudas de cenouras, exceto se as colheitas forem consideradas separadamente e se levarmos em conta que os valores máximos dos teores de cobre, níquel, chumbo e zinco coincidem com o máximo de mortalidade, determinado após a segunda colheita no canteiro 4 (onde aplicou-se a maior taxa de composto).

- não foi possível determinar uma relação entre o teor dos metais presentes nas cenouras e a taxa de aplicação do composto, possivelmente devido a sensibilidade insuficiente do aparelho de ICP-AES utilizado.

7 – RECOMENDAÇÕES

- A coleta seletiva deve ser etapa fundamental para a produção de um composto para uso agrícola.
- O preparo do composto deve ser acompanhado por pessoas que possuam conhecimento do que fazer para produzir um bom composto, isto é, que saibam lidar com processos biológicos.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BETTINELLI, M.; BARONI, U.; PASTORELLI, N. (1989). Microwave oven sample dissolution for the analysis of environmental and biological materials. Analytica Chimica Acta, v. 225, p. 159-174
- BIDONE, F.R.A; POVINELLI, J. (1999). Conceitos básicos de resíduos sólidos. São Carlos, EESC/USP, 120p.
- BIDWELL, A. M. ; DOWDY, R. H (1987). Cadmium and zinc availability to corn following termination of sludge applications. Journal Environmental Quality, v.16, n. 4, p. 438-441.
- CANADIAN SOCIETY OF SOIL SCIENCE (1993). Soil sampling and methods of analysis, Lewis, p.1-19, 101-108, 141-145.
- EMBRAPA - CENTRO NACIONAL DE PESQUISA DE SOLOS (1997). Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro.
- ENCYCLOPEDIA OF ANALYTICAL SCIENCE (1995). London, Academic, v.3, p. 1553- 1561.
- FERRI, M. G. ed. (1985). Fisiologia Vegetal. Pedagógica e Universitária, v.1, p. 3-113.
- GUIA RURAL. Manual da terra, o guia completo do solo. São Paulo (1990), Editora Abril, 1990.
- GUPTA, S.K; ATEN, C. (1993). Comparison and evaluation of extraction media and their suitability in simple model to predict the biological relevance of heavy metal concentrations in contaminated soils. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. v.51, p. 25-46.
- HERNANDEZ, T. et al. (1992). Utilization of municipal waste as organic fertilizers. Suelo Planta, v.2, p. 373-383
- HOODA, P. S.; ALLOWAY, B. J (1993). Effects of time and temperature on the bioavailability of Cd and Pb from sludge-amended soil. Journal of Soil Science, v.44, p. 97-100.
- HOUBA, V.J.G. et al. (1990). Applicability of 0,01M CaCl₂ as a single extraction solution for the assesment of the nutrient status of soils and other diagnostic purposes. Communications in Soil Science Plant Analysis, v. 21, n.19-20, p. 2281-2290.

- JACINTHO, A. O.; FIGUEIREDO, B.R.; REIS, B.F.(1985); Análise química de rochas por ICP-AES. Campinas. Unicamp.
- JACKSON, A. P; ALLOWAY, B. J. (1991). The bioavailability of cadmium to lettuce and cabbage in soils previously treated with sewage sludges. Plant and Soil v.132 , p.179-186.
- KIEHL, J. E. (1985). Fertilizantes orgânicos. São Paulo. Ceres.
- KIEHL, J. E. (1998). Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto. Piracicaba, 171p.
- LESTER, J. N. (1989). Heavy metal in wastewater and sludge treatment process. CRC, Florida , v.1, 127p
- LIMA, L.M.Q. (1988). Tratamento de lixo. São Paulo: Hermus, 1988. 189p.
- MALAVOLTA, E. (1994). Fertilizantes e seu impacto ambiental: micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificação e fatos. São Paulo, Produquímica, 153p.
- MATIAZZO-PREZOTTO, M. E. (1994). Comportamento de cobre, cádmio, cromo, níquel e zinco adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH. Piracicaba, 197p. Tese (Livre-docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MELO, W. J. et al. (1997). Uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais. Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo. Rio de Janeiro, 1997.
- MINAMI, K.; NETO, J. T. (1994). Cursos agrozootécnicos: cultura da cenoura, Piracicaba, SEBRAE-SP.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA (1983). Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes. métodos oficiais. Brasília. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Laboratório Nacional de Referência Vegetal.
- NOVOZAMSKY, I. et al. (1993). A single extration procedure of soil evaluation of uptake of some heavy metals by plants. International Journal of Environmental . Analytical Chemistry. v.51, p. 47-58.
- OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P.K.T.; C, MARCELO NUNES (1992). Classes gerais de solos do Brasil: guia auxiliar para seu reconhecimento. 2.ed. Jaboticabal, FUNEP, 201p.

- O'NEILL, P. (1989); Environmental Chemistry. 2.ed. Chapman e Hall. London.
- PETRUZZELLI, G. et al. (1989). Uptake by corn and chemical extractability of heavy metals from a four year compost treated soil. Plant Soil, v.116, p. 23-27.
- PETRUZZELLI, G. et al. (1995). Influence of sewage sludge utilization and disposal on heavy metal mobility in soil: an overview. Annali di chimica, v. 85, p.385-393.
- PRIMAVESI, A.C.P.A.; PRIMAVESI, O. (1992). Coleta de Amostras de Terra. São Carlos. n.9, nov., p.1-3. Comunicado Técnico - EMBRAPA - UEPAE DE S. CARLOS/
- PURVES, D.; MACKENZIE, J. E. (1973) Effects of applications of municipal compost on uptake of copper, zinc and boron by garden vegetables. Plant Soil, v.39, p. 361-371.
- QUEVAUVILLER, P. et al. (1993). Improvement of analytical measurements within the BCR-Programme: single and sequential extraction procedures applied to soil and sediment analysis. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. v. 51, p.129-134.
- RAIJ, B. V; QUAGGIO, J. A. (1987). Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill.
- RAVEN, P. H. et al. (1995). Environment updated 1995 version. Sauders College, pg.295-321, p. 518-543.
- RUMP, H. H.; KRIST, H. (1992). Laboratory manual for the examination of water, waste water and soil. New York, VCH.
- SCHAUER, P. S. et. al. (1980). Sludge-borne heavy metal availability and uptake by vegetable crops under field conditions. Journal of Environmental Quality, v.9, n.1, p.69-73.
- SILVIERA, D.J.; SOMMERS, L. E. (1977). Extractability of copper, zinc, cadmium, and lead in soils incubated with sewage sludge. Journal of Environmental Quality, v.6, n.1, p. 47-52.
- SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 1., Piracicaba, 1986. Anais. Campinas: Fundação Cargill, 1986. p.1-179.
- SYMEONIDES, C.; MCRAE, S.G. (1977). The Assessment of plant-available cadmium in soil . Journal of Environmental Quality, v.6, n.2, p. 120-123.

URE, A. M. et al. (1993). Speciation of heavy metals in soils and sediments: an account of the improvement and harmonization of extraction techniques undertaken under the auspices of the BCR of the commission of the european communities. v. 51, p. 135-151.