

ALLYN SON TAKEHIRO FUJITA

**IMPACTO AMBIENTAL E AGRONÔMICO DO USO DE
CONDICIONADORES ORGÂNICOS, NO CULTIVO DE
CYMBOPOGON CITRATUS.**

Tese apresentada ao Instituto de Química,
Universidade Estadual Paulista, com parte
dos requisitos para obtenção do título de
Doutor em Química.

Orientadora: Profa. Dra. Mary Rosa Rodrigues de Marchi
Co-Orientador: Prof. Dr. Luis Vitor Silva do Sacramento

ARARAQUARA

2007

FICHA CATALOGRÁFICA

F961i	Fujita, Allynson Takehiro Impacto ambiental e agrônômico do uso de condicionadores orgânicos, no cultivo de <i>Cymbopogon citratus</i> / Allynson Takehiro Fujita. – Araraquara : [s.n], 2007 125 f. : il. Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Química Orientador: Mary Rosa Rodrigues de Marchi Co-orientador: Luis Vitor Silva do Sacramento 1. Química ambiental. 2. Aditivos. 2. Óleo essencial. 3. Metais impactantes. I. Título.
-------	---

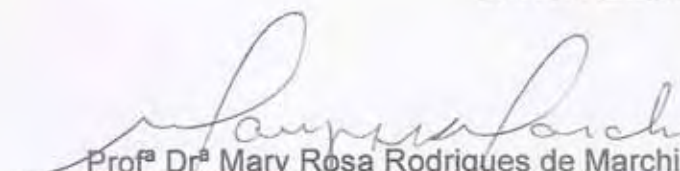
Elaboração: Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação do Instituto de Química de Araraquara
Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação

ALLYNSON TAKEHIRO FUJITA

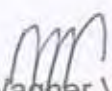
Tese apresentada ao Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Química.

Araraquara, 23 de julho de 2007.

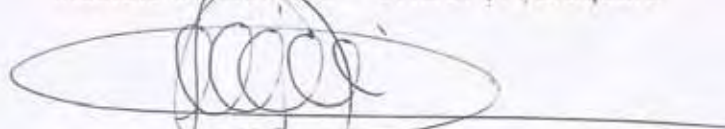
BANCA EXAMINADORA



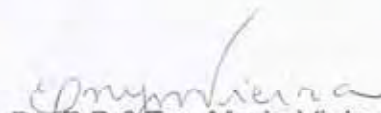
Prof.^a Dr.^a Mary Rosa Rodrigues de Marchi (Orientadora)
Instituto de Química – UNESP, Araraquara



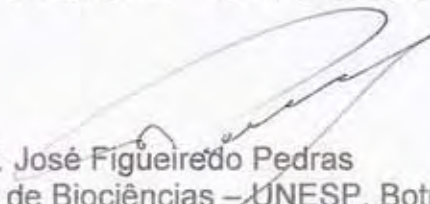
Prof. Dr. Wagner Vilegas
Instituto de Química – UNESP, Araraquara



Prof. Dr. Fernando Luis Fertonani
Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas / UNESP, São José do Rio Preto



Prof.^a Dr.^a Eny Maria Vieira
Instituto de Química – USP, São Carlos



Prof. Dr. José Figueiredo Pedras
Instituto de Biociências – UNESP, Botucatu

DADOS CURRICULARES

NOME DO ALUNO

1. DADOS PESSOAIS

1.1. Nascimento: 05 de maio de 1979

1.2. Nacionalidade: Brasileira

1.3. Naturalidade: Monte Alto - SP

1.4. Estado Civil: Solteiro

1.5. Filiação: Pai: Takeo Fujita

Mãe: Eliza Otuka Fujita

1.6. Profissão: Estudante

1.7. Documento de Identidade: 28786547-2

1.8. Cadastro de Pessoa Física (CPF): 041595116-00

1.9. Endereço Residencial: Rua João Gurgel, nº 832

1.10. Endereço Profissional: Rua Professor Francisco Degni s/n

2. FORMAÇÃO ACADÊMICA

2.1. Bacharel em Química

Curso de Química, concluído em 05/07/2002, no Instituto de Química-Unesp de Araraquara.

Título da Monografia: "Estudo sobre o cultivo de *Mentha arvensis* L. em solo tratado com composto de resíduos sólidos urbanos: desenvolvimento da planta, absorção de nutrientes e acúmulo de mentol."

2.2 Licenciado em Química

Curso de Química, concluído em 01/02/2004, no Instituto de Química-Unesp de Araraquara.

2.3. Mestrado em Química

Curso de Pós-Graduação em Química, Área de Concentração: Química, concluído em 02/2004, no Instituto de Química de Araraquara/UNESP.

Título: Estudo sobre o cultivo de *Achillea millefolium* L. em solo tratado com composto de resíduos sólidos urbanos: desenvolvimento da planta, absorção de nutrientes e acúmulo de princípio ativo.

A Deus,

Aos meus familiares e amigos,

Dedico!

À minha querida Mamãe, Eliza, ao meu querido Papai, Takeo,

Aos meus queridos Irmãos Cláudia e Carlos,

Ao meu querido sobrinho Leonardo,

À minha querida Renata,

Ofereço!

AGRADECIMENTOS

Aos meus queridos orientadores e amigos, Mary Rosa e Luis Vitor, pela dedicação, paciência e ensinamentos. Vocês são inspiradores para a minha profissão e da minha vida;

À pesquisadora Dra. Ana Rita de Araújo, Embrapa Pecuária Sudeste-São Carlos-SP, pelas análises de metais no ICP-OES;

À Família Adami, pela disponibilização da área de cultivo;

Aos amigos, companheiros de república, Norberto (Yô), Fernando (Sakura) e Marcos (Tomate), pela amizade, incentivo e ajuda braçal na montagem dos experimentos em campo e coleta do material. Valor de verdadeiras amizades;

Aos amigos e também companheiros de república, Aldo, Armando, Danilo (Kinder), Eduardo, Emmanuel, Ioanis, Jorge, Robson e Toshiba. Fases que marcam a vida;

Às amigas, Alessandra, Andressa, Angélica, Amanda, Ana, Areta, Bárbara, Bruna, Carolina, Cristine, Cristiane, Dani, Dayana, Elaine, Elza, Lenice, Fernanda, Heulália, Marila, Mariana, Marília, Michele, Mirela, Luciana, Luzia, Paula, Patrícia, Pâmela, Priscila, Stephane, Sueji, Vanessa, Vanessa O., Renata A., Rita, Janaína, Meire, Silmara e Zailene;

Aos amigos, Adriano, Alexandre, Bruno, Chafei, Fabiano, Heliandro, Ivan, Ivan Machado, Lavínio, Marcelo, Márcio, Nelson, Norberto A, Osmar, Pablo e Rodrigo;

Aos colegas e amigos do Gresco;

Aos professores, coordenadores e funcionários do Instituto de Química;

Ao CNPq pelo incentivo financeiro.

"Poderás escolher segundo tua vontade, porque te é dado."

Autor Desconhecido

A todos os que buscam sentido para a vida, com uma perspectiva mais ampla do que os poucos anos que temos para nascer, crescer e trabalhar antes de deixar este mundo.

A todos os que acreditam que o espírito é eterno, e que nossa vida neste mundo não se resume senão a um estágio de aprendizado rumo à perfeição.

A todos os que se esforçam para melhorar um pouco a cada dia, mesmo que muitas vezes falhando sob o peso das próprias imperfeições.

Àqueles que, mesmo sem conseguir fazer muita coisa, acenderam no seu íntimo à certeza de que a vida - como um todo - faz sentido, e que todos nós fazemos parte dela.

Carlos Ribeiro

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	12
Lista de Abreviações e Siglas	13
LISTA DE SÍMBOLOS	15
1. INTRODUÇÃO	17
1.1. Resíduos sólidos urbanos	17
1.1.1. Conceitos gerais	17
1.2. Disposição e tratamento de resíduos sólidos	20
1.2.1. Aterro sanitário	24
1.2.2. Aterro controlado	27
1.2.3. Lixão	28
1.2.4. Incineração	29
1.2.5. Compostagem	31
1.3. Questões sobre o impacto potencial do uso de composto de RSU como aditivo de solo	37
1.3.1. Nitrato	37
1.3.2. Fósforo	39
1.3.3. Metais ambientalmente impactantes e contaminantes orgânicos	40
1.4. Nutrientes nos cultivos vegetais	41
1.5. Aplicação do calcário e adubação química no Brasil	44
1.6. Plantas medicinais	45
1.6.1. <i>Cymbopogon citratus</i>	48
1.6.2. Análise química de princípios ativos do <i>Cymbopogon citratus</i>	51
2. OBJETIVOS	52
3. PARTE EXPERIMENTAL	53
3.1. Montagem do experimento	53
3.1.1. Origem dos aditivos utilizados	53
3.1.1.1. Composto de resíduos sólidos urbanos	53
3.1.1.2. Composto de resíduos sólidos industriais - Ecosolo® - Bioland	53
3.1.2. Delineamento experimental:	54
3.1.3. Montagem em campo	55
4. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL EM LABORATÓRIO	64

4.1. Estudo da resposta do CG/DIC	64
4.2. Matéria fresca e óleo essencial	66
4.3. Estudo do perfil do óleo essencial no CG/EM	67
4.3.1. Análise qualitativa de citral e mirceno	67
4.4. Determinação dos nutrientes no material vegetal	69
4.4.1. Digerido1: Digestão Sulfúrica	69
4.4.2. Digerido 2: Digestão Nitro-Perclórica	70
4.4.3. Determinação de Nitrogênio	71
4.4.4. Determinação de Potássio.....	71
4.4.5. Determinação de Fósforo	72
4.4.6. Determinação de Enxofre	74
4.4.7. Determinação de Boro.....	75
4.4.8. Determinação de alumínio, cálcio, cádmio, chumbo, cobre, cromo, ferro, magnésio, manganês e zinco.....	77
4.5. Determinação de nitrato em solo.....	79
4.6. Determinação de fósforo em solo.....	80
4.6.1. - Extração seqüencial de fósforo	80
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	81
5.1. Condicionadores orgânicos e dos solos com os respectivos tratamentos.	81
5.2. Produção de Material Vegetal	84
5.3. Óleo essencial, citral e mirceno.....	85
5.4. Macro, micronutrientes e cromo na matéria vegetal.....	94
5.5. Avaliação do impacto ambiental do uso do composto quanto ao aporte de nitrato e fósforo ao solo.	99
5.5.1. Nitrogênio (amônio e nitrato)	99
5.5.2. Fósforo.....	100
6. CONCLUSÕES:.....	103
7. REFERÊNCIAS	107
GLOSSÁRIO.....	113
ANEXO I	114
ANEXO II	122

RESUMO

A proteção ao meio ambiente e o desenvolvimento econômico, propicia o modelo sustentável. A transformação da fração orgânica decomponível em aditivos orgânicos, através da compostagem pode reduzir em mais de 50% o montante de resíduos destinados aos aterros ou lixões. O emprego dos aditivos orgânicos na produção de *Cymbopogon citratus* se aproxima deste modelo de sustentabilidade. Fez-se o estudo ambiental e agrônômico envolvendo o uso de dois aditivos orgânicos (composto de resíduos sólidos urbanos (CRSU) e o composto comercial Ecosolo®) e as recomendações de calagem e adubação (saís) propostas pelo Instituto Agrônômico de Campinas. Para tanto se realizou um experimento em campo, empregando um delineamento experimental de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, integrado por 4 tratamentos (solo, 30,0 Mg ha⁻¹ de CRSU, 30,0 Mg ha⁻¹ de Ecosolo® e recomendações técnicas do Boletim 100), 3 épocas de coleta de material vegetal nas subparcelas (120, rebrota de 120 e 240 dias após o plantio) e 4 repetições.

A maior produção de matéria vegetal ocorreu aos 240 dias de cultivo, sendo que a maior produção de óleo essencial foi detectada na colheita aos 120 dias e a rebrota de 120 dias apresentou médias intermediárias para essas variáveis. O CRSU apresentou desempenho similar à produção de óleo essencial observada nos tratamentos com aditivo Ecosolo® e calagem e adubação com saís recomendadas pelo Boletim 100. No aspecto ambiental o CRSU apresentou maior concentração de amônio e de fósforo disponível em relação aos demais tratamentos, mas apresentou menor concentração de crômio em relação aos mesmos, seguido do aditivo Ecosolo®.

Os níveis de metais impactantes verificados nas matrizes solo e aditivos estão abaixo dos níveis de intervenção estabelecidos pela legislação do Estado de São Paulo.

Palavras Chaves: Aditivos orgânicos, *Cymbopogon*, óleo essencial, nitrato, fósforo, metais impactantes.

ABSTRACT

The protection to the environment and the economic development, propitiate the sustainable model. The transformation of the decomposable organic fraction in organic compost, through the compostagem can more than reduce in 50% the sum of residues destined to the earthwork sanitary or residues of deposit.

The job of organic compost in the production of *Cymbopogon citratus* if approaches to this sustainable model. The environment and agricultural study became involving the use of two organic compost (urban solid waste compost (USWC) and the commercial compost "Ecosolo®") and the recommendations of neutralization and fertilization (inorganic salt) proposals for the "Instituto Agronômico de Campinas-IAC".

For in such a way it executed an experiment in field, applying an experimental delineation of blocks to with subdivided parcels, formed for four treatments (soil (control), 30,0 Mg ha⁻¹ of USWC, 30,0 Mg ha⁻¹ of Ecosolo® and techniques recommendations of "Boletim 100-IAC"), three vegetable material crop times of vegetable material (120, 120 days after the first crop and 240 days the plantation) and four repetitions.

The biggest production of vegetable material occurred to the 240 days of culture, being that the biggest essential oil production was observed in the crop of 120 days and 120 days after the first crop days presented intermediate averages for these variable. The USWC showed similar performance to essential oil production the observed in the treatments with Ecosolo® compost and neutralization and fertilization with salt recommended for Boletim 100.

In the environment aspect the USWC presented greater concentration of ammonium and available phosphor in relation to the too much treatments, but it presented minor concentration of chromo in relation to the same ones, followed of the Ecosolo® compost. The verified heavy metal levels in the matrices soil + additive are below of the levels of intervention established by the legislation of the State of São Paulo.

Keys words: Organic compost, *Cymbopogon*, essential oil, nitrate, phosphor and heavy metals.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Disposição percentual das 125,3 mil Mg de resíduos produzidos diariamente no Brasil.	20
Figura 02: Disposição percentual de resíduos sólidos dos 5507 municípios brasileiros.	21
Figura 03: Disposição percentual dos resíduos sólidos no Estado de São Paulo.	21
Figura 04: Composição percentual média do lixo no Brasil em peso.	22
Figura 05: Índice de qualidade de aterro de resíduos sólidos no estado de São Paulo em 1997.	23
Figura 06: Índice de qualidade de aterro de resíduos sólidos no estado de São Paulo em 2006.	24
Figura 07: Aterro Bandeirantes (São Paulo-Brasil).	27
Figura 08: Processos de transformação durante a compostagem.	32
Figura 09: Esquema do sistema Sanecom de compostagem, Araras-SP.	35
Figura 10: Esquema do sistema Dano de compostagem, Vila Leopodina-SP.	36
Figura 11: Estruturas químicas dos isômeros do citral.	49
Figura 12 - Estrutura química do mirceno.	49
Figura 13: Área onde foram implantados os experimentos, antes do preparo. Terreno sem atividade agrícola há mais de 6 anos.	55
Figura 14: Início do preparo do solo para cultivo (destorroamento).	56
Figura 15: Demarcação das parcelas para iniciar a distribuição dos tratamentos.	56
Figura 16: Distribuição dos tratamentos para posterior incubação. A= solo, B= Boletim 100, C= composto de lixo de Araras-SP (30 Mg ha ⁻¹), e D= Composto Ecosolo (30 Mg ha ⁻¹).	58
Figura 17: Irrigação por micro aspersão.	58
Figura 18: Canteiros de mudas de <i>Cymbopogon citratus</i> , A: Horto de Plantas Tóxicas e Medicinais da FCF/UNESP e B: Fazenda Ipacará/MG.	59
Figura 19: Mudas de <i>Cymbopogon citratus</i> preparadas para o plantio.	60
Figura 20: Mudas de <i>Cymbopogon citratus</i> após o plantio.	60
Figura 21: <i>Cymbopogon citratus</i> aos 60 dias após o plantio.	61
Figura 22: <i>Cymbopogon citratus</i> aos 120 dias após o plantio (1ª coleta).	62
Figura 23: <i>Cymbopogon citratus</i> aos 240 dias após o plantio (2ª coleta).	62
Figura 24: Tratamentos após 25 dias de incubação com manutenção de unidade por irrigação (micro-aspersão).	63
Figura 25: Instrumento montado (guilhotina) e utilizado para cortar as folhas de <i>Cymbopogon citratus</i>	66
Figura 26: Aparelho Clevenger de hidrodestilação.	67
Figura 27: Curva de calibração para o potássio utilizando fotometria de chama.	72
Figura 28: Curva de calibração para o fósforo, utilizando a espectrofotometria.	73
Figura 29: Curva de calibração para o enxofre, utilizando a espectrofotometria.	75

Figura 30: Curva de calibração para o Boro, utilizando a espectrofotometria.....	77
Figura 31: Fluxograma das frações de fósforo (P) obtidas na sequência de extração	80
Figura 32: Gráfico da Matéria fresca (MF), matéria seca (MS) e do rendimento de matéria vegetal, em relação as coletas e ao tratamentos.....	84
Figura 33: Cromatograma (A) e espectro de massa (B) obtido da solução padrão de 252,0 mg L ⁻¹ de mirceno (tr: 5,705 min).....	87
Figura 34: Cromatograma (A) e espectro de massa (B) obtido da solução padrão de 200,0 mg L ⁻¹ de citral (tr: 14,257 min).	88
Figura 35: Cromatograma (A) e espectro de massa (B) obtido da solução padrão de 200,0 mg L ⁻¹ de citral (tr: 14,612min).	89
Figura 37: Curva analítica para o mirceno. Equação: $Y = 3,26 \cdot 10^3 + 129 \cdot X$. Cada ponto em triplicata, com coeficientes de variação menores que 3%.	90
Figura 38: Curva analítica para o citral. Equação: $Y = 539 + 101 \cdot X$	91
Figura 39: Cromatograma CG/DIC para solução padrão de citral (A + B) 600 µg mL ⁻¹ (cromatograma 1), para mirceno (cromatograma 2) de 42 µg mL ⁻¹ e solução mista (cromatograma 3) de mirceno/citral 42/200 µg mL ⁻¹ respectivamente.....	92
Figura 40: Cromatograma CG/DIC para uma das amostras obtidas de cada tratamento na coleta de 120 dias: (A) solo, (B) CRSU, (C) ECOSOLO®, (D) Boletim 100.	92
Figura 41: Gráfico do Óleo Essencial(OE), teor de óleo, mirceno(Mir) e citral, em relação as coletas e ao tratamentos. As médias seguidas por letras distintas diferem entre si, no teste de Tukey 5% de probabilidade.....	93
Figura 42: Concentração de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S) e boro (B) na matéria seca das plantas, em função da época de colheitas e dos tratamentos.	94
Figura 43: Concentração de de Ca: cálcio, Mg: magnésio, Cu: cobre, Zn: zinco na matéria seca das plantas, em função da época de colheita e dos tratamentos.	96
Figura 44: Concentração de Mn: manganês, Fe: ferro, Al: alumínio, Cr: crômio na matéria seca das plantas, em função da época de colheita e dos tratamentos.	97
Figura 45: Concentração de amônio em relação aos tratamentos e a época de coleta de solo.....	99
Figura 46: Concentração de nitrato em relação aos tratamentos e a época de coleta de solo.	100
Figura 47: Concentração de fósforo disponível em relação aos tratamentos e as épocas de coletas de solo.	101
Figura 48: Concentração de fósforo ligado aos óxidos de ferro e alumínio em relação aos tratamentos e as épocas de coletas de solo.....	101
Figura 49: Concentração de fósforo ligado à matéria orgânica em relação aos tratamentos e as épocas de coletas de solo.....	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 01: Classificação dos Resíduos Sólidos segundo a sua origem.....	18
Tabela 02: Classificação dos Resíduos Sólidos segundo as suas características físicas....	18
Tabela 03: Índices de Produção "per capita" de Resíduos Sólidos Domiciliares em função da população urbana do estado de São Paulo.....	19
Tabela 04: Enquadramento das condições das instalações de tratamento e/ou destinação final de resíduos sólidos domiciliares em função do índice de qualidade de aterro - IQR.....	23
Tabela 05: Atuação dos nutrientes e efeito das suas deficiências em plantas.....	43
Tabela 06: Total de calcário produzido e comercializado de 1998 a 2003, em 10 ⁹ kg.....	44
Tabela 07: Total de fertilizantes comercializado de 2004 a maio de 2007, em 10 ⁹ kg.....	45
Tabela 08: Parâmetros de operação do ICP-OES:.....	78
Tabela 09: Análise química do composto de resíduos sólidos Araras-SP e Ecosolo®.....	81
Tabela 10: Análises químicas do solo em relação a cada tratamento, após 25 dias de incubação.....	82
Tabela 11: Valores médios de matéria fresca, matéria seca, rendimento vegetal, massa, volume e teor de óleo essencial, mirceno e citral produzido por <i>Cymbopogon citratus</i> em relação aos manejos e aos tratamentos.....	114
Tabela 12: Valores médios de nitrogênio total, fósforo total, potássio, enxofre e boro na matéria seca de <i>Cymbopogon citratus</i> em relação aos manejos e tratamentos.....	115
Tabela 13: Valores médios de cálcio total, magnésio total, manganês, ferro, cobre, zinco, alumínio e crômio na matéria seca de <i>Cymbopogon citratus</i> em relação aos manejos e tratamentos.....	116
Tabela 14: Valores médios, com tratamento estatístico, da matéria fresca, matéria seca, rendimento vegetal, massa, volume e teor de óleo essencial, mirceno e citral produzido por <i>Cymbopogon citratus</i> em relação aos manejos e aos tratamentos.....	117
Tabela 15: Valores médios, com tratamento estatístico, de nitrogênio total, fósforo total, potássio, enxofre e boro na matéria seca de <i>Cymbopogon citratus</i> em relação aos manejos e tratamentos.....	118
Tabela 16: Valores médios, com tratamento estatístico, cálcio total, magnésio total, manganês, ferro, cobre, zinco, alumínio e crômio na matéria seca de <i>Cymbopogon citratus</i> em relação aos manejos e tratamentos.....	119
Tabela 17: Concentração média de Nitrato e Amônio em amostras coletadas no início do experimento (0 dia) ao término (270 dias).....	120
Tabela 18: Resultados (mg de P/g de solo) das extrações sequenciais de fósforo para os 4 tratamentos nas 4 épocas de coleta. Média $\pm$ desvio padrão.....	121

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRACAL	Associação brasileira dos produtores de calcário agrícola
ANDA	Associação Nacional para Difusão de Adubos
C.ECO	Composto Ecosolo®
CEMPRE	Compromisso Empresarial para a Reciclagem
CETESB	Companhia Estadual de Saneamento Ambiental
CG	Cromatografia com sistema a gás
CLAE	Cromatografia líquida de alta eficiência
CRSU	Composto de Resíduos Sólidos Urbanos
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
CV	Coeficiente de variação
DB-1	Composição da fase estacionária: 100% dimetilpolissiloxano
DB-5	Composição da fase estacionária: 5% fenil 95% dimetilpolissiloxano
DIC	Detector de ionização em chama
DNA	Ácido desoxirribonucleico
EM	Espectrômetro de massas
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAPESP	Fundação de amparo à pesquisa do Estado de São Paulo
FCF	Faculdade de ciências farmacêuticas
h	Hora
H+Al	Acidez Potencial
ha	Hectare = 10000 m ²
hab.	Habitantes
IAC	Instituto Agrônomo de Campinas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Iniciação científica
ICP-OES	Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
IQ	Instituto de Química
IQC	Índice de qualidade da Usina de Compostagem
IQR	Índice de Qualidade de Aterro
IQR-Valas	Índice de Qualidade de Valas
kg	Quilograma
L	Litro
LD	Limite de Detecção

LQ	Limite de Quantificação
m	Metro
m ²	Metro quadrado
Mg	Megagrama
mg	miligrama
MG	Estado de Minas Gerais
min.	Minutos
MW	Megawatts
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial da Saúde
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
pH	Potencial Hidrogênioônico
PRNT	Poder Relativo de Neutralização Total.
RNA	Ácido ribonucleico
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
S.B	Soma Bases
Sd	Desvio Padrão
SP	Estado de São Paulo
Sr.	Senhor
SUS	Sistema Único de Saúde
tr	Tempo de retenção
UNESP	Universidade Estadual Paulista
UV	Detector Ultravioleta
V	Saturação de Bases
µg	Micrograma
µL	Microlitro

LISTA DE SÍMBOLOS

Al	Elemento Químico Alumino
B	Elemento Químico Boro
BO_3^{3-}	Ânion borato
Cl	Elemento Químico Cloro
Ca	Elemento Químico Cálcio
Ca^{2+}	Cátion cálcio
Cd	Elemento Químico Cádmio
Co	Elemento Químico Cobalto
$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	Uréia ou carbamida
CO_2	Dióxido de Carbono
Cr	Elemento Químico Crômio
Cu	Elemento Químico Cobre
Cu^{2+}	Cátion cobre
CuSO_4	Sulfato de cobre II
Fe	Elemento Químico Ferro
Fe^{2+}	Cátion ferro II
Fe^{3+}	Cátion ferro III
H_2	Molécula Hidrogênio
H_2O	Água
H_2O_2	Peróxido de Hidrogênio
H_2PO_4^-	Ânion dihidrogenofosfato
H_2SO_4	Ácido Sulfúrico
HCl	Ácido Clorídrico
HClO_4	Ácido Perclórico
HNO_3	Ácido Nítrico
HPO_4^{2-}	Ânion monohidrogenofosfato
K	Elemento Químico Potássio
K^+	Cátion potássio
K_2O	Óxido de Potássio
KH_2PO_4	Dihidrogenofosfato de Potássio
Mg	Elemento Químico Magnésio
Mg^{2+}	Cátion magnésio
MgCl_2	Cloreto de Magnésio
MgO	Óxido de magnésio

Mn	Elemento Químico Manganês
Mn^{2+}	Cátion manganês
Mo	Elemento Químico Molibdênio
N	Elemento Químico Nitrogênio
$\text{Na}_2\text{SeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Selenato de sódio pentahidratado
Na_2SO_4	Sulfato de sódio
NH_4^+	Cátion amônio
Ni	Elemento Químico Níquel
N-NO_3^-	Nitrogênio na forma de Nitrato
NO_3^-	Ânion nitrato
P	Elemento Químico Fósforo
P_2O_5	Pentóxido de difósforo
Pb	Elemento Químico Chumbo
PO_4^{3-}	Ânion fosfato
SO_4^{2-}	Ânion sulfato
Zn	Elemento Químico Zinco
Zn^{2+}	Cátion zinco
γ	Letra do alfabeto grego Gama
α	Letra do alfabeto grego Alfa
λ	Letra do alfabeto grego Lambda
®	Marca registrada
°C	Graus Celsius

1. INTRODUÇÃO

1.1 Resíduos sólidos urbanos

1.1.1 Conceitos gerais

Segundo a Norma Brasileira, NBR 10.004, resíduos sólidos ou semi-sólidos são aqueles que “resultam da atividade da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Considera-se também resíduo sólido os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d’água ou exijam, para isso, soluções técnicas e economicamente inviáveis, em face à melhor tecnologia disponível”.¹

No Estado de São Paulo a Lei nº 12.300 de 16/03/2006, no 5º artigo do capítulo III, define como resíduos sólidos “os materiais decorrentes de atividades humanas em sociedade, e que se apresentam nos estados sólido ou semi-sólido, como líquidos não passíveis de tratamento como efluentes, ou ainda os gases contidos”.²

Os resíduos podem ser classificados segundo a sua origem, Tabela 01, como consta no capítulo primeiro do artigo quarto da Política Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo, ou, considerando aspectos ecológicos, sanitários e econômicos, e as características físicas dos resíduos, Tabela 02, de acordo com a norma brasileira (NBR 10.004).¹

Os resíduos urbanos são gerados nas áreas urbanas, enquanto que os especiais são gerados em processos de transformação. Estes, em virtude do fato de possuírem características peculiares, necessitam de cuidados mais específicos quanto à coleta, acondicionamento, transporte, manipulação e disposição final.

Tabela 01: Classificação dos Resíduos Sólidos segundo a sua origem.

Resíduos Urbanos	Residências, atividades comerciais, varrição de ruas, podas de árvores e similares.
Residencial	Resíduos gerados nas atividades diárias em casas, apartamentos, condomínios e demais edificações residenciais.
Comercial	Resíduos gerados em estabelecimentos comerciais, cujas características dependem da atividade ali desenvolvida.
Público	Resíduos presentes nos logradouros públicos tais como folhas, galhadas, partículas sólidas (poeira, terra e areia) e aqueles descartados indevidamente pela população, como entulho, bens considerados inservíveis, papéis, restos de embalagens e alimentos.
Domiciliar especial	Entulho de obras, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes e pneus.
Fontes especiais	Lixo industrial, lixo radioativo, lixo de portos, aeroportos e terminais rododferroviários, lixo agrícola e resíduos de serviço de saúde.
Resíduos Especiais	Gerados pelos processos de transformação: industriais, agrícolas, radioativos, provenientes dos serviços de saúde e da construção civil.

Fonte: ABNT, 2004, e IBGE -*Anuários Estatísticos do Brasil*. Rio de Janeiro, 1992.

Tabela 02: Classificação dos Resíduos Sólidos segundo as suas características físicas.

Classe I (materiais perigosos)	Características de toxicidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, radioatividade e patogenicidade que podem apresentar riscos à saúde pública ou efeitos adversos ao meio ambiente.
Classe II A (materiais não inertes)	Materiais que não se enquadram nas classes I e II B. Os resíduos desta classe podem ter as seguintes propriedades: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.
Classe II B (materiais inertes)	Materiais que não se solubilizam ou que não têm qualquer componente solubilizado em concentrações superiores aos padrões estabelecidos (NBR 10.006 – Solubilização de Resíduos)

Fonte: ABNT, 2004 (NBR 10.004).

As características dos resíduos sólidos podem ainda variar em função de fatores que distinguem as comunidades entre si, como sociais, econômicos,

culturais, geográficos e climáticos, além dos aspectos biológicos e químicos. O conhecimento destas características possibilita uma escolha mais apropriada na seleção de processos de tratamento e técnicas de disposição final a serem utilizadas.

Nos últimos anos tem-se verificado um aumento acentuado da produção de resíduos sólidos, devido a uma vida exageradamente consumista, fruto do avanço tecnológico. Isso, lamentavelmente, se afasta de um modelo de desenvolvimento sustentável. Como consequência desse fenômeno, o tratamento e destino final dos resíduos sólidos tornaram-se um processo de grande importância nas políticas públicas, sociais e ambientais.

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) podem ser considerados um dos maiores responsáveis pela poluição e contaminação ambiental causado pelas cidades. Com a crescente geração de lixo urbano, que é tão grande que os sistemas naturais não conseguem reintegrá-los satisfatoriamente, já que necessita de um destino final sustentável e/ou tratamentos adequados, tecnicamente e ambientalmente seguros, além de economicamente viável. A Tabela 03 apresenta a produção média *per capita* de resíduos sólidos domiciliares por habitante dia⁻¹, de acordo com a população média das cidades.³

Tabela 03: Índices de Produção "per capita" de Resíduos Sólidos Domiciliares em função da população urbana do estado de São Paulo.

POPULAÇÃO (mil habitantes)	PRODUÇÃO (kg hab ⁻¹ dia ⁻¹)
Até 100	0,4
100 a 200	0,5
200 a 500	0,6
Maior que 500	0,7

Fonte: Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares, CETESB, 2006.

Estas diferenças são atribuídas às variações naturais de geração, que advém de vários fatores, tais como tipo de atividade produtiva predominante no

município, nível socioeconômico, sazonalidade, nível cultural da população e a existência de programas de coleta seletiva, de programas e ações que objetivem a conscientização da população, quanto à redução da geração de resíduos.³

1.2 Disposição e tratamento de resíduos sólidos

O lixo gerado pelas atividades antropogênicas, pelos seus hábitos de consumo e pela produção industrial é um dos principais problemas vividos pelos centros urbanos, principalmente os de maior porte. O problema tende a se agravar à medida que a população urbana e a quantidade de resíduos gerada diariamente ainda aumentam em taxas significativas, enquanto diminuem as alternativas de áreas para as disposições de resíduos. Soma-se a isso o fato de que na grande maioria das cidades brasileiras o destino final dos resíduos sólidos urbanos, Figura 01 e 02, é totalmente inadequado.⁴

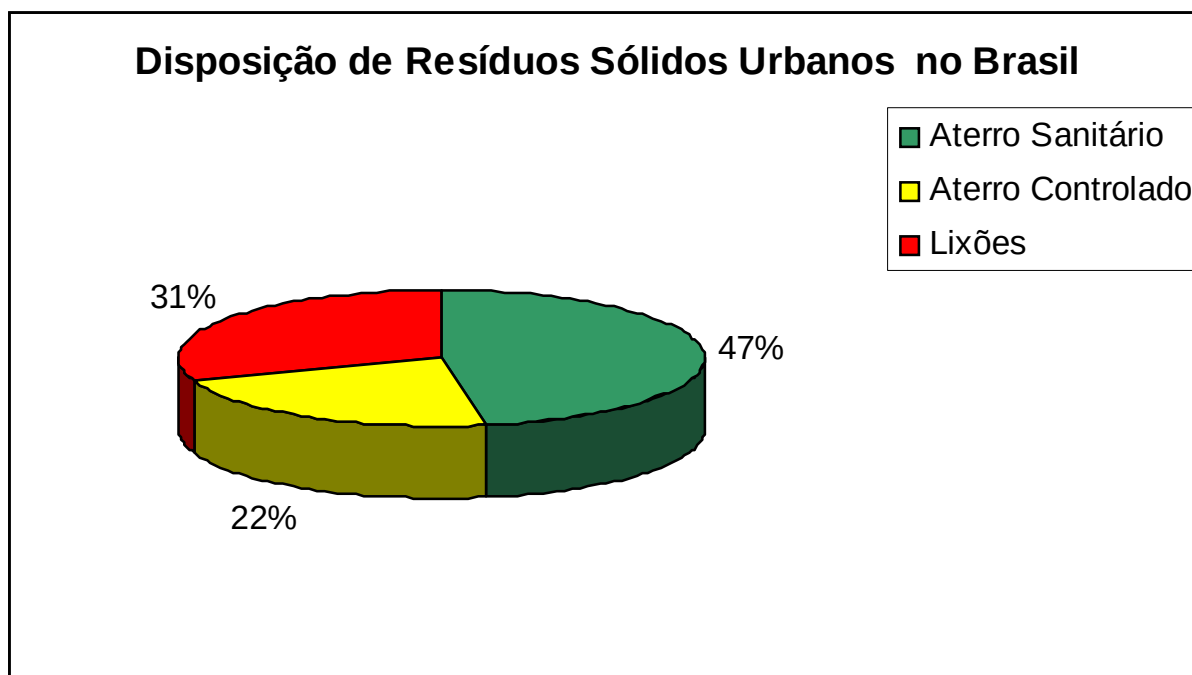


Figura 01: Disposição percentual das 125,3 mil Mg de resíduos produzidos diariamente no Brasil. Fonte: IBGE, 2002.

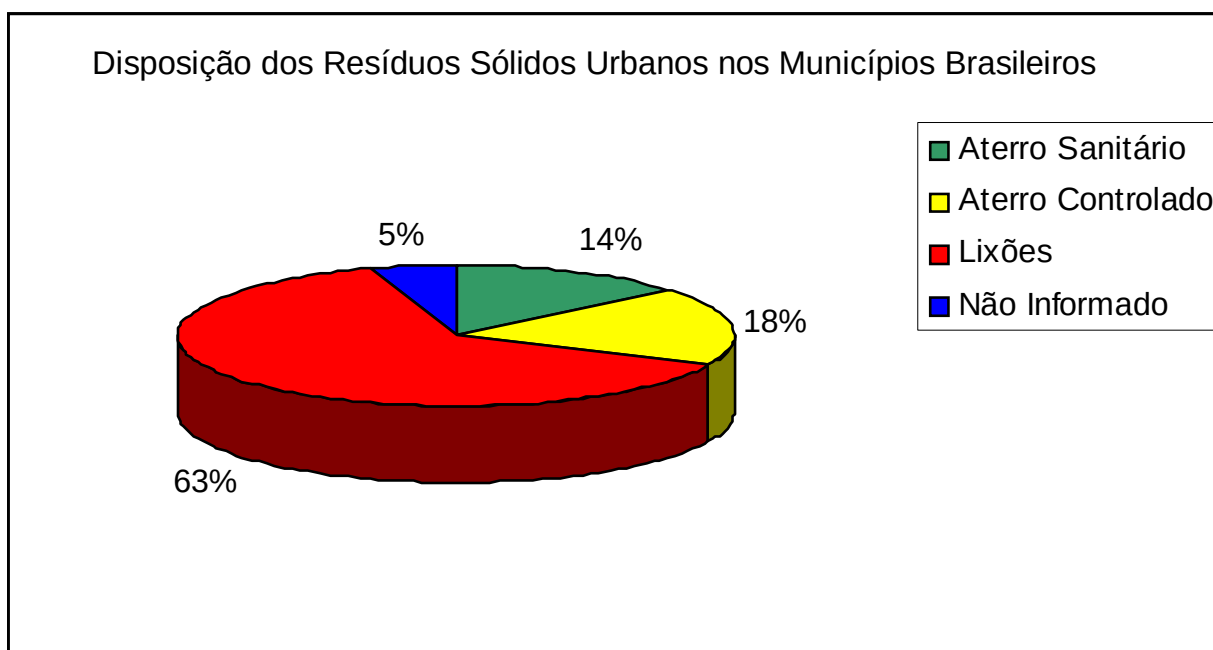


Figura 02: Disposição percentual de resíduos sólidos dos 5507 municípios brasileiros.
Fonte: IBGE, 2002.

A disposição dos resíduos sólidos urbanos no estado de São Paulo retrata o melhor panorama nacional, mas possui 20% da disposição totalmente inadequada, Figura 03.

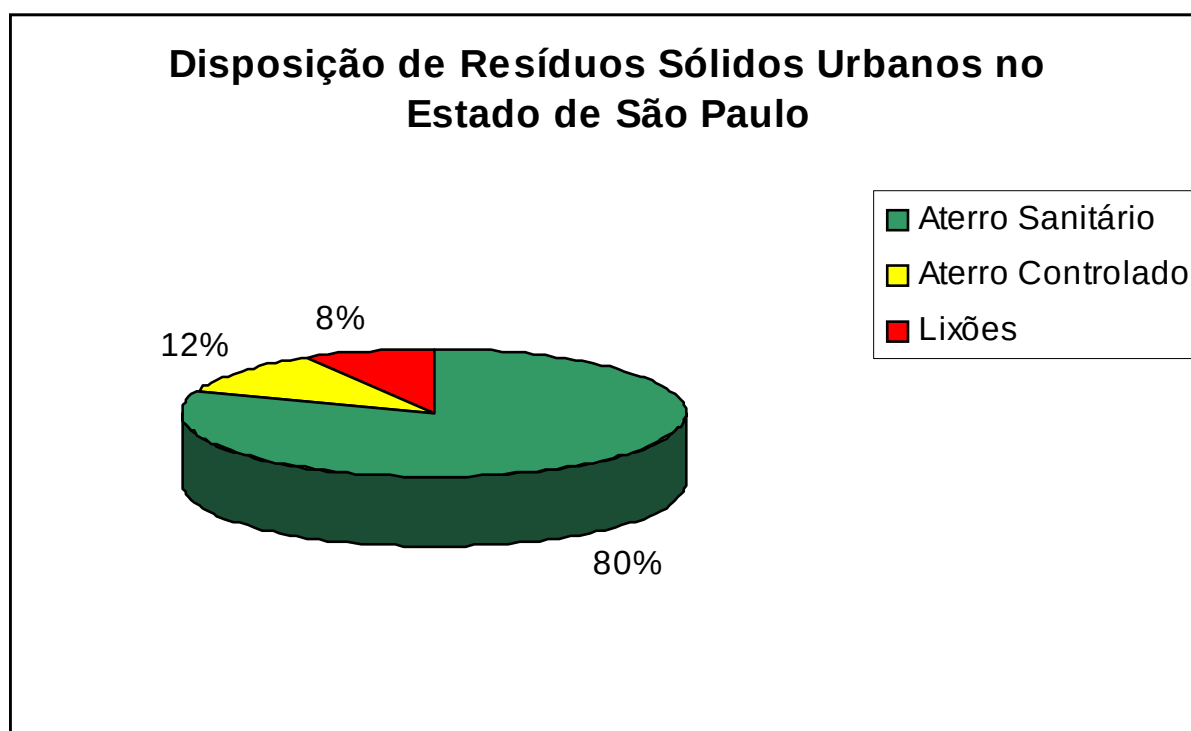


Figura 03: Disposição percentual dos resíduos sólidos no Estado de São Paulo
Fonte: IBGE, 2002.

Na Figura 04, ilustra os percentuais da composição média do lixo brasileiro, sendo a maior fração a matéria orgânica decomponível.

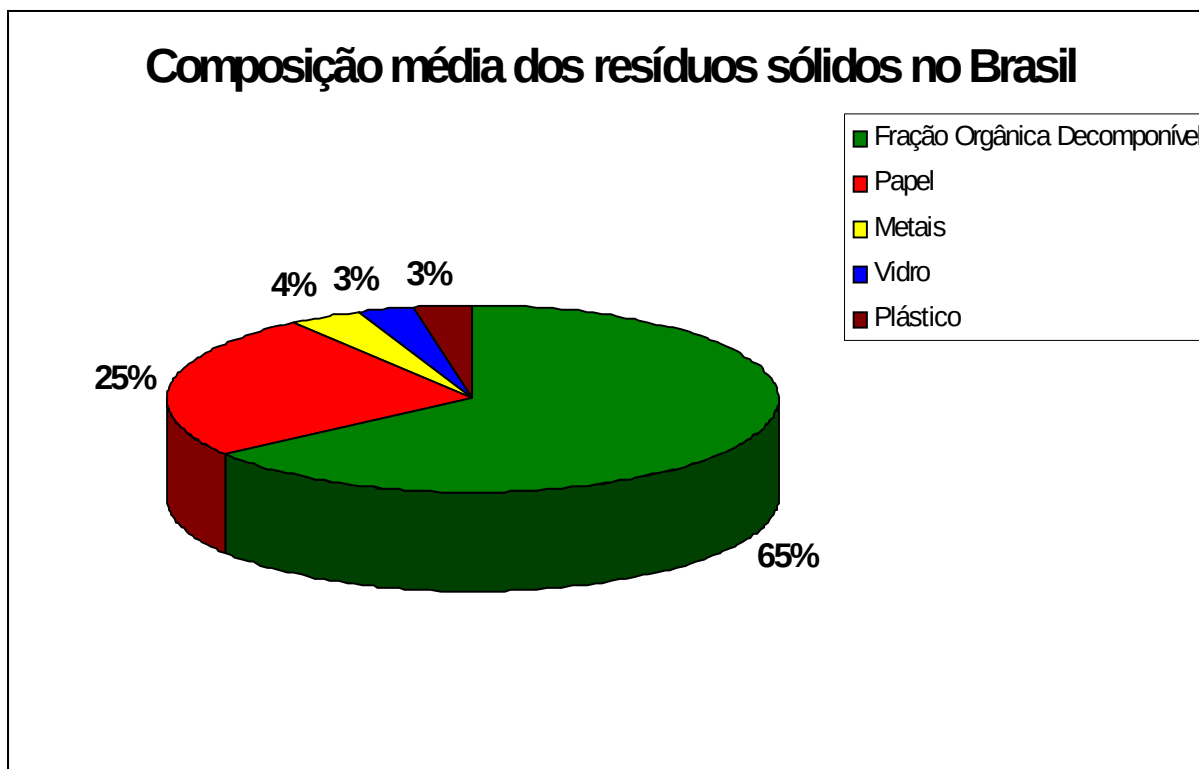


Figura 04: Composição percentual média do lixo no Brasil em peso.
Fonte: IPT / CEMPRE, 1997.

Dentre as alternativas existentes para a disposição dos resíduos sólidos temos: aterros sanitários, aterros controlados e “lixões a céu aberto”. As alternativas de tratamento dos resíduos mais utilizados no Brasil são: a incineração e a compostagem.

A CESTESB⁴ - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, ligada à Secretaria do Meio Ambiente do governo paulista edita o Inventário Anual de Resíduos Sólidos Domiciliares, que em 2006 apresenta a evolução dos últimos dez anos nas formas de disposição de resíduos sólidos. A Tabela 04 classifica as instalações dos aterros, valas e usinas de compostagem.

Tabela 04: Enquadramento das condições das instalações de tratamento e/ou destinação final de resíduos sólidos domiciliares em função do índice de qualidade de aterro - IQR.

IQR	Enquadramento
0,0-6,0	Condições Inadequadas (I)
6,1-8,0	Condições Controladas (C)
8,1-10,0	Condições Adequadas (A)

Fonte: CETESB, 2006

As Figuras 05 e 06 ilustram a evolução nos enquadramentos dos municípios em relação as disposição dos resíduos no estado de São Paulo de 1997 a 2006.

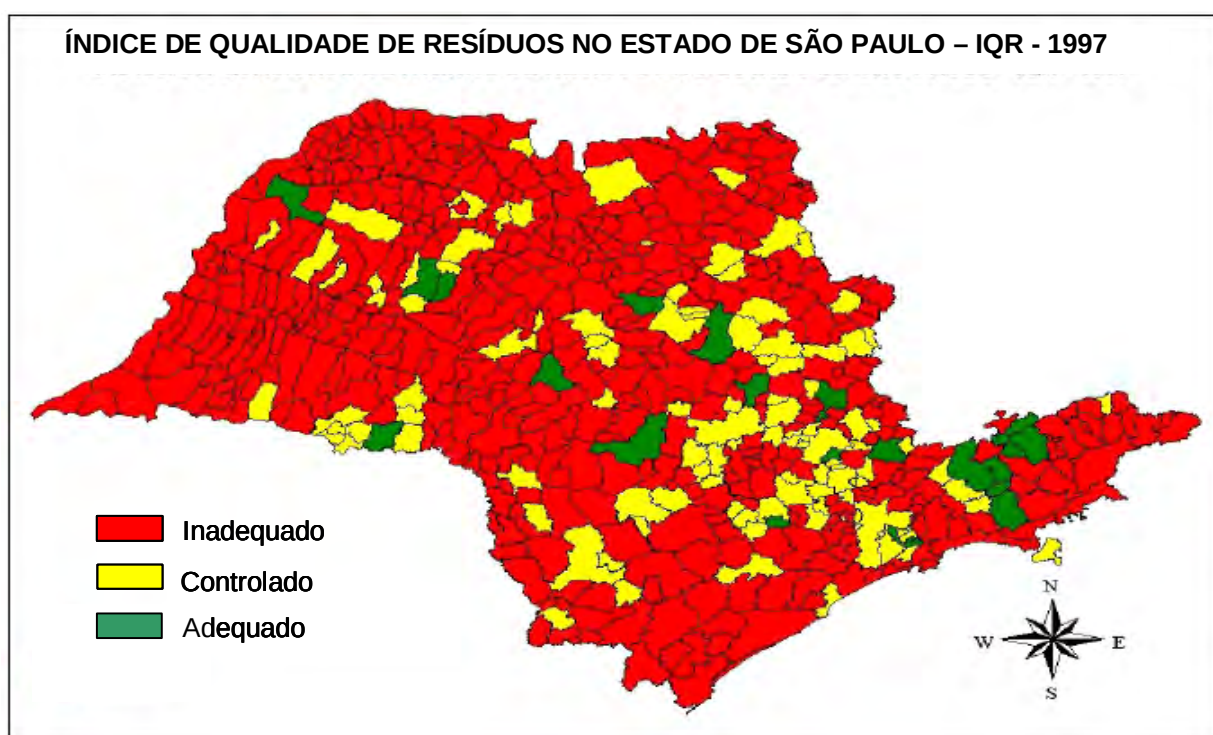


Figura 05: Índice de qualidade de aterro de resíduos sólidos no estado de São Paulo em 1997. Fonte: CETESB, 2006.

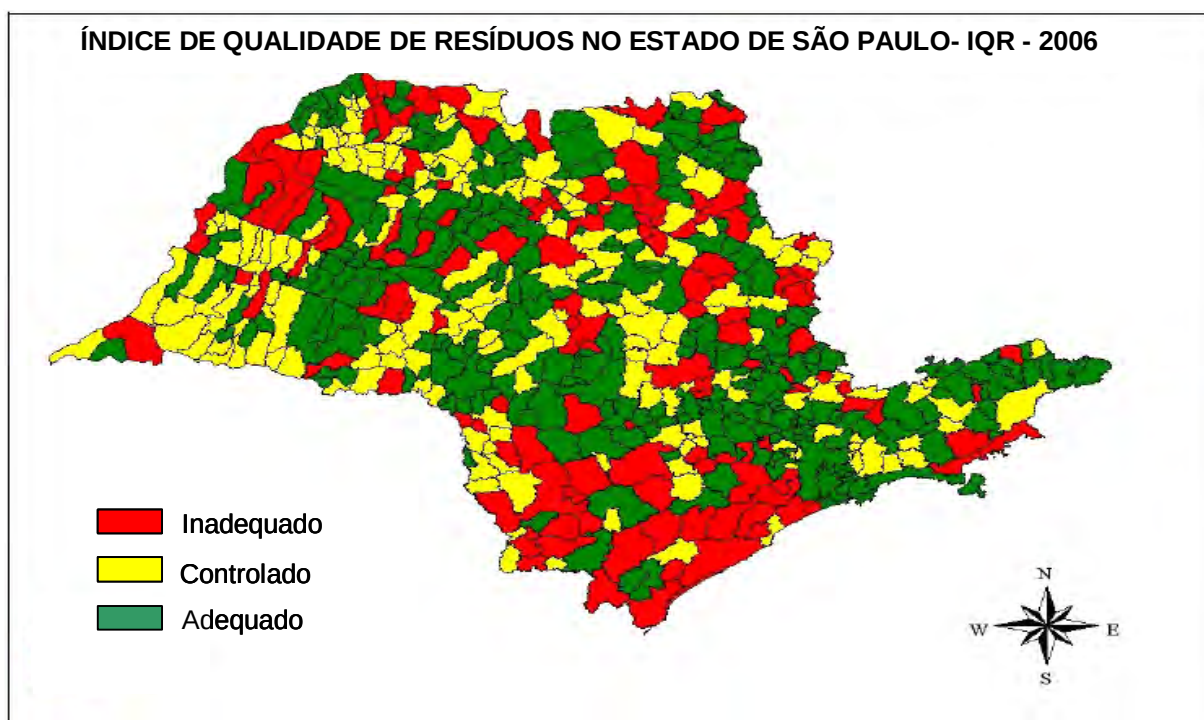


Figura 06: Índice de qualidade de aterro de resíduos sólidos no estado de São Paulo em 2006. Fonte: CETESB, 2006.

Segundo a CETESB, as informações são obtidas por inspeções dos técnicos a partir de um questionário padronizado, subdividido em três partes relativas às características: locais, estruturais e operacionais. Estas informações permitem expressar as condições ambientais dos locais de disposição de resíduos por meio dos índices IQR, IQR-Valas e IQC (Índice de Qualidade da Usina de Compostagem).³

1.2.1 Aterro sanitário

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define da seguinte forma os aterros sanitários: *"aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos, consiste na técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza os princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos ao*

menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho ou à intervalos menores se for necessário."

Segundo a Norma Técnica NBR 8419 (ABNT, 1984)⁵, o aterro sanitário não deve ser construído em áreas sujeitas à inundação. Entre a superfície inferior do aterro e o mais alto nível do lençol freático deve haver uma camada de espessura mínima de 1,5 m de solo. O nível do solo deve ser medido durante a época de maior precipitação pluviométrica da região. O solo deve ser de baixa permeabilidade (argiloso).

O aterro deve ser localizado a uma distância mínima de 200 metros de qualquer curso d'água. Deve ser de fácil acesso. A arborização deve ser adequada nas redondezas para evitar erosões e espalhamento da poeira.

Devem ser construídos poços de monitoramento para avaliar se estão ocorrendo vazamentos e contaminação do lençol freático: no mínimo quatro poços, sendo um a montante e três a jusante, no sentido do fluxo da água do lençol freático. O efluente da lagoa deve ser monitorado pelo menos quatro vezes ao ano.³⁻⁴

A quantidade de lixo depositado é controlada na entrada do aterro através de balança. É proibido o acesso de pessoas não autorizadas. Os gases liberados durante a decomposição devem ser captados e podem ser queimados com sistema de purificação de ar ou ainda utilizados como fonte de energia (aterros energéticos), como é o caso do aterro Bandeirantes, início das atividades em 1979 e término em 2006, era depositado 6000 Mg dia⁻¹ de resíduos sólidos do município de São Paulo, com o funcionamento de uma termelétrica no início de 2004, produz 170 MW h⁻¹ e previsão de aproveitamento de gases até 2019, Figura 07.

Antes de se projetar o aterro, devem ser feitos estudos geológicos e topográficos para selecionar a área a ser destinada para que sua instalação gere o menor impacto ao meio ambiente. É feita, inicialmente, a impermeabilização do solo através da combinação de argila e manta plástica (PEAD) para evitar a percolação dos líquidos derivados do lixo, o chorume (líquido de cor preto, mal cheiroso e de elevado potencial poluidor produzido pela decomposição anaeróbica da matéria orgânica), no solo. Esses líquidos são captados (drenados) através de tubulações e escoados para uma lagoa de tratamento. Para evitar o excesso de águas de chuva, são colocados tubos ao redor do aterro, que permitem desvio dessas águas.⁶

Esse tipo de disposição de resíduos é um processo utilizado para a disposição da maior fração dos resíduos domiciliares. O resíduo sólido urbano permanece em camadas cobertas com material inerte, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública, minimizando os impactos ambientais.

Nos aterros sanitários são depositados os resíduos, segundo a classificação da NBR 10.004¹: resíduos de classe II A - não inertes e os resíduos classe II B – inertes.

Os aterros sanitários são contaminantes e poluidores em potencial, pois pode haver vazamento e conseqüente percolação do chorume com o passar dos anos de armazenamento ou perfuração da manta plástica na operação do aterro por máquinas de grande porte e geração de diversas classes de gases. Dessa forma deve possuir um sistema de monitoramento ambiental constante (topográfico, atmosférico e hidrogeológico).



Figura 07: Aterro Bandeirantes (São Paulo-Brasil).
Fonte: *Governo de São Paulo*, 2007

1.2.2 Aterro controlado

Esta forma de disposição produz em geral, uma poluição localizada, pois similarmente ao aterro sanitário a extensão da área de disposição é minimizada. Porém, geralmente não dispõe de impermeabilização de base (comprometendo a qualidade das águas subterrâneas), nem sistemas de tratamento de líquidos percolados (chorume) ou de dispersão dos gases gerados.

O aterro controlado é uma disposição similar ao lixão, nos aspectos ambientais e de saúde pública, não apresenta nenhuma vantagem satisfatória, exceto a financeira para os gestores públicos, a qualidade é inferior ao aterro sanitário. A deposição faz-se por células que uma vez preenchidas são seladas a cada etapa de preenchimento, mas em alguns municípios há um preenchimento

único no final da vida útil do aterro com uma camada de solo com 1,0 a 1,5 m de espessura.^{4 e 6}

Essas áreas deveriam ser inutilizadas no término da deposição, mas em muitos casos são utilizadas como área de recreação em periferia de cidades ou até a ocupação humana.

1.2.3 Lixão

É um local onde há uma inadequada disposição final de resíduos sólidos urbanos, que se caracteriza pela simples descarga sobre o solo sem medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública. É o mesmo que descarga de resíduos a céu aberto sem levar em consideração:

- A área em que está sendo feita a descarga;
- O escoamento de líquidos formados, que uma vez percolados, podem contaminar as águas superficiais e subterrâneas;
- A liberação de gases, principalmente o gás metano que é combustível e intensificador do efeito estufa;
- O espalhamento de lixo, como papéis e plásticos, pela redondeza, por ação do vento;
- A possibilidade de criação e proliferação de animais domésticos, como suínos, aves, eqüinos, cães, gatos, etc. nas proximidades ou no local.

Os resíduos assim lançados acarretam problemas à saúde pública, como proliferação de vetores de doenças (insetos e roedores), geração de maus odores e principalmente a poluição do solo e das águas superficiais e subterrâneas através do chorume, comprometendo os recursos hídricos.

Acrescenta-se a esta situação, o total descontrole quanto aos tipos de resíduos recebidos nesses locais, verificando-se até mesmo, a disposição de dejetos originados dos serviços de saúde e das indústrias.

Comumente, os lixões são associados a fatos altamente indesejáveis como a existência de seres humanos, denominados catadores (que muitas vezes residem no próprio local).^{4 e 6}

1.2.4 Incineração

A incineração é um processo de oxidação térmica sob alta temperatura no qual ocorre a decomposição da matéria orgânica e/ou resíduo perigoso. Para que um resíduo possa ser incinerado, o mesmo deverá ter sua composição totalmente conhecida.

Nos modernos processos de tratamento, a incineração é usada para tratar resíduos não recicláveis ou não reutilizáveis, de tal maneira que os resultados são: tornar inerte qualquer resíduo perigoso, minimizando simultaneamente às emissões para a atmosfera; a destruição de contaminantes orgânicos e a minimização na concentração de inorgânicos; a minimização de resíduos destinados à disposição final, especialmente seu volume; recuperar a temperatura dos resíduos para conservar fontes de energia; e transformar os resíduos em produtos secundários utilizáveis, visando preservar a matéria prima e os recursos naturais.

Existem 6 tipos de fornos: rotativos, de injeção líquida, de leitos fluidizados, de câmara fixa, de câmara múltipla e de plasma. Independentemente do tipo selecionado, as propriedades químicas e termodinâmicas dos resíduos determinam o tamanho da câmara de combustão e suas condições operacionais (temperatura e vazões dos gases); a natureza do controle de poluentes atmosféricos; e o sistema do manuseio de cinzas/resíduos.³

De todas as técnicas de tratamento, os sistemas de incineração adequadamente projetados são os que apresentam a maior taxa de redução média em massa (70%) e de volume (90%) reduzindo significativamente o volume destinado para aterro. A parte da energia liberada pela incineração dos resíduos pode ser recuperada para geração de outros tipos de energia como exemplo, energia elétrica através do vapor d'água. ³

As técnicas de limpeza de gases de combustão podem diminuir os níveis de emissão em relação aos processos de combustão convencionais, bem como contribuir para a minimização da intensificação do efeito estufa, devido à combustão de materiais de fontes renováveis (papéis, restos de alimentos e de produtos de origem vegetal), à redução na emissão de gás metano e contaminação de lençóis freáticos observados em aterros.

A incineração elimina os microrganismos presentes nos resíduos devido às elevadas temperaturas atingidas no interior dos incineradores, sendo amplamente utilizada no tratamento de resíduos sólidos urbanos em países desenvolvidos.

Empregando técnicas adequadas de combustão, até mesmo os produtos orgânicos tóxicos, como óleo ascarel (bifenilas policloradas) e compostos aromáticos, podem ser destruídos, razão pela qual a incineração é indicada para o tratamento de resíduos industriais e descontaminação de solos contendo substâncias orgânicas tóxicas. Os parâmetros de combustão, principalmente a temperatura no(s) forno(s) tem que ser monitorados para que no processo de incineração não produza moléculas mais tóxicas a saúde humana ou recalcitrante no ambiente, em relação à molécula de partida.

A incineração apresenta custos elevados de instalação e de operação. Entretanto, este custo nas grandes metrópoles, com baixa disponibilidade de áreas

adequadas, está se aproximando do custo da disposição em aterros sanitários. Os processos de incineração, independente do porte da unidade, exigem pessoas qualificadas para garantir a qualidade da operação. Alguns materiais nos resíduos, como pilhas, plásticos etc., liberam compostos tóxicos e ácidos que não podem ser eliminados por técnicas de combustão, exigindo a instalação de sistemas de limpeza de gases.⁴

1.2.5 Compostagem

Os RSU são constituídos de 40 a 65% de matéria orgânica decomponível.^{4 a}

⁶ Uma das formas mais eficientes que se tem hoje para uma solução viável de reciclagem desse tipo de material é a compostagem, uma prática adotada há muito tempo em diversas partes do mundo. O processo de compostagem quando bem conduzido pode contribuir de forma importante para a minimização do montante de resíduos sólidos destinados aos aterros sanitários, cada vez mais problemáticos no Brasil e em outros países.

O processo de compostagem consiste na degradação microbiológica aeróbia, em condições controladas do material decomponível proveniente de diversos tipos de resíduos, como restos de cultura agrícola, lodo de esgoto, resíduos industriais orgânicos e resíduos urbanos, gerando um composto que pode ser utilizado na agricultura como uma fonte de matéria orgânica e nutrientes, Figura 08.⁶

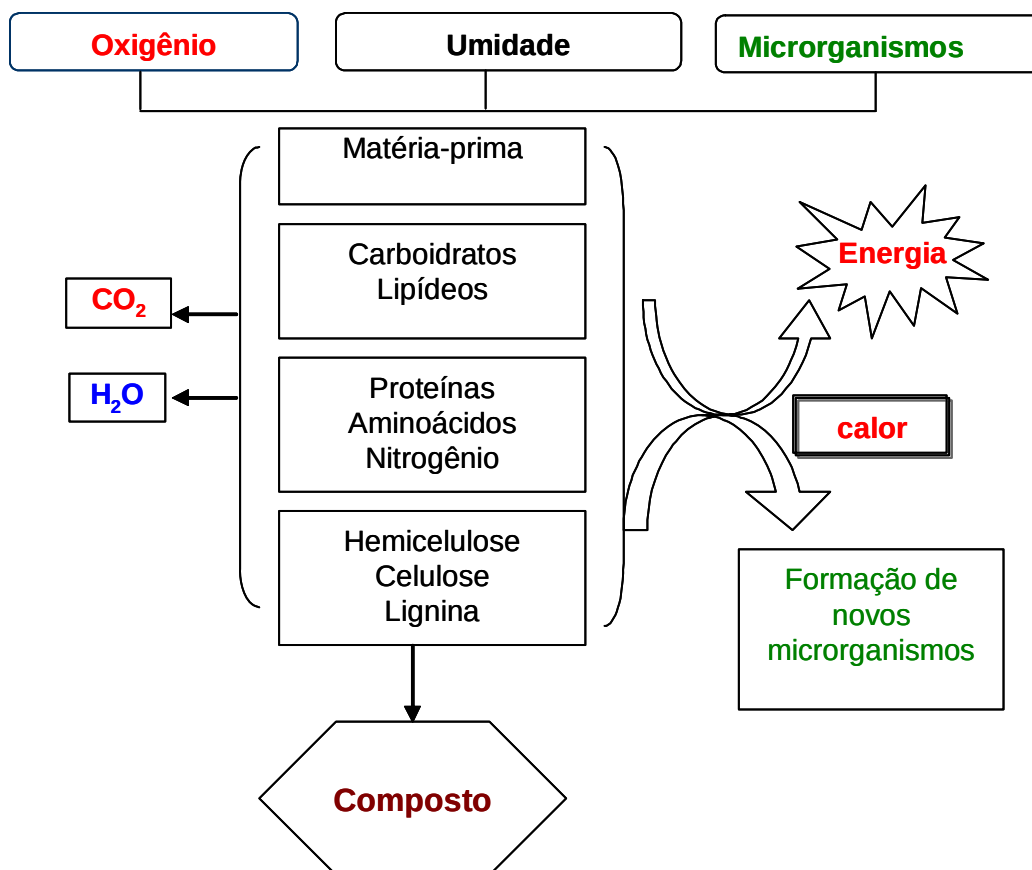


Figura 08: Processos de transformação durante a compostagem.
 Fonte: Oliveira¹⁰, Apud: Grossi¹¹.

O composto, aditivo ou condicionador orgânico proveniente de resíduos sólidos urbanos tem um efeito de amplo espectro, agindo beneficemente nos mecanismos físicos, químicos e biológicos do solo, contribuindo além da ação dos fertilizantes inorgânicos (sais).

Como a matéria orgânica é originária do descarte de animais, vegetais e outros produtos que foram consumidos pela população, seu processamento e uso agrícola apresentam-se como alternativa cíclica natural e racional para o retorno como fonte de nutrientes.⁷

Os elementos minerais são classificados em macronutrientes e micronutrientes de acordo com o que o nome indica, com as quantidades em que se encontram. Macronutrientes: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e

enxofre; são encontrados em proporções maiores (g kg^{-1}), já os micronutrientes: boro, cloro, ferro, manganês, molibdênio e zinco são encontrados em concentrações menores (mg kg^{-1}).⁸

Analisando os macronutrientes, com base nos teores médios de N, P e K do composto do lixo, pode-se observar que no geral esse produto equivale a fórmula 1/0,8/0,5, pois uma tonelada de composto irá fornecer em média 10 kg de N, 8 kg de P_2O_5 e 5 kg de K_2O . Estes números indicam que o composto pode ter importância no suprimento desses nutrientes às plantas, a partir de 10 Mg ha^{-1} do produto seco a 65%, ou cerca de 16 Mg ha^{-1} de um composto orgânico com 40% de umidade.⁷

Os micronutrientes presentes no CRSU dependem da origem dos resíduos sólidos a serem compostados, no geral estão presentes o Zn, Mn, B, Fe, Mo, Cl e Cu, que podem ser liberados para as plantas com o tempo.⁹

A incorporação dos macro e micronutrientes oriundos do composto ao solo, ocorrem em interações múltiplas das propriedades químicas, físicas e biológicas do mesmo, podendo inclusive haver alteração no metabolismo das plantas. A determinação dos macronutrientes de composto de resíduos sólidos foi executada através de métodos analíticos, sendo que pelas análises de macronutrientes infere-se que seu uso pode ser destinado a vários tipos de culturas.¹⁰

A compostagem é um dos métodos mais promissores para reciclar, reduzir o volume e estabilizar os resíduos sólidos urbanos.

O uso de compostos de resíduos sólidos urbanos (CRSU) como condicionadores de solo em terras cultivadas tem aumentado nos últimos anos, contribuindo para a disposição ecologicamente correta destes resíduos.⁷

Para que o composto possa ser utilizado de uma forma segura, como aditivo de solo, é imprescindível que esteja maturado e estabilizado, o que implica em um conteúdo estável de matéria orgânica e ausência de substâncias fitotóxicas e patógenos à plantas e/ou animais.⁷

A maturação do composto está associada com a formação da matéria orgânica humificada, composta por ácidos húmicos, huminas e ácidos fúlvicos. Essas macromoléculas aumentam a capacidade de retenção de água do solo, disponibilização de macro e micronutrientes (não complexados) e com a mineralização da matéria orgânica, há um aumento na capacidade de troca de cátions, melhorando assim alguns parâmetros de fertilidade do solo.

Existem muitos sistemas de usinas de compostagem de resíduos sólidos, porém os mais usados no Brasil são Dano e Sanecom.¹⁰ O sistema Dano é dinâmico, contendo etapas como: fosso de recepção, triagem manual, separação eletromagnética, bioestabilização, peneiramento e cura (opcional) do material. O lixo é decomposto aerobicamente a partir da ação biológica dos microrganismos e fatores como umidade, aeração e temperatura, são controlados para que sejam mantidas as condições necessárias à degradação dos resíduos.

O sistema Sanecon (Figura 09) foi desenvolvido no Brasil, é mais simples quando comparado com o sistema Dano (Figura 10), apresenta como destaque a catação manual realizada quase sempre em uma esteira longa com cerca de 20 m onde várias pessoas ficam dispostas em suas laterais. O material, depois de triturado ou peneirado, é disposto em leiras para a maturação, cujo tempo varia de usina para usina. Geralmente faz-se um peneiramento ao término do processo, para a obtenção de um composto com a granulometria menor.¹⁰



Figura 09a: Pátio de recepção



Figura 09b: Esteira de triagem



Figura 09c: Peneira com malha de 4,0 cm de diâmetro.



Figura 09d: Material em leiras a ser compostado.



Figura 09e: Peneira com malha de 2,0 cm de diâmetro.



Figura 09f: Composto de resíduos sólidos urbanos, após 120 dias do início de compostagem.

Figura 09: Esquema do sistema Sanecom de compostagem, Araras-SP.



Figura 10a: Pátio de recepção



Figura 10b: Esteira de triagem



Figura 10c: Biodigestor Dano.



Figura 10d: Peneira com malha de 4,0 cm .



Figura 10e: Leiras a ser compostado (opcional).



Figura 10f: Composto de resíduos sólidos urbanos.

Figura 10: Esquema do sistema Dano de compostagem, Vila Leopoldina-SP.

O CRSU é a denominação genérica dada ao condicionador orgânico resultante do processo de compostagem.¹¹ A composição química do composto varia de acordo com a região geográfica, variação sazonal e principalmente devido aos processos de pré-tratamento e compostagem dos RSU^{11 e 12}.

1.3 Questões sobre o impacto potencial do uso de composto de RSU como aditivo de solo

1.3.1 Nitrato

Assim como a maioria dos condicionadores orgânicos, o CRSU é fonte importante de N, porém dependendo da concentração das doses de composto e da frequência de aplicação, há risco ao ambiente em virtude da lixiviação de nitrato e conseqüentemente contaminação das águas subterrâneas e superficiais.

Águas com concentrações de N-NO_3^- superiores a $3,0 \text{ mg L}^{-1}$ são consideradas contaminadas. A Organização Mundial da Saúde (OMS) estabelece para água potável, concentração máxima aceitável de $10,0 \text{ mg L}^{-1}$, mesmo valor recomendado pelas legislações brasileira e americana.¹³

Quando o nitrato penetra no sistema digestivo humano, bactérias o convertem em nitrito. O nitrito impede que o sangue adsorva oxigênio de modo satisfatório e quando presente em dose elevada pode ser perigoso. O problema é raro em adultos, mas bebês correm sérios riscos. Suspeita-se também que nitritos causem câncer.¹³

Outro problema referente ao nitrogênio é a eutrofização de corpos d'água. O nitrogênio, na forma de nitratos, contribui para o crescimento das plantas. Entretanto, se estes nutrientes se acumulam em águas paradas, as microalgas (plantas aquáticas microscópicas) utilizam-no como fonte de alimento e se multiplicam rapidamente. Em pouco tempo, o lago é asfixiado por uma massa lodosa verde formada por essas algas. Este processo é chamado de eutrofização ou "bloom". Apesar das algas realizarem fotossíntese, fornecendo assim oxigênio para os organismos aquáticos, durante a respiração, elas consomem parte deste oxigênio dissolvido e impedem que a luz penetre na coluna d'água, não permitindo a fotossíntese de plantas bentônicas. Ao final de seu ciclo de vida, essa grande massa

de algas se deposita no sedimento onde são consumidas por microrganismos saprofíticos que acabam utilizando quase todo o oxigênio dissolvido no processo de decomposição e comprometendo a sobrevivência dos demais organismos aquáticos. Ao final do processo, as bactérias se multiplicam e o ambiente torna-se estagnado e desprovidos de vida.¹⁴

Como o estudo sobre a contaminação do meio ambiente por nitrato pelo uso agrícola de compostos de resíduos urbanos é de grande interesse, vários trabalhos estão sendo realizados a respeito. A avaliação do efeito da adição de composto de resíduos urbanos e industriais no acúmulo de nitrato em hortaliças folhosas, como o alface, é recomendada em seu cultivo uso simultâneo de esterco e adubos industriais (sais) como fonte de N e outros nutrientes.¹⁵

O composto de lixo urbano pode ser um dos substitutos para os esterco e é utilizado há mais de 20 anos nos cinturões verdes do Estado de São Paulo, em doses anuais de 40 a 60 Mg ha⁻¹. Nessas áreas os problemas com a lixiviação de nitrato são agravados pelo cultivo durante o ano todo pela localização em áreas de baixadas, próximas a cursos d'água e conseqüentemente com lençol freático pouco profundo e pela irrigação.¹⁶

1.3.2 Fósforo

Assim como para o nitrogênio, os condicionadores orgânicos são fontes de fósforo e que dependendo da concentração nas doses de CRSU e da frequência de aplicação, há risco ao ambiente em virtude da lixiviação de fósforo e conseqüentemente contaminação das águas superficiais.

Em relação à fertilidade do solo, o fósforo é um nutriente que tem grande importância, pois no Brasil áreas enormes estão deficientes de fósforo disponível às plantas, o uso de grandes quantidades de fertilizantes fosfatados é a prova disso.¹⁷

Na maioria das culturas o fósforo é o macronutriente em menor concentração, porém é o fertilizante mineral aplicado em maior quantidade. Esse fato ocorre, porque o fósforo muitas vezes não está disponível para as plantas.

O fósforo no solo encontra-se em duas classes: inorgânica e orgânica. Na forma inorgânica um, dois ou três íons hidrogênio do H_3PO_4 (ácido fosfórico) são substituídos por cátions metálicos; na forma orgânica um, dois ou três íons hidrogênio são eliminados para formar ligação éster, os demais sendo substituídos total ou parcialmente por cátions metálicos.¹⁸

A partir de estudos preliminares¹⁹⁻²⁴ observou-se que o composto é um bom fornecedor de fósforo, tendo uma alta concentração de fósforo disponível, porém a maior parcela de fósforo está na forma orgânica. O fósforo orgânico pode ser considerado um reservatório de fósforo, pois com o tempo pode ocorrer a mineralização, disponibilizando assim o nutriente.

Do ponto de vista ambiental, os altos teores de fósforo orgânico somado ao fósforo disponível, originam uma preocupação a respeito do uso indiscriminado desse composto, uma vez que o fósforo disponível em grandes quantidades, pode causar eutrofização ao chegar até corpos d'água. Dessa forma, assim como a

importância da determinação do poder fertilizante do composto, faz-se indispensável a determinação do fósforo disponível para o estudo do impacto ambiental da aplicação deste fertilizante ao solo, evitando assim, uma contaminação de águas superficiais através da lixiviação.

1.3.3 Metais Ambientalmente Impactantes e Contaminantes Orgânicos

Os estudos apontam para uma solução em relação aos problemas ambientais causados pela disposição e tratamento de resíduos em geral, no caso dos resíduos sólidos urbanos, a *European Union Landfill Directive*, sugere uma redução, para os países da Comunidade Européia, em 2010, de 25% no volume de resíduos biodegradáveis para aterro sanitário em relação aos índices de 1995 e de 35% para 2020.²⁵ E o processo de compostagem apresenta com alternativa viável, ambientalmente e economicamente, para esta redução da matéria decomponível.^{6 e 7}

O desenvolvimento de modelos matemáticos para auxiliar os estudos na eficiência do processo de compostagem está evoluindo e os fatores como balanço de massa e energia são considerados nas relações com o tempo, degradações a compostos voláteis, consumo de oxigênio, emissão de CO₂ e outros gases, volume de resíduos, composição, sistema de aeração, revolvimento e velocidade de degradação/estabilização.²⁶ A cinética de compostagem e inoculantes são fatores importantes para viabilidade econômica do composto.²⁷

O uso agrícola do composto de resíduos sólidos, como condicionador orgânico, é viável do ponto de vista técnico, social e ambiental²⁸⁻³¹. Todavia, seus efeitos sobre as propriedades químicas do solo e impactos ambientais (contaminação e poluição) devem ser mantidos sob monitoramento constante,

principalmente em relação aos metais ambientalmente impactantes (Cd, Ni, Cr, Pb, entre outros) e os compostos orgânicos (pesticidas e outros contaminantes).^{22-24 e 30}

Estudos agronômicos apontam à aplicação segura de CRSU, industriais e outros compostos com alto teor de matéria orgânica em diversas culturas comerciais e terapêuticas.^{22, 24, 28 e 29.}

A utilização de composto de resíduos sólidos na agricultura deve ser aplicada com os estudos de impactos ambientais prévios, pois essas fontes de matéria orgânicas e nutrientes possam ao longo do tempo, migrar para águas superficiais e subterrâneas, podendo assim causar poluição, contaminação e a eutrofização de águas destinadas ao consumo direto e indireto do homem.³²

1.4 Nutrientes nos cultivos vegetais

Uma das recomendações técnicas mais utilizadas no Estado de São Paulo é o Boletim nº 100³³ – “Recomendações de Adubação e calagem para o Estado de São Paulo”, teve sua 2ª edição em 1997. Este Boletim orienta as correções de pH do solo de acordo com a cultura a ser implantada, com a utilização de calcário calcítico ou dolomítico. As orientações sobre a adubação indicam as aplicações de sais inorgânicos de acordo com as necessidades do solo onde cada cultura será instalada. No geral aplica-se a adubação de cultivo (no plantio) e a adubação de cobertura (durante o cultivo), e quando necessário faz-se uma complementação de matéria orgânica com esterco bovino no plantio.

O sistema radicular da planta propicia a absorção dos nutrientes disponíveis da solução do solo, fonte imediata e mais importante de nutrientes para a absorção radicular e conseqüentemente no seu desenvolvimento, mas o fato de determinado

elemento estar presente no solo não significa que desempenha um papel essencial na vida da mesma.^{8 e 34}

Os elementos minerais são classificados em macro e micronutrientes e os próprios nomes indicam, estão relacionados com as quantidades exigidas pelas plantas em seu desenvolvimento. Os macronutrientes são: N, P, K, Ca, Mg e S, pois são exigidos em quantidades maiores, já os micronutrientes que são: B, Cu, Fe, Mn, Cl, Mo, Co e Zn, são exigidos em pequenas quantidades.

Quando um dos elementos químicos essenciais para a vida de um vegetal está disponível no meio em quantidades insuficientes, ou em combinações que o tornam pouco disponível, provocará distúrbios visíveis, tais como diminuição no crescimento, amarelecimento das folhas e alterações fisiológicas e anatômicas. Os sintomas de deficiências nutricionais são mais ou menos característicos para cada elemento, dependendo também da seriedade da deficiência, da espécie ou variedade e de fatores do ambiente.³⁵

MALAVOLTA (1997)⁸ e TAIZ e ZEIGER (1998)³⁶ relataram a importância dos elementos nas plantas, Tabela 05, adaptada.

Tabela 05: Atuação dos nutrientes e efeito das suas deficiências em plantas

Nutriente	Principais Formas de absorção	Atuação na planta	Efeitos da deficiência
Nitrogênio	$\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, NH_4^+ NO_3^-	Estimula a formação e o desenvolvimento de gemas floríferas e frutíferas e síntese de aminoácidos	Amarelecimento das folhas inferiores da planta (clorose).
Fósforo	H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}	Estimula o crescimento das raízes e participar dos chamados compostos ricos de energia, como o trifosfato de adenosina (ATP)	Desenvolvimento de uma tonalidade roxa, principalmente nas margens das folhas mais velhas.
Potássio	K^+	Atua em processos osmóticos, na síntese de proteínas, na abertura e fechamento de estômatos, na permeabilidade da membrana, no controle de pH e na ativação enzimática.	Atraso na floração e diminuição no tamanho dos frutos. Ocorre, ainda a redução significativa da área verde foliar, afetando a fotossíntese.
Cálcio	Ca^{2+}	Manutenção da integridade estrutural das membranas e da parede celular, nos processos mitóticos, mensageiro para as resposta do ambiente e hormonal e regulador enzimático.	Diminuição na atividade enzimática e clorose nas folhas novas e morte prematura das regiões meristemática.
Magnésio	Mg^{2+}	Ativador de enzimas da respiração, fotossíntese e da síntese de DNA e RNA, formação da clorofila.	Diminuição na atividade enzimática e fotossíntese.
Zinco	Zn^{2+}	Atua no metabolismo geral e na biossíntese da clorofila.	Crescimento reduzido das folhas apicais e de internódios curtos.
Manganês	Mn^{2+}	É ativador enzimático da descarboxilase, hidroxilase dentre outras, participa da formação de cloroplasto.	Redução da taxa fotossintética.
Cobre	Cu^{2+}	Processos metabólicos nas plantas e processos de oxi-redução.	Redução da taxa fotossintética.
Ferro	Fe^{2+} e Fe^{3+}	Formação de clorofila e processos de oxi-redução.	Ocorre redução no crescimento e frutificação.
Enxofre	SO_4^{2-}	Incorporados nas proteínas.	Redução no crescimento e frutificação, clorose
Boro	BO_3^{3-}	Formação de novos tecidos e na sua produtividade	Redução no crescimento e frutificação.

A adubação pode ser definida como a prática de adição de nutrientes de que a planta necessita para viver, com a finalidade de obter colheitas compensadoras de produtos de boa qualidade nutritiva ou industrial. As variações das concentrações desses nutrientes podem alterar o metabolismo das plantas, mostrando a importância de se monitorar esses nutrientes no material vegetal. Para alguns nutrientes há ações sinérgicas ou antagônicas na absorção de outros nutrientes.

1.5 Aplicação do calcário e adubação química no Brasil

Segundo a ABRACAL - Associação brasileira dos produtores de calcário agrícola, a produção comercializada de calcário no Brasil em 2003, foi de $27,3 \times 10^9$ kg um percentual 22% maior que no ano anterior, Tabela 06. Os dados ilustram um panorama de aumento da utilização de calcário para a correção de pH do solo.

Tabela 06: Total de calcário produzido e comercializado de 1998 a 2003, em 10^9 kg

Produção	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Total	16,3	15,8	19,3	18,9	22,4	27,3

Fonte: adaptada da ABRACAL, 2006.

Segundo a ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos, o setor apresenta um aumento de 61,1% de Janeiro a Maio de 2007, em relação ao mesmo período do ano anterior, Tabela 07. O grande montante da utilização de fertilizantes comprova a deficiência nutricional dos solos brasileiros.

Tabela 07: Total de fertilizantes comercializado de 2004 a maio de 2007, em 10⁹ kg.

Período	2004	2005	2006	2007	2007x2006
Maio	1,60	0,98	0,82	1,64	98,4%
Janeiro a Maio	6,04	4,64	4,71	7,58	61,1%
Total do Ano	22,8	20,2	21,0		

Fonte: Adaptada da ANDA, 2006.

1.6 Plantas medicinais

"As plantas medicinais brasileiras não curam apenas, fazem milagres". Com esta célebre frase, Von Martius definiu bem a capacidade de nossas plantas medicinais. O Brasil possui a maior diversidade genética vegetal do planeta, com cerca de 55.000 espécies catalogadas de um total estimado entre 350.000 e 550.000 espécies, o que coloca o Brasil na lista de 191 países membros da OMS (Organização Mundial de Saúde) com o compromisso de estimular o desenvolvimento de políticas públicas para apoiar a medicina alternativa e complementar.³⁵

Os estudos sobre o cultivo de plantas medicinais e aromáticas são reduzidos no Brasil, apesar da importância que a área possui em nível mundial.³⁷ Entretanto o cenário nacional poderá sofrer mudanças com o Decreto nº 5.813, de 22 de junho de 2006, que aprova a Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos, com os objetivos de *"garantir à população brasileira o acesso seguro e o uso racional de plantas medicinais e fitoterápicos, promovendo o uso sustentável da biodiversidade, o desenvolvimento da cadeia produtiva e da indústria nacional."*

Este decreto regulamenta o cultivo, o manejo, a produção, a distribuição e o uso de plantas medicinais e fitoterápicos. Com a proposta de promover o uso

sustentável da biodiversidade e a repartição dos benefícios derivados do uso dos conhecimentos tradicionais associados e do patrimônio genético.

A utilização de plantas medicinais tem recebido incentivos da própria OMS. São muitos os fatores que colaboram no desenvolvimento de práticas de saúde que incluam plantas medicinais, principalmente econômicos e sociais. Entretanto segundo FURLAN (1998)³⁷, ainda hoje persiste um ar de mistério quando se utilizam estas plantas, principalmente em virtude das suas relações com a mitologia.

A utilização de espécies vegetais, com fins de tratamento e cura de doenças remonta ao início da civilização, desde o momento em que o homem despertou para a consciência e iniciou um longo percurso de manuseio, adaptação e modificação dos recursos naturais para seu próprio benefício.³⁸

O conhecimento sobre plantas medicinais simboliza muitas vezes o único recurso terapêutico de muitas comunidades e grupos étnicos. O uso de plantas no tratamento e na cura de enfermidades é tão antigo quanto à espécie humana. Ainda hoje nas regiões mais pobres do país e até mesmo nas grandes cidades brasileiras, plantas medicinais são comercializadas em feiras livres, mercados populares e encontradas em quintais residenciais.³⁹

A utilização de plantas medicinais e suas propriedades terapêuticas vêm sendo estudadas através dos séculos, e esse conhecimento empírico e científico, de acordo com STASI⁴⁰, encontra-se disponível atualmente.

Sabe-se que nas plantas há o metabolismo primário, responsável pela fotossíntese e respiração, e o metabolismo secundário, responsável pela síntese de várias substâncias, tais como flavonóides, alcalóides, terpenóides e óleos essenciais, destinadas não só ao uso terapêutico como também à indústria alimentícia, como aromatizante, que as fazem ter um lugar de destaque.

É necessário lembrar que as plantas produzem estas substâncias como uma resposta ambiental de suas interações com os demais organismos vivos, ao longo do tempo evolutivo terrestre.

O cultivo de plantas medicinais pode ser considerado como uma das etapas que mais pode interferir na produção de seus princípios ativos, tanto do ponto de vista qualitativo como quantitativo. Este fato tem gerado inúmeros trabalhos que envolvem o cultivo de espécies medicinais nas mais diferentes situações de nutrição, condições climáticas e época de colheita. Desde a última década, a literatura científica vem apresentando trabalhos que visam à valorização de espécies e as orientações para o cultivo de plantas aromáticas produtoras de óleos essenciais⁴¹⁻⁴⁶ e plantas de interesse farmacológico.⁴⁷

MALIZIA *et al.*⁴⁶ verificaram diferenças no rendimento da extração de óleos essenciais e seus componentes principais, em duas populações de plantas silvestres de *Aloysia polystachya* (Gris.) Mold., cultivadas em condições de campo.

JELIAZKOVA *et al.*⁴⁸ encontraram influência da adubação N, P e K na produção de folhas e óleo essencial de três cultivares de *Mentha x piperita* L. As plantas responderam positivamente aos tratamentos aumentando sua altura e a quantidade de matéria fresca. Encontraram também alteração (aumento) no conteúdo de mentol do óleo de dois cultivares, não verificando qualquer alteração para os demais constituintes do mesmo. Estudos similares a este são relatados para plantas cultivadas com composto de lixo em solo brasileiro (OLIVEIRA¹⁹, OLIVEIRA²⁰ e FUJITA^{21 e 22}).

Borago officinalis L. cultivada em diferentes tipos de solos e sob diferentes níveis de adubação, apresentou diferenças quanto à composição do óleo essencial. Foi verificado que a melhor porcentagem de ácido γ -linolênico ocorreu em solo

argiloso, e em solo arenoso encontrou-se a concentração mais alta de ácidos araquídico e tetracosanóico⁴⁹.

NIKOLOVA *et al.*⁵⁰ estudando a nutrição mineral de camomila (*Chamomilla recutita* (L.) K.), encontraram que as diferenças no regime de nutrientes induziram alterações na qualidade do óleo essencial. Houve aumento de (-)- α bisabolol, sob elevados níveis de fósforo, assim como diminuição deste mesmo componente sob altos níveis de magnésio. A presença do cálcio foi importante para a alta produção da matéria seca de folhas e caule, e também para aumentar o número de flores e a produção de óleo essencial.

O cultivo de plantas de interesse medicinal e farmacêutico em larga escala, não pode levar em consideração as técnicas de cultivo frequentemente empregadas nos demais campos de produção, pois não é possível prever se estas plantas vão desenvolver-se adequadamente, produzindo as substâncias de interesse farmacêutico com a mesma composição daquelas produzidas por plantas crescendo em seu habitat natural.

FURLAN³⁵ ressalta a necessidade de pesquisas que venham a contribuir positivamente para o progresso da produção sistemática e padronizada de plantas medicinais no país. As plantas medicinais e aromáticas como culturas que possuem poucas informações sobre adubação e nutrição. Entende-se então a necessidade de pesquisas desta natureza, para compor um quadro mais informativo da área.

1.6.1 *Cymbopogon citratus*

Este gênero é constituído de aproximadamente 250 espécies, sendo a *Cymbopogon Citratus* uma das mais cultivadas no Brasil, devido às condições climáticas favoráveis para o cultivo desta espécie.⁵¹

No Brasil, o *Cymbopogon citratus*, conhecido como capim-limão, capim-cidreira, capim-santo e internacionalmente como “lemon grass”, é uma planta perene, originária da Ásia e bem adaptada em praticamente todos os continentes. Sua utilização é feita através da infusão das folhas, com várias propriedades terapêuticas, sendo sedativo do sistema nervoso ou calmante, sudorífero, carminativo, antiespasmódica, analgésico, diurético, antipirético, anti-reumático e anti-séptico local. É também utilizado como aromatizante em perfumaria e cosmética por seu forte odor de limão. Os principais constituintes do óleo essencial (metabolismo secundário) são o **citral** (mistura dos isômeros: geranial ((E)-3,7-dimetil-2,6-octadienal) e neral ((Z)-3,7-dimetil-2,6-octadienal), Figura 11) e o **mirceno** (7-Metil-3-metileno-1,6-octadieno), Figura 12.⁵¹

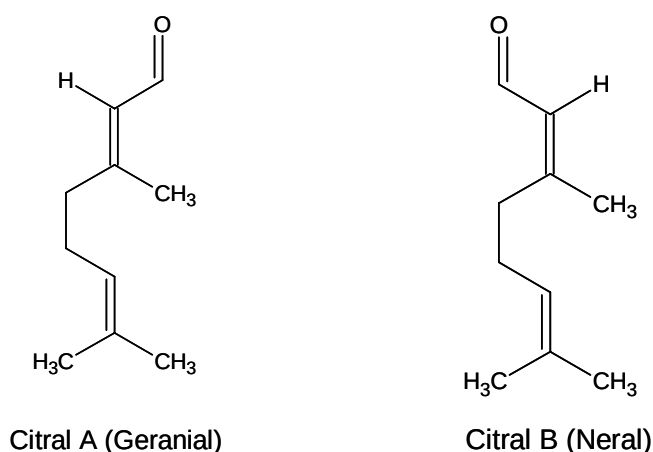


Figura 11: Estruturas químicas dos isômeros do citral.

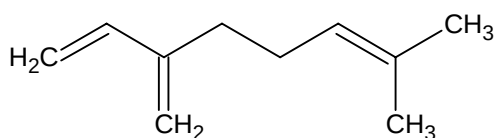


Figura 12 - Estrutura química do mirceno

É uma planta herbácea, cespitosa, perene, de até 2,0 m de altura. Folhas alternas, constituídas por bainha convoluta e lâmina. Bainha alargada em direção à base, de 4,0 cm a 26,0 cm de comprimento, com 0,6 cm a 6,5 cm de largura na

região basal, 1,0 cm a 3,5 cm na região mediana e 0,9 cm a 2,1 cm na região apical, as mais externas, mais rígidas na porção basal. Lígula com 0,2 cm de altura, curta e truncada, membranosa, de coloração castanha nas folhas adultas e verde claro nas folhas jovens.⁵²

A espécie raramente floresce no Brasil, diferindo das espécies afins, também cultivadas no país, como o *Cymbopogon nardus* L. (capim citronela) e *Cymbopogon densiflorus* Stapf. (capim caatingá), pela morfologia da inflorescência e pela composição do óleo essencial.⁵²

As alterações no metabolismo vegetal são proporcionadas pelas variações dos elementos básicos do meio de cultivo, tais como tipo de solo, disponibilidade de água e nutrientes para as plantas, condições climáticas e técnicas de cultivo. Dentro de certos limites, modificações na morfologia, fisiologia e bioquímica, podem ocorrer nas plantas como respostas às influências dos elementos acima citados. Em concordância, OLIVEIRA *et al.*⁵³ e FURLAN³⁵, alertam para o problema da interferência desses fatores do meio na composição dos vegetais de uso medicinal e farmacêutico. Este fato tem gerado inúmeros trabalhos que envolvem o cultivo de espécies medicinais nas mais diferentes situações de nutrição, condições climáticas, época de colheita, etc.^{40 e 54}

Os mesmos autores discorrem a respeito de elementos inerentes ao meio e às técnicas de cultivo que podem influir na produção e/ou acúmulo dos princípios ativos pelos vegetais a serem utilizados como fitoterápicos. Dentre eles, estão os fatores edáficos entendidos como, a estrutura física do solo, condições de arejamento, nutrientes minerais, pH e microorganismos.

Atualmente, em todo o mundo, estão em desenvolvimento diversos estudos visando a valorização de espécies e o estabelecimento de orientações para o cultivo de plantas aromáticas produtoras de óleos essenciais.⁴¹⁻⁵⁰

1.6.2 Análise química de Princípios ativos do *Cymbopogon citratus*

Estudos desenvolvidos por RAUBER, (2005)³² apontam atividade antifúngica do óleo essencial de *Cymbopogon citratus* contra *Candida albicans*. Dentre as várias propriedades já estudadas do capim-limão é primordial o controle de qualidade do óleo essencial, extratos e material vegetal, para garantir suas propriedades. Para avaliação na fração volátil (óleo essencial) comumente utiliza-se a cromatografia com sistema a gás e com o detector mais apropriado para cada classe de moléculas, sendo um dos mais utilizado e universal, os detectores de ionização em chama (CG-DIC) e o espectrômetro de massas (CG-EM).³²

A cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) é indicada para identificação, separação e quantificação de moléculas que possam modificar termicamente e não voláteis. Mas segundo RAUBER, 2005, a CLAE com detector ultravioleta (CLAE-UV) apresenta-se como uma técnica alternativa e com bom desempenho para quantificação de citral em óleo essencial de *Cymbopogon citratus*, em relação à linearidade, precisão, exatidão e seletividade.³²

As plantas medicinais podem atuar como bioindicadores de poluição e contaminação, além da avaliação do óleo essencial é relevante à avaliação de agrotóxicos, metais ambientalmente impactantes e danosos a saúde, já que várias dessas plantas medicinais são consumidas *in natura*, desidratadas ou encapsuladas.

Sendo as informações de manejos e técnicas de cultivo extremamente relevantes ao consumidor final.⁵⁶⁻⁵⁷

Estudos envolvendo o cultivo de plantas medicinais no Brasil são ínfimos. Considerando que o *Cymbopogon citratus* foi introduzido no país, não há estudos detalhados sobre as alterações na produção de princípios ativos e condições de cultivo, fatos que comprovam a necessidade de estudo dessa planta e outras, em condições comerciais (cultivo de campo).

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do tratamento do solo com aditivos orgânicos no cultivo de *Cymbopogon citratus* quanto ao desenvolvimento das plantas, absorção de nutrientes, a produção de óleo essencial e seus principais princípios ativos (citral e mirceno).

Avaliar o impacto ambiental do nitrogênio, fósforo e metais ambientalmente impactantes, em relação aos tratamentos e ao tempo de cultivo.

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1. MONTAGEM DO EXPERIMENTO

3.1.1. Origem dos aditivos utilizados

3.1.1.1 Composto de resíduos sólidos urbanos

A usina de compostagem da cidade de Araras-SP, de onde proveio o composto utilizado neste estudo, adota o sistema Sanecon sem moagem, substituindo o trituração por peneiras de malhas de 2,0 cm no final do processo e coletor magnético para metais ferromagnéticos no final da esteira de triagem.

O CRSU de Araras-SP é obtido da fração decomponível dos resíduos sólidos urbanos recolhidos diariamente do município de Araras e região, sendo a média diária de 110 Mg de resíduos sólidos. Após a triagem desse material a fração decomponível é depositada em um pátio na forma de leiras de aproximadamente 3,0m x 1,70m x 40,0m (base x altura x comprimento), revolvidas a cada 15 dias nos primeiros 60 dias e a cada 30 dias até o término do processo, 120-150 dias.

3.1.1.2 Composto de resíduos sólidos industriais - Ecosolo® -

Bioland

O Ecosolo® foi escolhido para esse estudo por ser um aditivo orgânico licenciado (sob nº 21000202) pela CETESB e de fácil disponibilidade no mercado. É obtido através do processo de compostagem sob aeração forçada em pilhas estáticas, utilizando resíduos orgânicos de diversas origens, tais como: sobras de restaurantes, produtos alimentícios com validade vencida, podas de árvores, serragem, lodos de indústrias alimentícias, cascas de arvores de reflorestamento, fibras da casca de coco e outros resíduos agroindustriais e comerciais.

O tempo de compostagem é de 100 a 150 dias dependendo do material de partida.

3.1.2. Delineamento experimental

Utilizou-se um delineamento experimental de blocos ao acaso, com esquema fatorial:

- Tratamento 1: Solo;
- Tratamento 2: Solo + 30 Mg ha⁻¹ no plantio de composto da Usina de Compostagem e Reciclagem de Araras-SP;
- Tratamento 3: Solo + 30 Mg ha⁻¹ no plantio de composto Ecosolo®/Bioland;
- Tratamento 4: recomendações do Boletim 100 do IAC (aplicação de calcário dolomítico para elevar a saturação por base a 40%, adubação mineral no plantio: N:20 kg ha⁻¹; P* :13,1 a 26,2 kg ha⁻¹; K*: 24,9 a 49,8 kg ha⁻¹.

Adubação de cobertura: após 30 dias aplica-se 60 kg ha⁻¹ de N, e cada corte 60 kg ha⁻¹ de N e K: 24,9 a 49,8 kg ha⁻¹.

* De acordo com a análise prévia do solo.

A coleta do material vegetal ocorreu em dois tipos de manejo:

- Manejo 1: 1ª Coleta aos 120 dias de cultivo, 2ª Coleta aos 120 dias após a primeira coleta (240 dias);
- Manejo 2: Coleta única aos 240 dias após o cultivo.

Verificando:

- As alterações na produção do óleo essencial e dos principais constituintes (citral e mirceno), matéria fresca e seca;
- Absorção de macro (N, P, K, Ca, Mg, K e S) e micronutrientes (Zn, Mn, Cu, Fe e B);
- Metais ambientalmente impactantes: Al, Pb, Cd, Ni e Cr

Nas amostras de solo determinou-se a concentração de nitrato, fósforo orgânico e disponível em 4 épocas de coletas (0, 90, 180 e 270 dias após o plantio de *Cymbopogon citratus*).

3.1.3. Montagem em campo

A área utilizada para a montagem do experimento foi disponibilizada no sítio Dois Irmãos no município de Araraquara-SP, localizado na latitude: 21° 56' 15,2" sul e longitude: 48° 14' 45,3" oeste, de propriedade do Sr. Carlos Adami que gentilmente cedeu a área para o desenvolvimento deste trabalho.

Antes do preparo para o plantio (Figura 13), foi realizada uma limpeza na área total de 222 m² (37,0m x 6,0m), retirando-se a vegetação anterior e pequenos troncos. Executou-se a seguir o destorroamento do solo, ou seja, a quebra dos torrões formados pela condição de pousio (sem atividade agrícola) da área (Figura 14). As parcelas de 13,8 m² (6,9m² de área para cada coleta) foram demarcadas na área reservada para o cultivo (Figura 15).



Figura 13: Área onde foram implantados os experimentos, antes do preparo. Terreno sem atividade agrícola há mais de 6 anos.



Figura 14: Início do preparo do solo para cultivo (destorroamento).



Figura 15: Demarcação das parcelas para iniciar a distribuição dos tratamentos.

De acordo com delineamento inicialmente proposto, o experimento foi instalado com quatro tratamentos. O primeiro, consistiu apenas no solo sem tratamento (controle), apenas destorroamento e repouso por 25 dias antes do plantio das mudas (Figura 16).

Os tratamentos 2 e 3 incluíram composto de Resíduos Sólidos Urbanos (Araras) e composto Ecosolo®, respectivamente, ambos na dose de $30,0 \text{ Mg ha}^{-1}$, sendo esta dose a que proporcionou o melhor resultado em trabalhos desenvolvidos anteriormente neste grupo de pesquisa com outras espécies de plantas medicinais ^{15, 16 e 29} (Figura 16). O solo após o tratamento ficou em repouso por 25 dias.

Para o tratamento 4, de acordo com os resultados da caracterização química do solo, os resultados obtidos para a saturação por bases ($V=25,7\%$, em média) indicou a necessidade de aplicação de calcário dolomítico (PRNT 90%) na dose correspondente a $0,6 \text{ Mg ha}^{-1}$, segundo a recomendação de RAIJ *et al.*³³. Para o plantio, foi feita uma adubação química de plantio constituída por $20,0 \text{ kg de N ha}^{-1}$ na forma de sulfato de amônio, $80,0 \text{ kg de P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ (35 kg P ha^{-1}), na forma de fosfato dissódico e $90,0 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$ ($64,0 \text{ kg K ha}^{-1}$) na forma de cloreto de potássio, de acordo com a análise do solo. O solo após este tratamento ficou em repouso por 25 dias.

Todos os tratamentos durante a incubação de 25 dias, foram irrigados por micro aspersão para manutenção da umidade (Figura 17) e assim garantir o equilíbrio microbiológico e químico do solo.



Figura 16: Distribuição dos tratamentos para posterior incubação. A= solo, B= Boletim 100, C= composto de lixo de Araras-SP (30 Mg ha⁻¹), e D= Composto Ecosolo (30 Mg ha⁻¹).

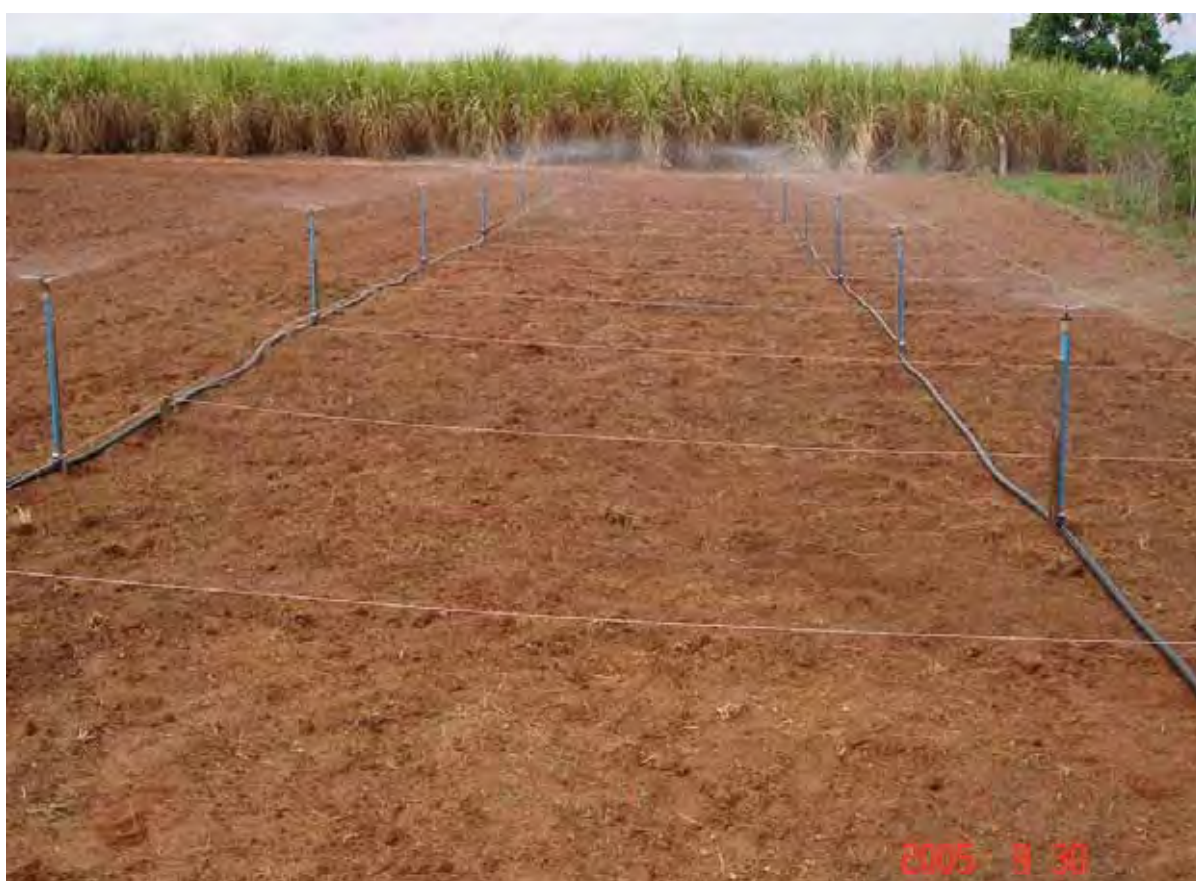


Figura 17: Irrigação por micro aspersão.

As mudas de *Cymbopogon citratus* foram coletadas no Horto de Plantas Medicinais e Tóxicas da FCF/UNESP (localização, latitude: 21°48'51,5" sul e longitude: 48°12'06,8" oeste) e na Fazenda Ipacará/MG (localização, latitude: 20°07'51,5" sul e longitude: 49°07'12,1" oeste) (Figura 18). As mudas foram obtidas utilizando-se as brotações das touceiras coletadas em ambos os locais. Após a coleta, as brotações foram separadas, retiraram-se as folhas (cortadas a 15 cm da inserção da 1ª folha no caule) (Figura 19) e foram em seguida plantadas (Figura 20). Em cada parcela foram plantadas 52 mudas de *Cymbopogon citratus* no desenho experimental de 0,5 m x 0,6 m, totalizando 11 plantas úteis para cada coleta (22 no total) e 30 plantas na área de bordadura (área de isolamento entre os tratamentos).

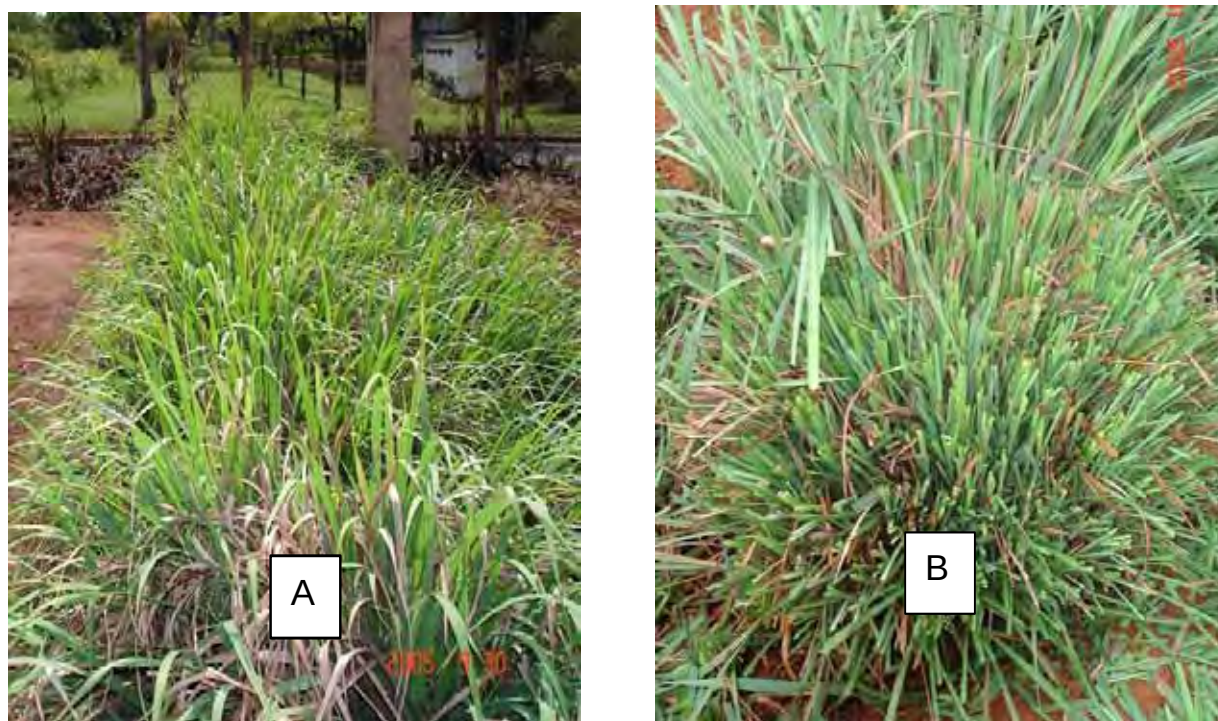


Figura 18: Canteiros de mudas de *Cymbopogon citratus*, A: Horto de Plantas Tóxicas e Medicinais da FCF/UNESP e B: Fazenda Ipacará/MG.



Figura 19: Mudras de *Cymbopogon citratus* preparadas para o plantio.



Figura 20: Mudras de *Cymbopogon citratus* após o plantio.

Durante a condução do experimento foram realizadas capinas regulares (intervalos de 20-30 dias) para eliminação de outras plantas que cresceram nas parcelas. Pode-se observar o desenvolvimento normal das plantas de *Cymbopogon citratus* e os tratamentos já apresentavam diferenças visuais aos 60 dias e mais acentuados aos 120 dias (Figura 21 e 22, respectivamente), sendo visualmente melhores as parcelas que tiveram o tratamento com composto de resíduos sólidos urbanos/Araras e composto Ecosolo®, incluindo-se o melhor pegamento das mudas.



Figura 21: *Cymbopogon citratus* aos 60 dias após o plantio.



Figura 22: *Cymbopogon citratus* aos 120 dias após o plantio (1ª coleta).

O experimento foi finalizado com uma última coleta (manejo de 240 dias e a rebrota de 120 dias) de plantas *Cymbopogon citratus* em 03/06/2006, (Figura 23).



Figura 23: *Cymbopogon citratus* aos 240 dias após o plantio (2ª coleta).

4. AMOSTRAGEM DE SOLO

O procedimento de amostragem consistiu em limpar a superfície do terreno, eliminando plantas e restos de vegetais. Em seguida, após 25 dias de incubação (Figura 24) com auxílio de uma pá (profundidade média de coleta de 0,20 m), amostras de aproximadamente 1 kg, foram retiradas de 4 pontos de cada bloco (distribuição sistemática)^{58 e 59} do terreno, tomando-se o cuidado de amostrar o mais uniformemente possível toda a superfície.

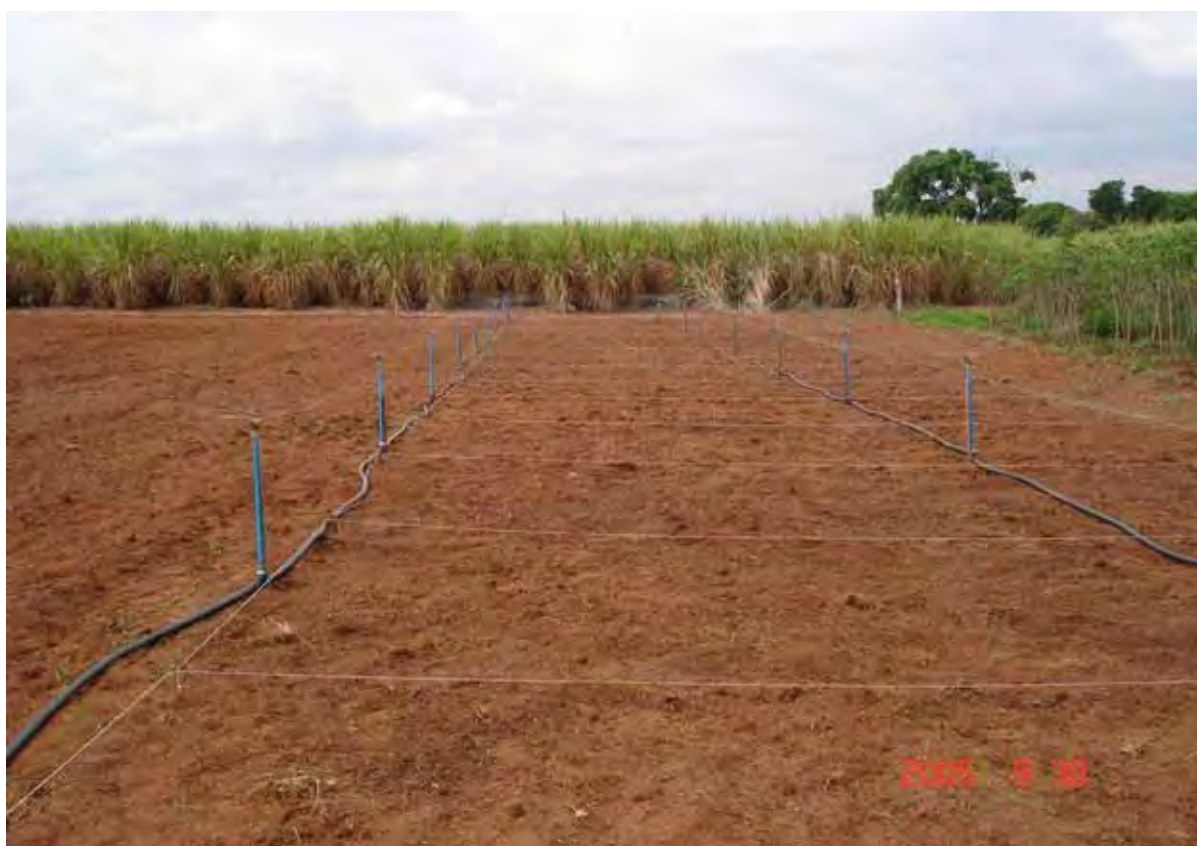


Figura 24: Tratamentos após 25 dias de incubação com manutenção de unidade por irrigação (micro-aspersão).

As amostras foram agrupadas de acordo com cada tratamento e misturadas intensamente. Desta mistura, por quarteamento sucessivo, retiraram-se aproximadamente 200 g de solo, constituindo a amostra composta, levada para a caracterização química.

Fez-se acompanhamento das análises químicas do solo e dos tratamentos com composto, no Laboratório de Análises de Solos do Instituto de Química de Araraquara, UNESP, segundo RAIJ⁵⁸, os métodos estão sumarizados no **ANEXO II**. Os resultados encontram-se na Tabela 10.

4. DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL EM LABORATÓRIO

4.1 Estudo da resposta do CG/DIC

Para o estudo da resposta cromatográfica utilizou-se o cromatógrafo com sistema gasoso e detector de ionização de chama (CG/DIC) da marca SHIMADZU, modelo 14 B.

Para estudo da resposta cromatográfica do citral utilizou-se um padrão marca FLUKA com 95% de pureza e constituído da mistura dos isômeros: geranial e neral.

O citral foi quantificado em função da soma desses dois isômeros, devido ao padrão utilizado não informar a concentração de cada um e por não estar disponível comercialmente padrão em alto grau de pureza de cada isômero em separado. Essa opção é suportada pelo fato de que o detector utilizado (DIC) tem a resposta determinada pelo número de carbonos e os tipos de ligações entre eles, como as duas substâncias são isômeros, pode-se considerar que o fator de resposta do detector para ambas seja similar.

A quantificação foi realizada somando-se as áreas obtidas desses dois isômeros em função da concentração da solução do padrão.

Realizou-se um estudo da linearidade da curva analítica obtida, para garantir uma faixa linear de trabalho com um coeficiente de variação de no máximo 5% para

o fator de resposta. Utilizou então apenas a faixa de concentração com essa variação, que foi definida entre $2,5 \text{ mg L}^{-1}$ a $40,0 \text{ mg L}^{-1}$ de citral.

Para o estudo da resposta cromatográfica do mirceno utilizou-se o padrão da marca FLUKA, com pureza de 95%. Para construção da curva analítica utilizou-se concentrações de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$ a $15,0 \text{ mg L}^{-1}$, e realizou-se da mesma forma o estudo da linearidade da resposta do detector, trabalhando apenas dentro do intervalo com no máximo 5% de variação para o fator de resposta.

As condições cromatográficas utilizadas para o estudo da resposta cromatográfica do citral e mirceno foram otimizadas anteriormente neste grupo de pesquisa²³ e incluíram:

- Coluna J&W, DB-5 (5% fenil 95% dimetilpolissiloxano, 30 m x 0,25 mm x 0,25 μm espessura do filme)
- Temperatura da coluna: inicial 80°C (5 minutos), $80\text{-}124^{\circ}\text{C}$ ($4^{\circ} \text{ min}^{-1}$), $124\text{-}140^{\circ}\text{C}$ ($8^{\circ} \text{ min}^{-1}$), 140°C por 3 minutos.
- Temperatura do injetor: 250°C
- Temperatura do detector: 300°C
- Volume injetado: $1,0 \mu\text{L}$ (injeção manual)
- Modo de injeção: split, razão de 1:10.
- Proporção dos gases da chama H_2 : $\text{Ar}_{\text{sintético}} = 25: 350 \text{ mL min}^{-1}$
- Vazão do gás de arraste (H_2): 45 mL min^{-1}

Para a quantificação do citral e do mirceno utilizou-se o método do padrão externo, por meio dos padrões cromatográficos construiu-se a curva analítica com oito pontos e isso foi feito em triplicata.

4.2 Matéria fresca e óleo essencial

A matéria fresca foi cortada com auxílio de um facão fixado em uma base (Figura 25) em pedaços de 2,0 cm em média, quantificada em balança digital com precisão de $\pm 0,01$ g e levada para estufa de secagem com aeração forçada por 96 horas a $37\pm 2^\circ\text{C}$, obtendo assim a matéria seca (massa constante). Após a secagem amostras de 100 g foram trituradas em moinho e acondicionadas em frascos plásticos hermeticamente fechados, devidamente identificados para posterior análise de macro e micronutrientes.



Figura 25: Instrumento montado (guilhotina) e utilizado para cortar as folhas de *Cymbopogon citratus*.

O óleo essencial foi obtido do material vegetal (folhas) seco, por hidrodestilação em aparelho Clevenger, Figura 26, conforme descrito por MECHKOVSKI e AKERELE⁵⁹. Cerca de 200 g do material a ser extraído foi colocado em balão de fundo redondo de 5 L, juntamente com cerca de 2,5 L de água. O

princípio do método consistiu no arraste a vapor do material vegetal. O vapor formado foi condensado, e o óleo, que é imiscível com a água, foi facilmente separado, avolumado, pesado e então armazenado em frasco de vidro devidamente identificado e acondicionado em freezer (-18°C), para posterior quantificação de citral e mirceno.

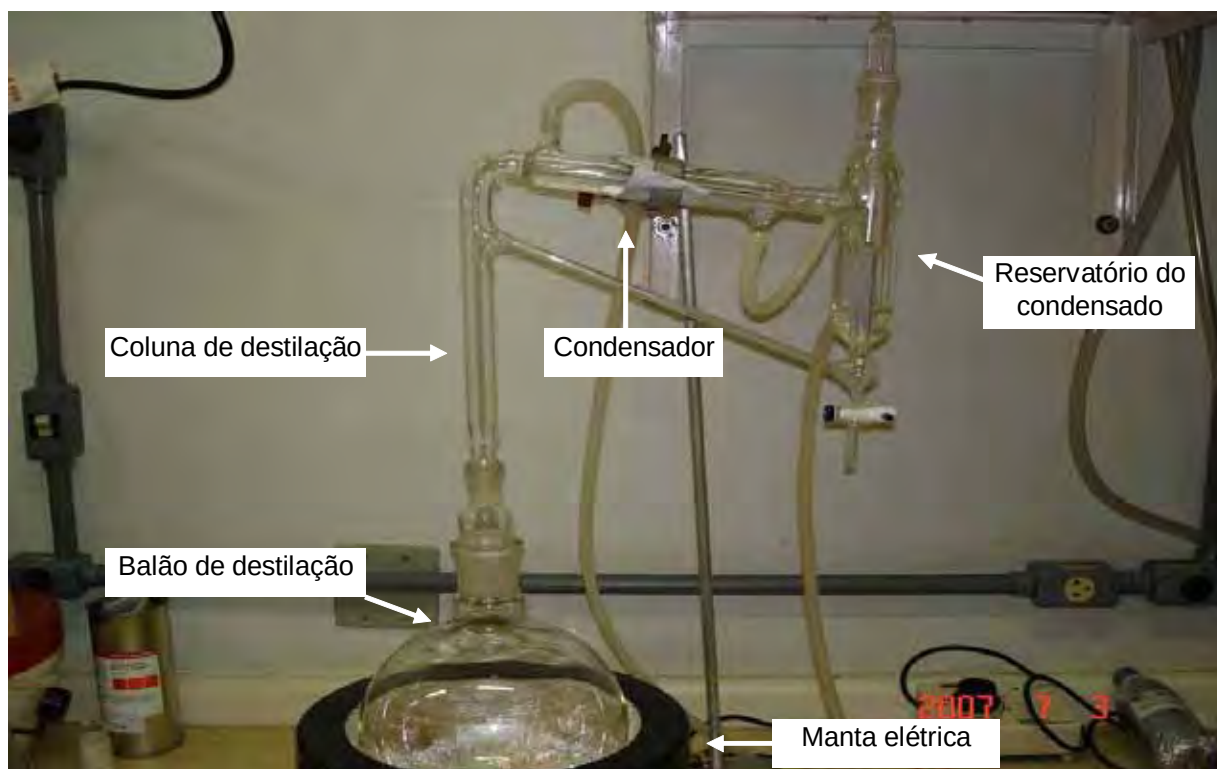


Figura 26: Aparelho Clevenger de hidrodestilação.

4.3 Estudo do perfil do óleo essencial no CG/EM

4.3.1 Análise qualitativa de citral e mirceno

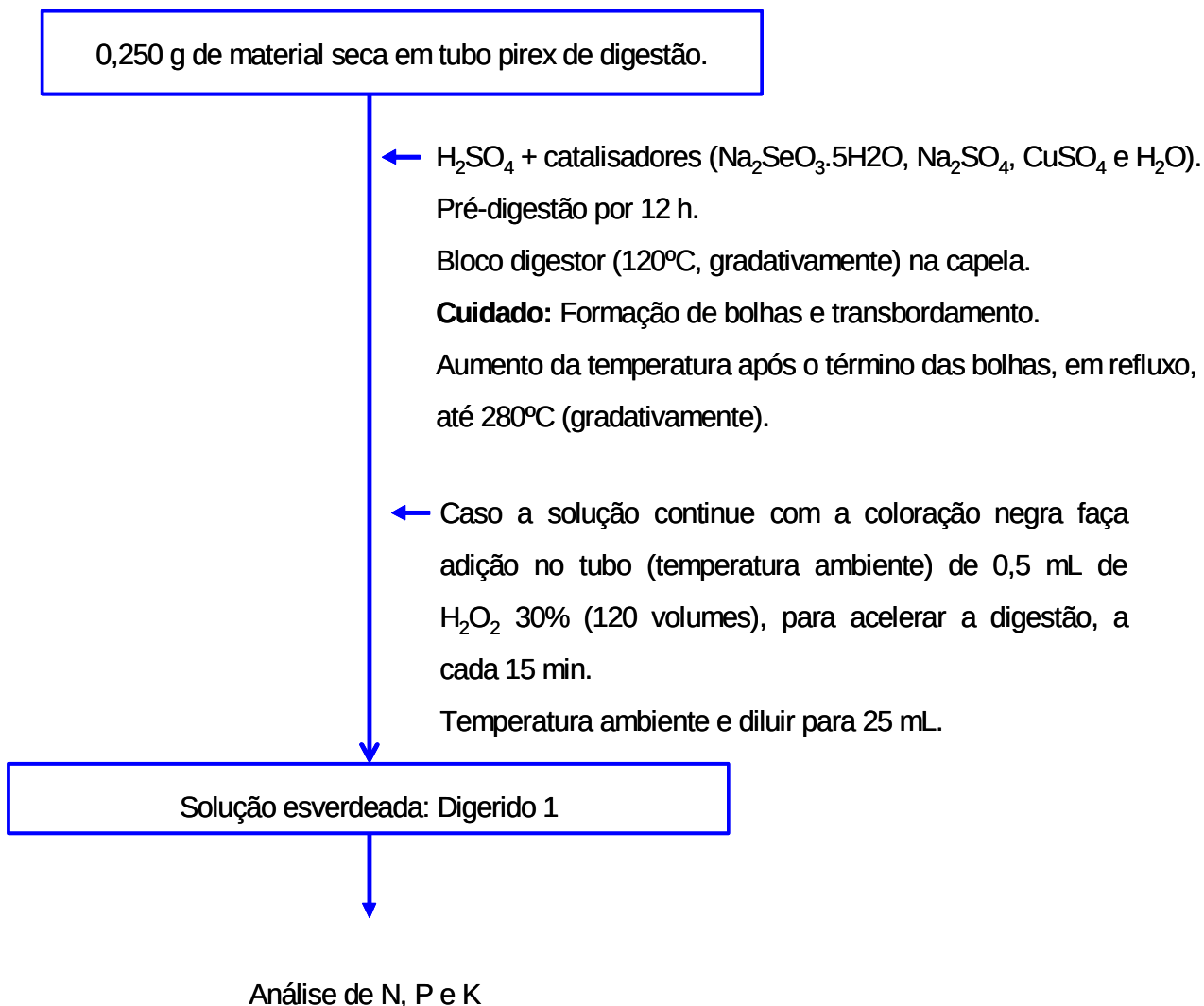
Por meio das análises feitas no CG/EM, foi possível a confirmação dos picos obtidos no CG/DIC, para essa análise utilizou-se os espectros de massas da livreria NIST do CG/EM, da marca VARIAN CG-3800 SATURN 2000.

As condições cromatográficas foram:

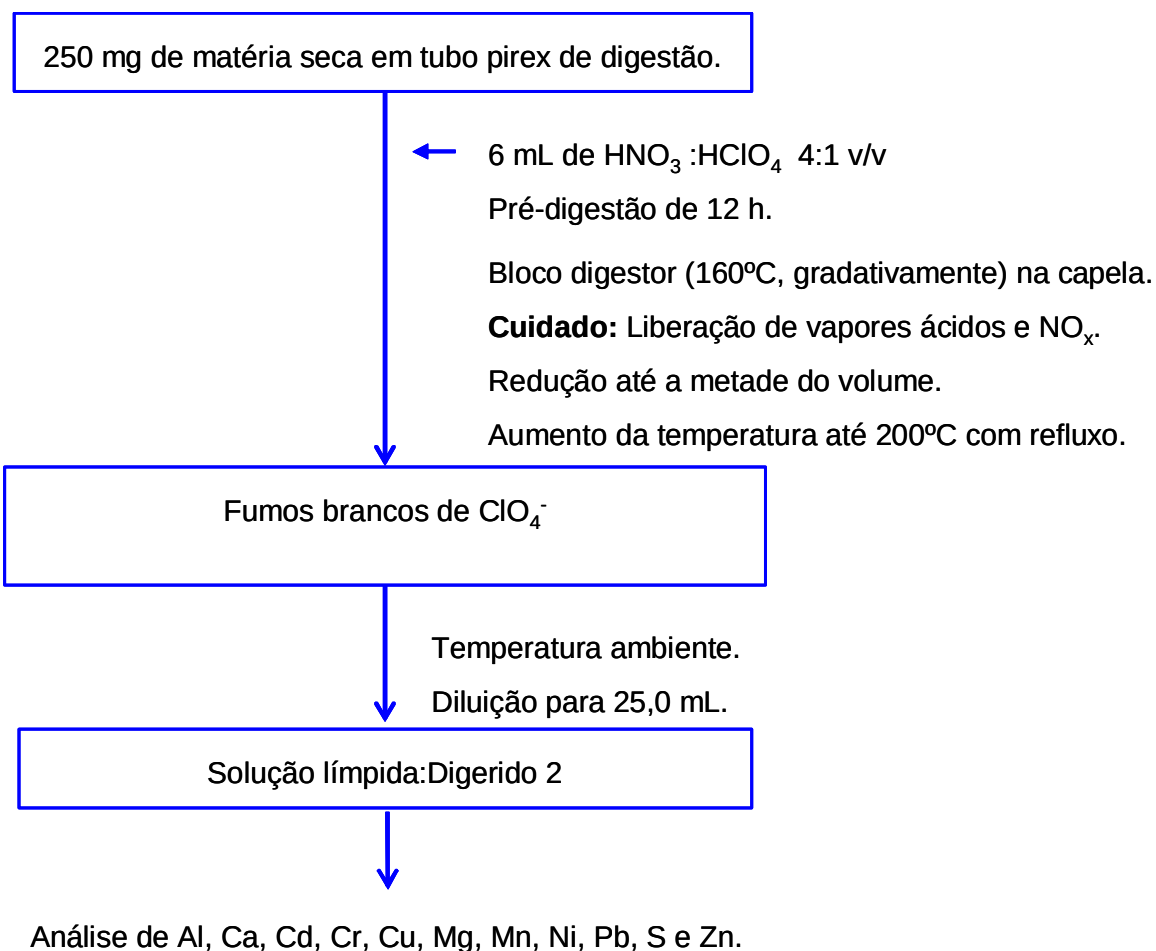
- Coluna J&W, DB-1 (100% dimetilpolissiloxano, 30 m x 0,25 mm x 0,25 μ m espessura do filme);
- Temperatura da coluna: inicial 80°C (5 minutos), 80-124°C (4°C min⁻¹), 124-140°C (8°C min⁻¹), 140°C por 3 minutos;
- Temperatura do injetor: 250°C;
- Temperatura do detector: 300°C;
- Volume injetado: 1,0 μ l (injeção manual);
- Modo de injeção: splitless.

4.4 Determinação dos nutrientes no material vegetal

4.4.1 Digerido1: Digestão Sulfúrica⁶⁰



4.4.2 Digerido 2: Digestão Nitro-Perclórica⁶⁰



4.4.3 Determinação de Nitrogênio⁶⁰

O método (Kjeldhal) baseia-se na transformação de nitrogênio amoniacal (NH_4^+) em amônia (NH_3), a qual é fixada pelo ácido bórico e posteriormente titulada com ácido sulfúrico até a neutralização.

Partindo-se do DIGERIDO 1 utilizou-se um destilador Kjeldahl marca Tecnal, modelo-TE 036/1, que permitiu a destilação de amônia em alguns minutos.

Os valores estão apresentados nas Tabelas 12e 15, **ANEXO I**.

4.4.4 Determinação de Potássio (Oliveira, 1997)¹⁰

Dilui-se uma alíquota de 1,00 mL do DIGERIDO 2 de cada amostra, em um balão volumétrico de 50,00 mL (esta diluição foi a mais adequada, entre os teste feitos com a relação 1/25 e 1/50), completou-se o volume com ácido sulfúrico 0,025 mol L⁻¹. A solução obtida foi transferida para copinhos plásticos, para análise por fotometria de chama. O equipamento utilizado foi um fotômetro de chama, modelo B 262, marca Micronal, $\lambda = 768$ nm. A curva padrão foi obtida a partir de uma solução 126 $\mu\text{g mL}^{-1}$ de KH_2PO_4 , seco em estufa por 2 horas a 120 °C e a concentração variando (10 concentrações) de 0,00 a 25,2 $\mu\text{g mL}^{-1}$.

Determinou-se as emissões correspondentes, ajustando o ponto máximo da escala com o padrão 25,2 $\mu\text{g mL}^{-1}$ em potássio, em seguida o ajuste do ponto 0,0 com água deionizada. Quando ajustado, iniciou-se a leitura das amostras.

Através da regressão linear da curva de calibração (Figura 27) obteve-se a equação da reta, possibilitando o cálculo das concentrações das amostras (Tabela 12 e 15, no **ANEXO I**) por meio do valor de emissão das mesmas.

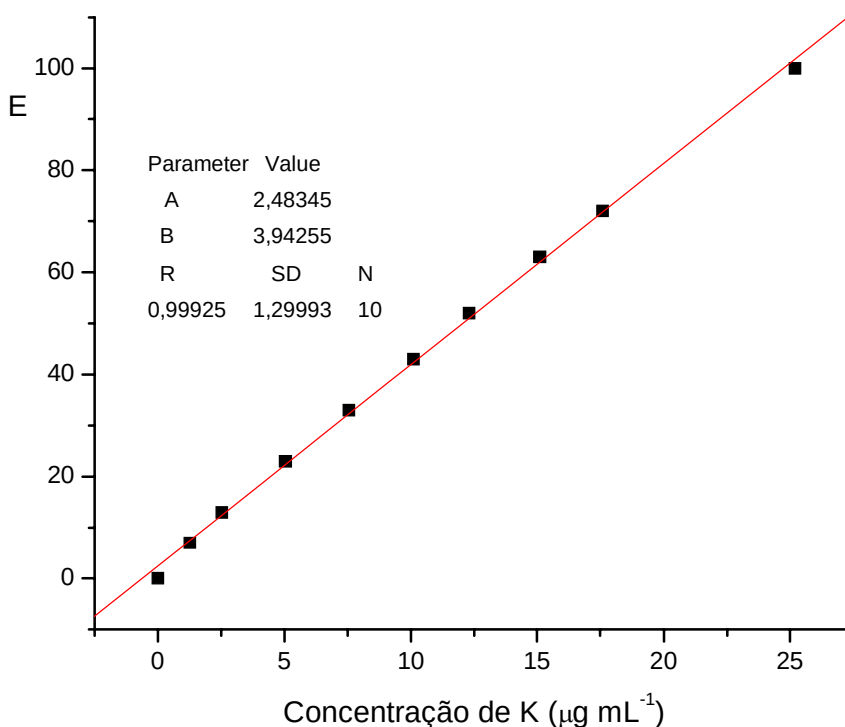


Figura 27: Curva de calibração para o potássio utilizando fotometria de chama. Equação $Y = 2,48 + 3,94 \cdot X$. Cada ponto em triplicata, com coeficientes de variação menores que 3%.

4.4.5 Determinação de fósforo

Retirou-se uma alíquota de 5,00 mL, do DIGERIDO 2, transferindo-a para um balão volumétrico de 10,00 mL, completando-o com solução de ácido sulfúrico 0,025 mol L⁻¹. Posteriormente transferiu-se 5,00 mL desta solução para copinhos de poliestireno (50 mL) e acrescentou-se 10,00 mL de molibdato de amônio (20,00 g de molibdato de amônio tetraidratado em 200 mL de água destilada quente) 3 gotas de ácido ascórbico (4,40 g do ácido em 25,00 mL de água). Agitou-se manualmente o recipiente contendo a solução, após 20 minutos determinou-se a absorbância da solução a 660 nm, em cubetas de quartzo, no espectrofotômetro digital, modelo B342II, marca Micronal. A curva padrão foi obtida a partir de uma solução 80 µg mL⁻¹

de KH_2PO_4 , seco em estufa por 2 horas a 120°C e a concentração variando (7 concentrações) de 0,00 a $24,0 \mu\text{g mL}^{-1}$.

Após o preparo dos padrões da curva de calibração, transferiram-se as soluções para os frascos de polietileno, onde foram retiradas alíquotas de 5,00 mL, transferido-as para copos descartáveis, com 10,00 mL de solução de molibdato de amônio e 3 gotas de ácido ascórbico (17,6%). Agitou-se manualmente, aguardando 20 minutos para posteriormente fazer as leituras de absorbância em espectrofotômetro a 660 nm.

Através da regressão linear da curva de calibração (Figura 28), obteve-se a equação da reta e calculou-se a partir desta as concentrações das amostras por meio do valor da absorbância das mesmas.

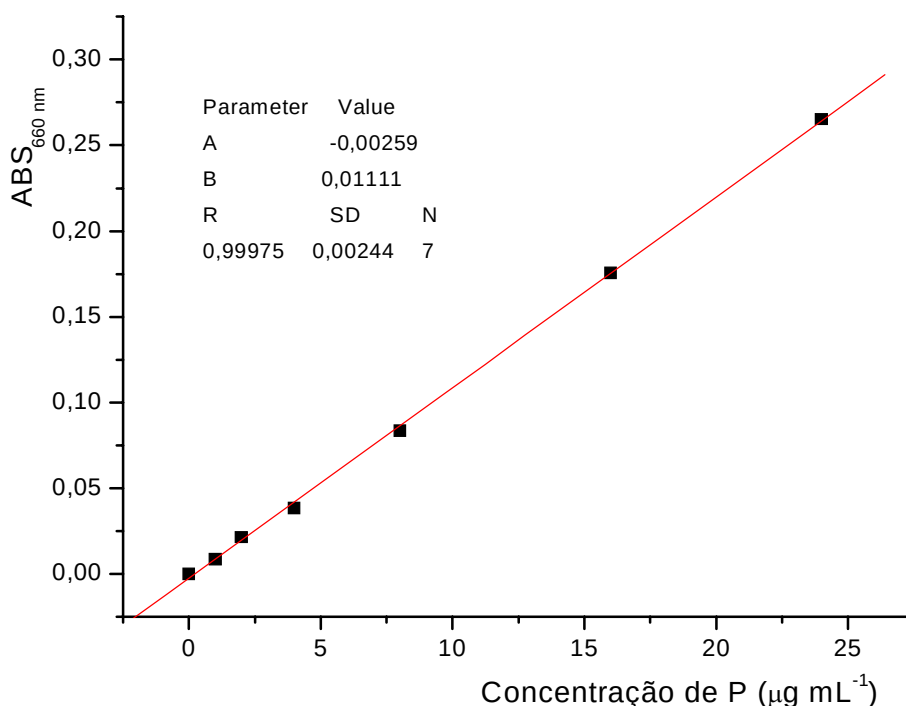


Figura 28: Curva de calibração para o fósforo, utilizando a espectrofotometria.

Equação: $Y = -2,59 \cdot 10^{-3} + 0,011 \cdot X$. Cada ponto em triplicata, com coeficientes de variação menores que 3%.

Posteriormente foram feitos os cálculos da concentração de fósforo contida nas amostras (Tabela 12 e 15, no **ANEXO I**)

4.4.6 Determinação de enxofre (SILVA, 1999)⁶¹

Preparou-se uma solução de HCl $6,0 \text{ mol L}^{-1}$, contendo $20,0 \text{ } \mu\text{g mL}^{-1}$ de enxofre. Acrescentou-se em 200,0 mL de água deionizada, 500,00 mL de HCl concentrado e 0,1087 g de K_2SO_4 p.a., seco previamente em estufa por 2 horas à 120°C . Agitou-se até dissolver o sal completando o volume a 1,00 L, com água deionizada.

Transferiu-se uma alíquota de 10,00 mL do DIGERIDO 2 de cada uma das amostras, para copos de poliestireno (50 mL), com 1,00 mL da solução preparada como descrito no parágrafo anterior. Aguardou-se um minuto sem agitar, após esse período agitou-se manualmente durante 30 segundos dissolvendo os cristais de BaCl_2 e realizando a leitura em seguida num prazo máximo de 5 minutos após a adição do sal. A curva padrão foi obtida a partir de uma solução $80 \text{ } \mu\text{g mL}^{-1}$ de K_2SO_4 , seco em estufa por 2 horas a 120°C e a concentração variando (8 concentrações) de 0,00 a $50,0 \text{ } \mu\text{g mL}^{-1}$.

Após o preparo dos padrões da curva de calibração (Figura 29), transferiram-se as soluções para os frascos de polietileno, onde foram retiradas alíquotas de 10,00 mL, transferindo-as para copos de poliestireno (50 mL), com 1,00 mL da solução de HCl $6,0 \text{ mol L}^{-1}$ contendo $20,0 \text{ } \mu\text{g mL}^{-1}$ de S e 0,50 g de $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Aguardou-se um minuto sem agitar, após esse período agitou-se manualmente durante 30 segundos dissolvendo os cristais de BaCl_2 e realizando a leitura em seguida num prazo máximo de 5 minutos após a adição do sal. As leituras foram feitas utilizando espectrofotômetro digital, modelo B342II, marca Micronal à 420 nm.

Através da regressão linear da curva de calibração (Figura 29), obteve-se a equação da reta e calculou-se a partir desta as concentrações das amostras por meio do valor da absorbância das mesmas.

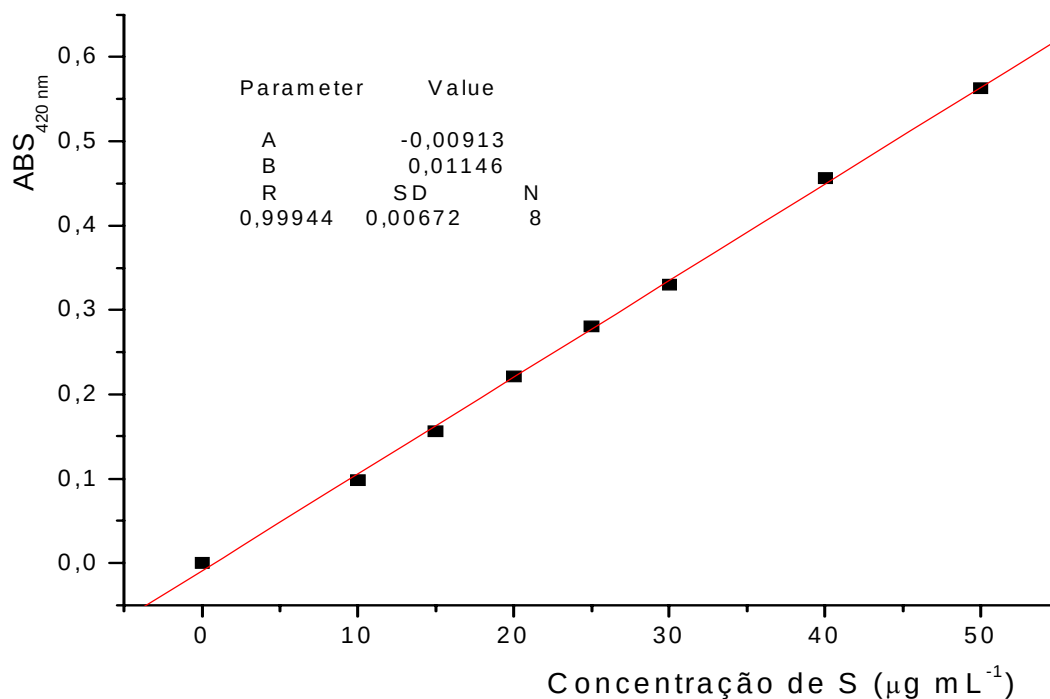


Figura 29: Curva de calibração para o enxofre, utilizando a espectrofotometria. Equação: $Y = -9,13 \cdot 10^{-3} + 0,011 \cdot X$. Cada ponto em triplicata, com coeficientes de variação menores que 3%.

Posteriormente foram feitos os cálculos da concentração de enxofre nas amostras (Tabelas 12 e 15, **ANEXO I**).

4.4.7 Determinação de boro (SILVA, 1999)⁶¹

Filtrou-se o extrato obtido a partir da dissolução das cinzas brancas resultantes da incineração em mufla a 550°C, durante 3-4 horas, de aproximadamente 0,200 g da matéria seca, em 10,00 mL de HCl 0,1 mol L⁻¹. Após a filtração o extrato foi armazenado em recipientes de plástico, evitando a contaminação de boro na composição dos frascos de vidro.

Transferiu-se 2,00 mL do extrato filtrado, para copos de polietileno, com 2,00 mL de uma solução tampão (500,00 g de NH_4OAc , 30,00 g de EDTA-2Na em 800,0 mL de água deionizada e 250,0 mL de ácido acético glacial) e com 2,00 mL da solução de azometina-H 0,45% (0,45 g de azometina-H em 100,00 mL de uma solução de ácido ascórbico 1%). Após 30 minutos mediu-se a absorbância no espectrofotômetro digital, modelo B342II, marca Micronal à 420 nm. A curva padrão foi obtida a partir de uma solução $80 \mu\text{g mL}^{-1}$ de H_3BO_3 , seco em estufa por 2 horas a 120°C e a concentração variando (6 concentrações) de 0,00 a $2,50 \mu\text{g mL}^{-1}$.

Após o preparo dos padrões da curva de calibração, transferiu-se a solução para frascos de polietileno, onde foram retiradas alíquotas de 2,00 mL e transferidas para copos de poliestireno (50 mL), com 2,00 mL da solução tampão e 2,00 mL da solução de azometina-H 0,45%. Após 30 minutos mediu-se a absorbância no espectrofotômetro a 420 nm.

Através da regressão linear da curva de calibração (Figura 30), obteve-se a equação da reta e calculou-se a partir desta as concentrações das amostras por meio do valor da absorbância das mesmas.

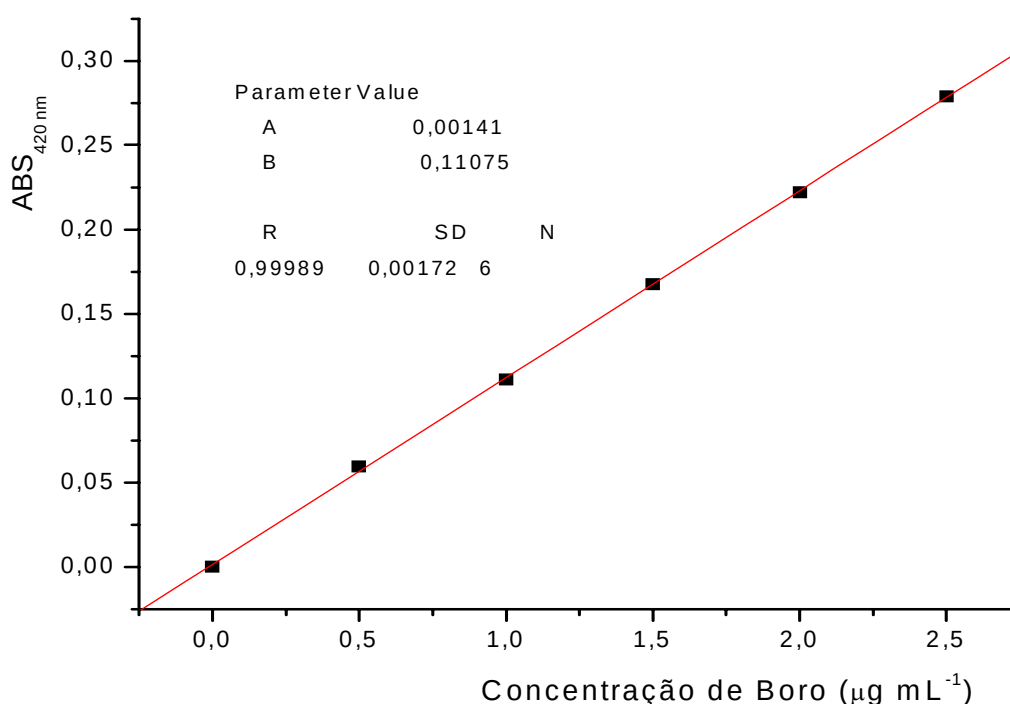


Figura 30: Curva de calibração para o Boro, utilizando a espectrofotometria.

Equação: $Y = 1,41 \cdot 10^{-3} + 0,110 \cdot X$. Cada ponto em triplicata, com coeficientes de variação entre 3 e 5%.

Posteriormente foram feitos os cálculos da concentração de boro contida nas amostras (Tabelas 12 e 15, **no ANEXO I**).

Obs: As curvas padrões apresentadas neste trabalho ilustram apenas um período do trabalho, sendo repetidas todas as vezes que eram feitas as análises.

4.4.8 Determinação de alumínio, cálcio, cádmio, chumbo, cobre, crômio, ferro, magnésio, manganês e zinco.

Esses cátions foram determinados, no espectrofotômetro de emissão atômica, marca ICP-OES Varian, modelo Vista RL, CCD Simultaneous, no Laboratório da Dra. Ana Rita Nogueira, Embrapa Sudeste (São Carlos-SP) a partir do DIGERIDO 2.

As soluções padrão utilizadas continham todos os metais de interesse, ou seja, são multielementares. A partir de uma solução estoque $1000 \mu\text{g mL}^{-1}$ de cada

elemento, fez-se uma solução multielementar $40 \mu\text{g mL}^{-1}$ e diluiu-se para as seguintes concentrações: $0,4 \mu\text{g mL}^{-1}$; $1,6 \mu\text{g mL}^{-1}$; $3,2 \mu\text{g mL}^{-1}$; $8,0 \mu\text{g mL}^{-1}$; $16,0 \mu\text{g mL}^{-1}$; $32,0 \mu\text{g mL}^{-1}$, as quais foram utilizadas no preparo da curva analítica. Os metais analisados foram: Al, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, e Zn.

As condições de operação do equipamento ICP-OES estão apresentadas na Tabela 08.

Tabela 08: Parâmetros de operação do ICP-OES:

Parâmetros	Descrição	Linhas de Emissões (nm)	
Gerador de frequência	40 MHz	Al	396,152
Modo de observação	Radial	Ca	422,673
Sistema de difração	Grade Echelle	Cd	226,502
Detector	Dispositivo de carga acoplada (CCD)	Cr	267,716
Potência de rádio frequência	$1,4 \text{ (rf) kW}^{-1}$	Cu	324,754
Nebulizador	Concêntrico	Fe	259,940
Câmara de nebulização	Ciclone	Mg	285,213
Fluxo de gás de geração do plasma	15 L min^{-1}	Mn	260,568
Fluxo de gás auxiliar	$1,5 \text{ L min}^{-1}$	Ni	231,618
Fluxo de gás de nebulização	$0,6 \text{ L min}^{-1}$	Pb	220,353
Replicatas	3	Zn	213,857
Tempo de integração/s	10		

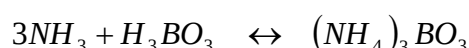
Os resultados da análise por ICP-OES representam à média de três repetições de cada medida no ICP-OES, as concentrações estão apresentadas em mg de metal por kg de matéria vegetal, Tabela 13 e 16, **no ANEXO I**. Os Limites de Quantificação (LQ) (em mg kg^{-1}) para os analitos analisados no equipamento ICP OES são: Al=0,35; Ca = 0,20; Cd = 0,10; Cr = 0,25; Cu= 0,35; Fe= 0,20; Mg= 0,20; Mn = 0,18; Ni = 0,60; Pb = 1,90 e Zn = 0,30.

4.5 Determinação de nitrato em solo

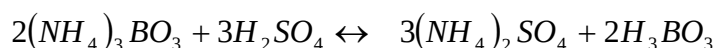
O método de Devarda baseia-se na redução de nitratos/nitritos a amônio, em solução fortemente alcalina, utilizando-se uma liga constituída por 45% de Al, 5% de Zn e 50% de Cu (liga de Devarda). O cátion amônio é liberado como amônia pelo uso de excesso de MgO. A amônia é recolhida em uma solução de ácido sulfúrico e o excesso de ácido é titulado com NaOH padronizada. Este método é também recomendado pela EMBRAPA para análise de nitrato em solo.⁶¹

Colocou-se 10 g de solo, em um erlenmeyer de 250 mL, juntamente com 100,00 mL de KCl 1,00 mol L⁻¹ em mesa agitadora (marca: Superohn, modelo G 25) por 60 min a 1300 rpm, em seguida fez-se uma filtração simples.

Foram transferidos 30,00 mL do filtrado para o tubo digestor juntamente com 0,20 g de MgO e duas gotas de fenolftaleína. Empregando o equipamento para destilação de nitrogênio tipo Kjeldahl (marca: Tecnal T-036/1), a amônia foi recolhida em ácido bórico + indicadores (Verde de bromocresol e Vermelho de metila).



A solução de borato de amônio foi então titulada com ácido sulfúrico.



Para a determinação da concentração de nitrato presente no solo em análise, acrescentou-se 0,2 g de liga de Devarda no mesmo tubo digestor para enfim realizar-se a destilação através do equipamento para destilação de nitrogênio. A amônia obtida pela redução de nitrato foi recolhida em ácido bórico + indicadores (Verde de bromocresol e Vermelho de metila).

4.6 Determinação de fósforo em solo

4.6.1 - Extração seqüencial de fósforo (HEDLEY et al., 1994)⁶²

O método que foi utilizado e que será descrito a seguir foi proposto por Hedley et al. (1994)⁶⁴. As modificações utilizadas foram introduzidas em estudo anterior neste grupo de pesquisa, por SILVA, 2003.²³

O método proposto inclui 5 sistemas extratores, para obtenção das frações de: P disponível, P ligado a Fe e Al, P orgânico, P ligado à apatita e P residual. Neste trabalho foi efetuada apenas a extração das 3 primeiras frações, descritas a seguir no fluxograma (Figura 31), visto que são as mais disponíveis para as plantas.

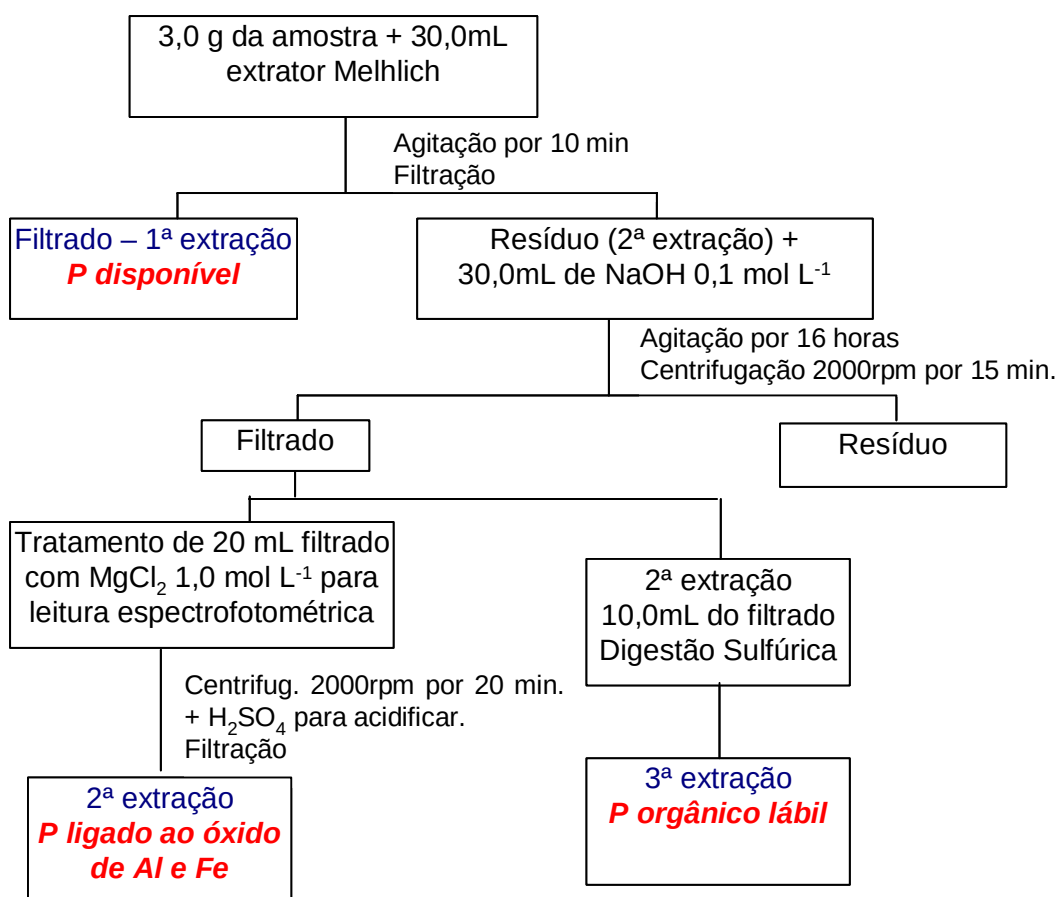


Figura 31: Fluxograma das frações de fósforo (P) obtidas na seqüência de extração

Todas as leituras espectrofotométricas, tanto das curvas analíticas como dos extratos, seguiram a metodologia proposta por BRAGA e DEFELIPO.⁶³

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Condicionadores orgânicos e dos solos com os respectivos tratamentos

Na Tabela 09, estão os resultados das análises químicas no composto de resíduos sólidos de Araras-SP e composto Ecosolo® e na Tabela 10 estão apresentados os resultados das análises químicas do solo efetuadas em cada tratamento de solo realizado. Os procedimentos das análises estão descritas no **ANEXO II**.

Tabela 09: Análise química do composto de resíduos sólidos Araras-SP e Ecosolo®.

Parâmetros	Compostos			
	CRSU	CV (%)	C.ECO.	CV (%)
P (g kg ⁻¹)	21,8 ± 0,7	3	16,5 ± 0,7	4
M. O.(%)	65,1 ± 0,4	<1	52,5 ± 0,4	<1
pH (CaCl ₂)	6,82 ± 0,06	<1	6,40 ± 0,02	<1
K (g kg ⁻¹)	10,4 ± 0,7	7	3,2 ± 0,2	7
Ca (g kg ⁻¹)	4,29 ± 0,06	1	2,24 ± 0,03	1
Mg (g kg ⁻¹)	0,35 ± 2,0.10 ⁻³	<1	0,61 ± 0,02	4
Umidade (%)	14,1 ± 0,2	2	37,3 ± 0,4	1
C/N	8,7/1	<1	8,1/1	<1

P = fósforo, M.O.= Matéria Orgânica, K= Potássio, CRSU.= Composto de Resíduos Sólidos Urbanos/Araras-SP, C.ECO.= Composto Ecosolo®, CV= coeficiente de variação. Resultados obtidos a partir de três replicatas.

De acordo com Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, do Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento – MAPA, os valores apresentados pelo fabricante estão de acordo com as especificações editadas para o condicionador de

solo, Ecosolo®. Em relação à análise química do CRSU e do composto ECOSOLO®, o CRSU apresenta maior concentração de fósforo total, 65% de matéria orgânica, contra 52,5 % do Ecosolo®, pH mais próximo da neutralidade e maior concentração de cálcio. O Ecosolo® apresenta maior índice de umidade, 37,2%, porém dentro dos parâmetros indicados pelo fabricante (umidade máxima de 40%) e pela legislação (até 10% a mais do especificado). O composto Ecosolo® apresenta maior concentração de íons potássio e magnésio. Ambos apresentam a relação C/N de matéria orgânica humificada (10/1).

Tabela 10: Análises químicas do solo em relação a cada tratamento, após 25 dias de incubação.

Parâmetros	Tratamentos							
	Solo	CV (%)	CRSU (30Mg ha ⁻¹)	CV (%)	C.ECO. (30Mg ha ⁻¹)	CV (%)	B.100	CV (%)
P (mg dm ⁻³)	6 ± 1	20	50 ± 14	27	28 ± 13	46	15 ± 1	8
M. O.(%)	21 ± 2	6	24 ± 1	4	27 ± 2	8	23,3 ± 0,6	3
pH (CaCl ₂)	4,23 ± 0,06	1	5,43 ± 0,06	1	5,03 ± 0,06	1	4,57 ± 0,06	1
K (mmol dm ⁻³)	2,6 ± 0,2	9	3,63 ± 0,06	2	7,5 ± 0,3	4	3,2 ± 0,1	4
Ca (mmol dm ⁻³)	6,7 ± 0,6	9	33 ± 5	15	21 ± 2	11	11 ± 1	11
Mg (mmol dm ⁻³)	3,7 ± 0,6	2	7,0 ± 0,0	<1	8,7 ± 0,6	7	6,00 ± 0,00	<1
H+Al (mmol dm ⁻³)	38,3 ± 0,6	2	21 ± 1	5	27,3 ± 0,6	2	33 ± 1	3
S.B (mmol dm ⁻³)	13 ± 1	9	44 ± 5	11	37 ± 3	9	20 ± 1	6
CTC (mmol dm ⁻³)	52 ± 2	3	65 ± 4	7	64 ± 4	5	53 ± 2	4
V (%)	26 ± 2	6	68 ± 3	4	57 ± 2	4	37,3 ± 0,6	2

P = fósforo, M.O.= Matéria Orgânica, K= Potássio, Ca= cálcio, Mg= Magnésio, H+Al= Acidez Potencial, S.B= Soma Bases, CTC= Capacidade de Troca Catiônica e V= Saturação de Bases, CV= coeficiente de variação, CRSU = Composto de Resíduos Sólidos Urbanos/Araras-SP, C.ECO.= Composto Ecosolo, B.100= Boletim 100. Resultados obtidos a partir de três replicatas.

Na análise química dos solos tratados, o solo (controle) apresenta pH de 4,23, típico de solos ácidos, baixa concentração de nutrientes, matéria orgânica e elevada

acidez potencial, com aplicação de cada tratamento, observa-se que no tratamento com composto de lixo (CRSU) a análise é típica de solos ideais para a maioria das cultura plantadas em solos brasileiros, com a saturação de base próximo de 70%, pH próximo de 5,8, baixa acidez potencial e alta concentração de nutrientes em relação ao controle. No tratamento com o composto Ecosolo® observa-se o melhor desempenho para matéria orgânica, potássio e magnésio, em relação ao tratamento com CRSU. No tratamento seguindo as recomendações técnica do Boletim 100, observa-se que mesmo com a aplicação de calcário dolomítico (PRNT 90%), o pH não se alterou significativamente em relação ao controle e com adição de sais houve uma melhora na saturação de bases próxima a 40%.

A matéria orgânica tem um papel importante na fertilidade do solo. Este papel é complexo e exercido por diversos mecanismos que atuam nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e na fisiologia vegetal. A matéria orgânica é a base da sustentação de uma intensa atividade biológica que envolve muitas espécies de microorganismos, tais como: fungos, bactérias, algas e protozoários, além de pequenos animais como anelídeos, insetos, aracnídeos.⁶

A adição de composto melhora a estrutura e aumenta a porosidade do solo. Isso ocorre devido à liberação de compostos orgânicos que agregam partículas de minerais. Esse aumento na porosidade do solo beneficia o desenvolvimento das raízes, pois estas conseguem ter um livre crescimento, ao contrário se desenvolvida em um solo compactado. Também beneficia as bactérias fixadoras de nitrogênio que habitam as raízes, pois há uma maior circulação de gases. É através dos poros do solo que o oxigênio chega até as raízes e o gás carbônico volta para a atmosfera.⁶³⁻⁶⁴

Essa adição contribui para o solo ácido ficar com um pH mais favorável às plantas. A acidez do solo ocorre principalmente com o excesso dos íons ferro e alumínio, que por seu alto potencial de promover a hidrólise água, tornam ácida a solução do solo. Ao complexar estes íons, a matéria orgânica presente no composto minimiza esse processo de hidrólise, elevando o pH do solo.⁶⁴

5.2 Produção de matéria vegetal

A Figura 32, representa às médias da produção de matéria fresca, seca e o rendimento do *Cymbopogon citratus*.

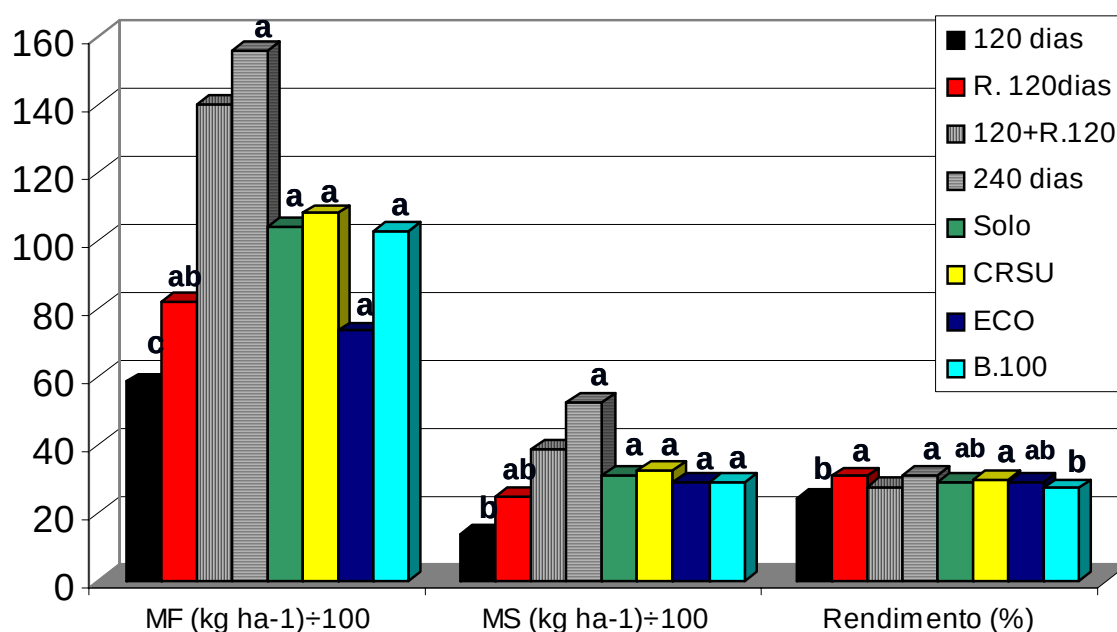


Figura 32: Gráfico da Matéria fresca (MF), matéria seca (MS) e do rendimento de matéria vegetal, em relação as coletas e ao tratamentos. As médias seguidas por letras distintas diferem entre si, no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Aos 120 dias de cultivos as plantas apresentaram as menores médias na produção de matéria vegetal (matéria fresca e seca), em consequência o menor rendimento de massa vegetal produzida. Nesse intervalo, a planta desenvolveu a parte aérea e o sistema radicular conjuntamente.

Aos 240 dias de cultivos as plantas apresentaram as maiores médias na produção de matéria fresca e seca, consequentemente o melhor rendimento em massa vegetal, mas observava-se uma grande quantidade de folhas secas em cada planta, diminuindo assim a qualidade da matéria vegetal.

Na soma das massas de matéria fresca e seca aos 120 dias e a rebrota de 120 dias, quando comparado a única coleta de 240 dias, observamos qualitativamente, maior produção vegetal com a única coleta aos 240 dias, mas as coletas de 120 dias apresentam menor quantidade de folhas seca e consequentemente uma melhor qualidade do material vegetal.

A rebrota de 120 dias de cultivo apresenta médias intermediárias entre aos 120 dias e 240 dias de cultivo, para produção de matéria fresca e seca, pois a rebrota apresenta o sistema radicular formado e o corte estimula um melhor desenvolvimento da parte aérea da cultura.

Em relação aos quatros tratamentos não houve diferenças significativas na produção de matéria fresca e seca, embora no rendimento de matéria vegetal, o tratamento com CRSU obteve o melhor desempenho entre os quatro tratamentos.

5.3 Óleo essencial, citral e mirceno

O estudo de linearidade, do mirceno, realizado para os pontos obtidos da curva analítica do mirceno, mostrou-se satisfatório com um fator de resposta médio (Fator de resposta= $A/[mirceno]$) de $1,68.10^2$, o coeficiente de variação (CV%) igual a 3. O limite de detecção de mirceno no sistema cromatográfico foi calculado utilizando-se as recomendações da IUPAC (CURRIE, 1999)⁶⁵, que preconiza que o limite de detecção é dado pela equação: $3 \times Sd/b$, onde Sd é o desvio padrão do Y e b é o coeficiente angular da reta, na faixa de concentração mais baixa, estes limites foram calculados em trabalho desenvolvido anteriormente neste grupo de pesquisa

por, SILVA.²³ Os valores para LD e LQ para o sistema cromatográfico utilizado sob as condições estabelecidas para o mirceno foram respectivamente $1,25 \mu\text{g mL}^{-1}$ e $3,75 \mu\text{g mL}^{-1}$.

O estudo da linearidade do citral, realizado para os pontos obtidos da curva analítica do citral, mostrou-se satisfatório com um fator de resposta médio (Fator de resposta= $A/[\text{citral}]$) de $1,15 \times 10^2$, o coeficiente de variação (CV) igual a 4%. O limite de detecção do citral e o limite de quantificação para o sistema cromatográfico utilizado foi calculado, como explicitado anteriormente, os valores para LD e LQ foram, respectivamente $0,959 \mu\text{g mL}^{-1}$ e $2,88 \mu\text{g mL}^{-1}$.

A Figura 33 ilustra o espectro referente ao pico do mirceno na solução padrão injetado e amostra, com o tempo de retenção do mirceno é 5,705 min na análise por CG/EM.

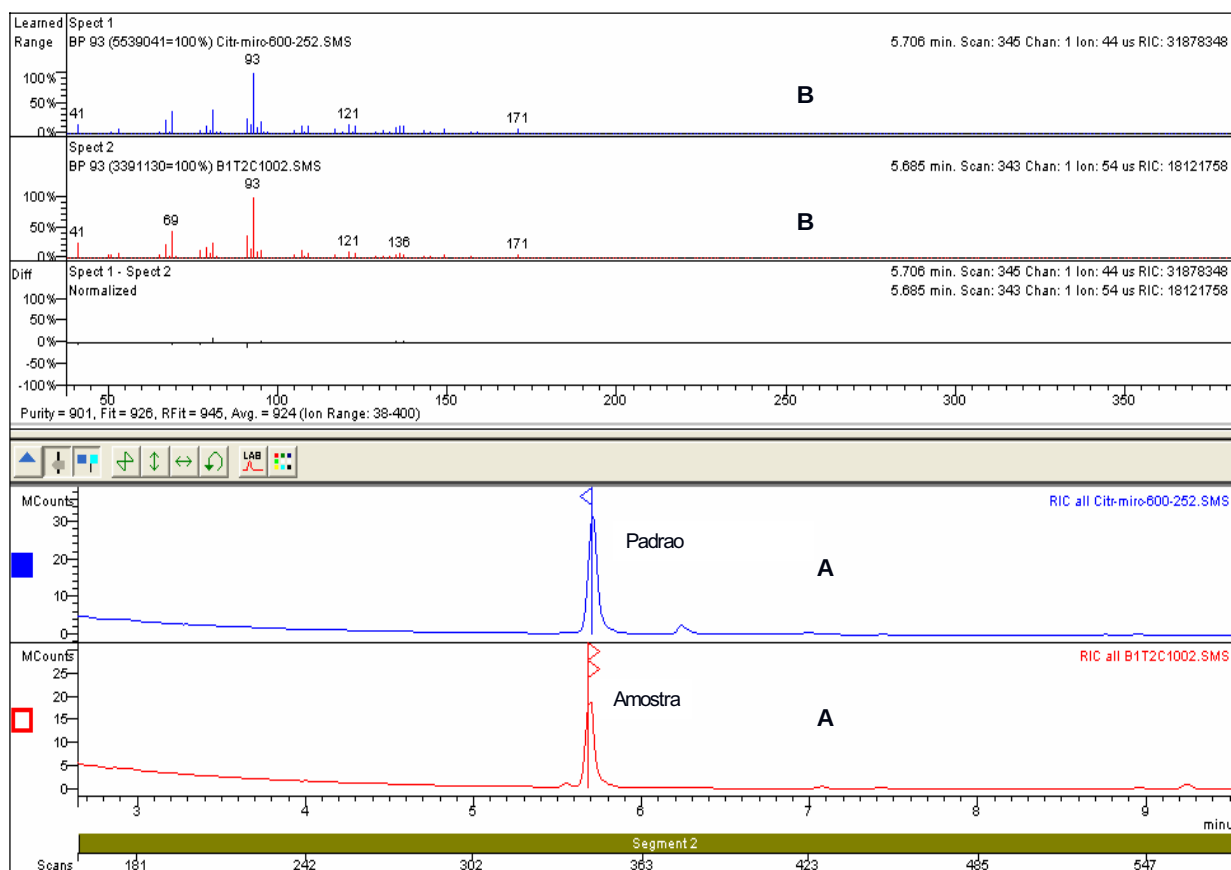


Figura 33: Cromatograma (A) e espectro de massa (B) obtido da solução padrão de 252,0 mg L⁻¹ de mirceno (tr: 5,705 min).

Nas Figuras 34 e 35 os cromatogramas e os fragmentogramas, do padrão e da amostra, apresentados correspondem aos dois picos considerados os isômeros do citral, para o qual não foi possível identificar quais isômeros correspondem a cada pico. Porém confirmou-se que os dois picos correspondem aos isômeros do citral.

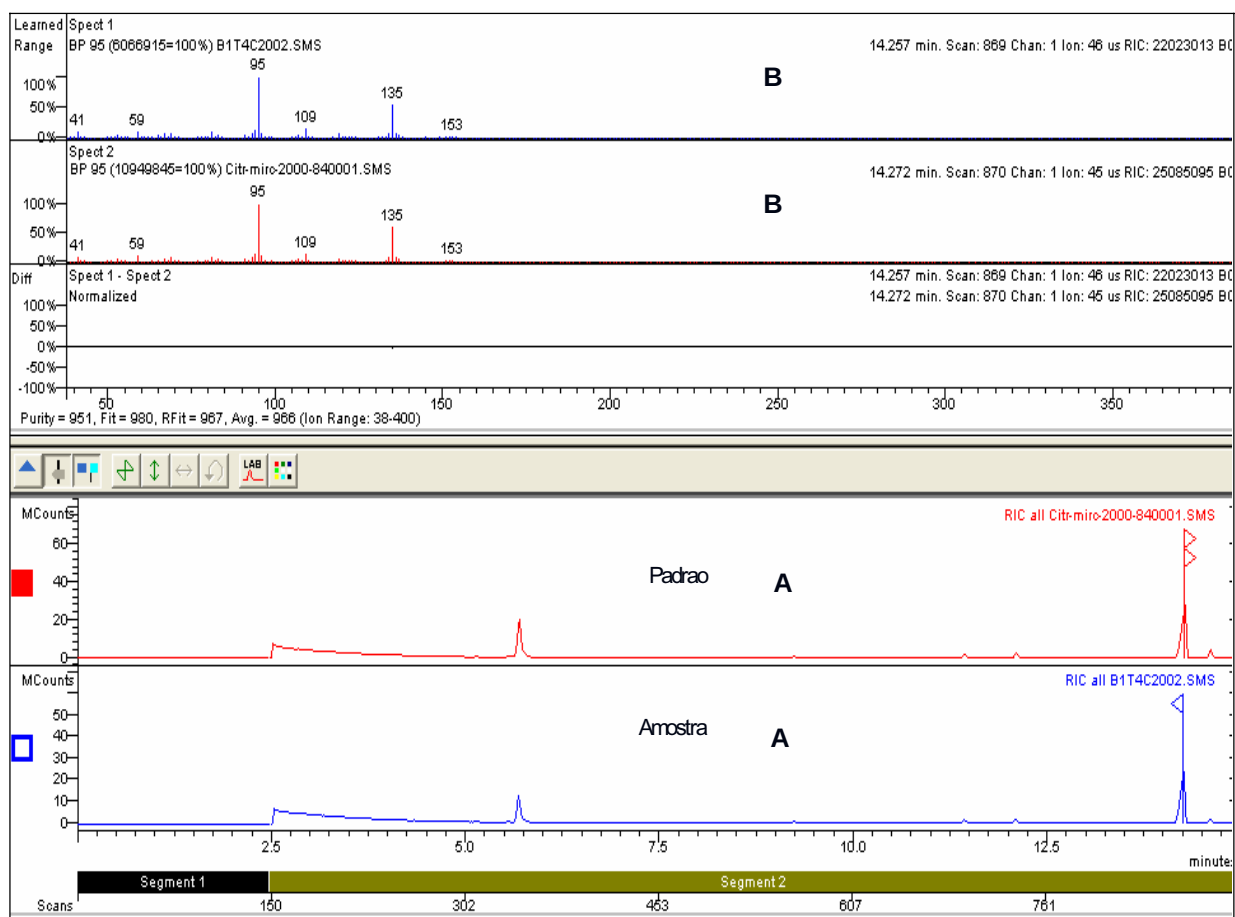


Figura 34: Cromatograma (A) e espectro de massa (B) obtido da solução padrão de $200,0 \text{ mg L}^{-1}$ de citral (tr: 14,257 min).

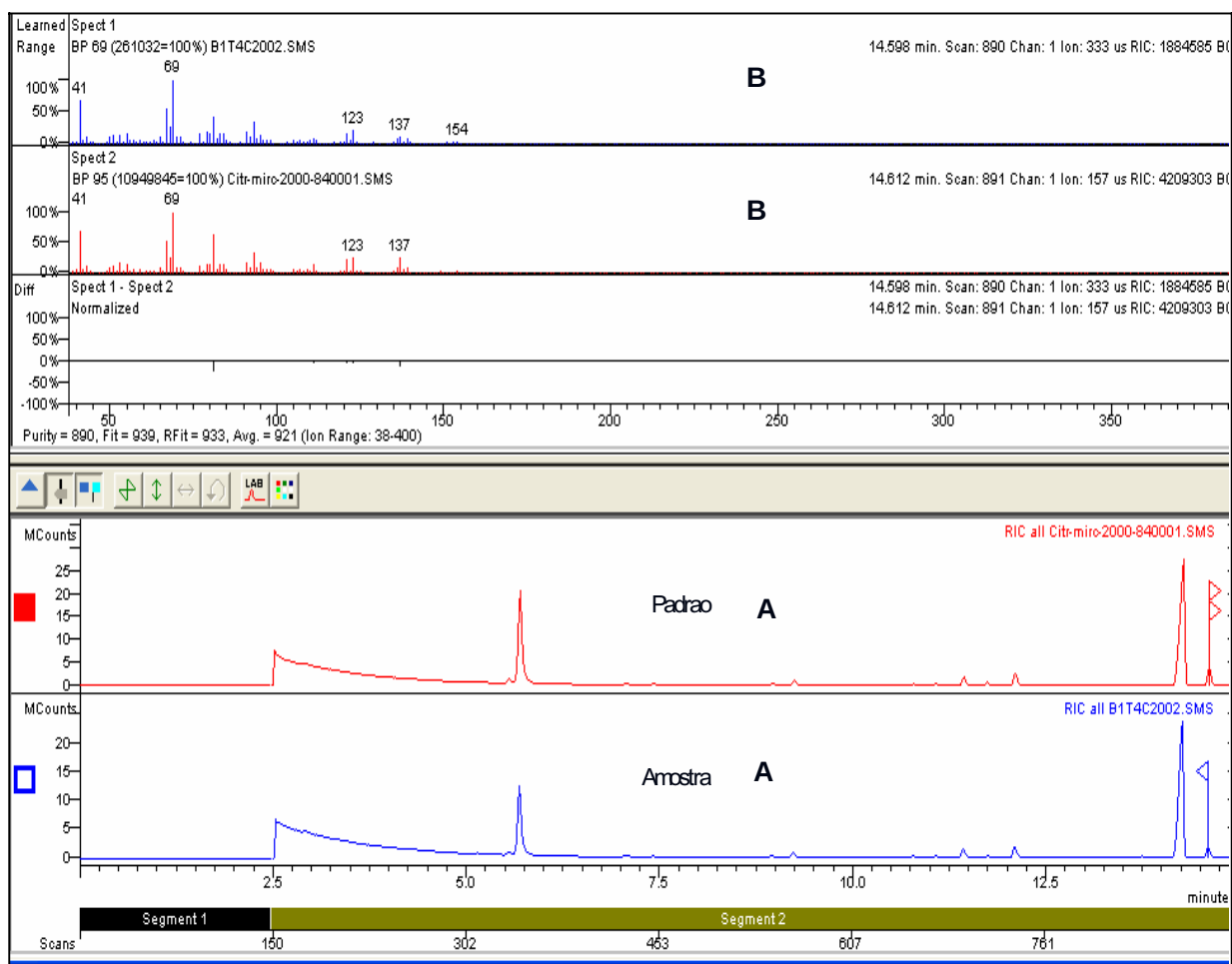


Figura 35: Cromatograma (A) e espectro de massa (B) obtido da solução padrão de 200,0 mg L⁻¹ de citral (tr: 14,612min).

Observa-se que esses cromatogramas possuem resolução inferior ao do CG/DIC. Esse comportamento é esperado, devido às colunas utilizadas nas duas análises, sendo que a coluna DB-5 (5% fenil, 95% metilpolisiloxano) utilizada no CG/DIC é melhor para os compostos analisados, por possuir polaridade ligeiramente maior que a coluna DB-1 (100% metilpolisiloxano) utilizada no CG/EM, que não pôde ser trocada, pois já estava em uso num outro estudo. O gás de arraste também foi um fator responsável por esse comportamento, sendo que no CG/EM o gás utilizado foi o hélio e no CG/DIC o gás hidrogênio, devido o gás hélio possuir uma menor viscosidade, as análises são mais rápidas.

Para a quantificação utilizaram-se as condições experimentais descritas no estudo da resposta cromatográfica CG/DIC e a Figura 37 e 38 representam um exemplo da curva analítica.

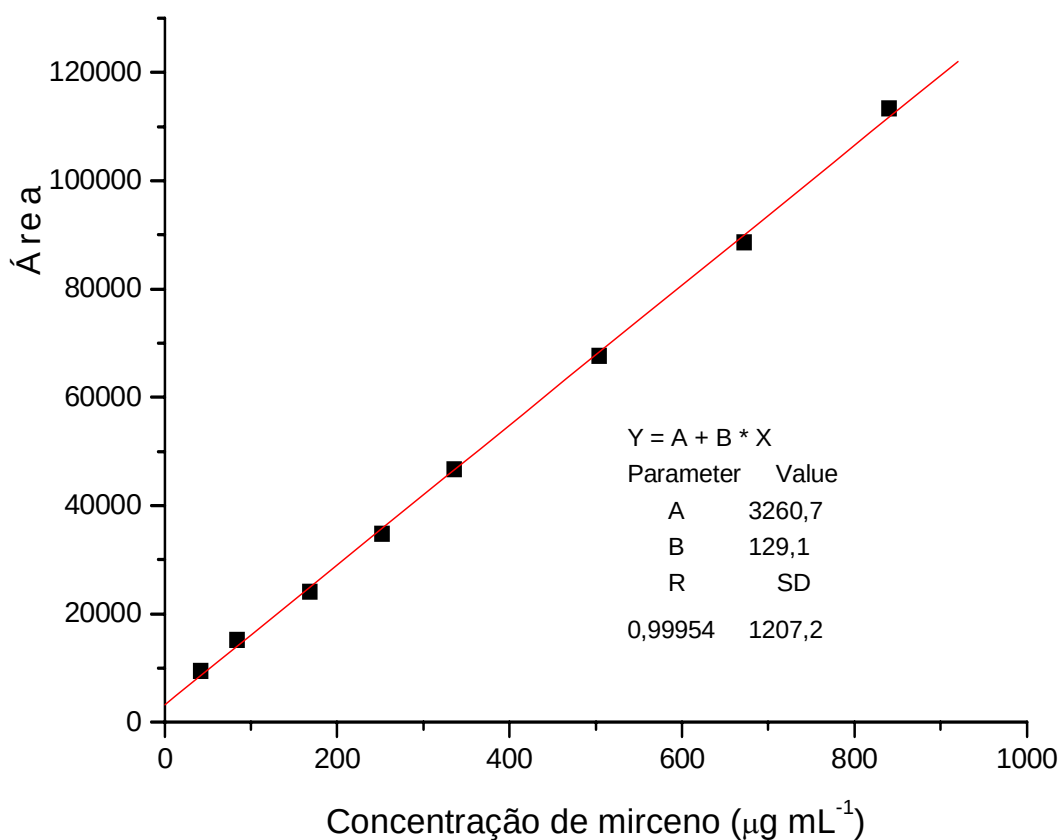


Figura 37: Curva analítica para o mirceno. Equação: $Y = 3,26 \cdot 10^3 + 129 \cdot X$. Cada ponto em triplicata, com coeficientes de variação menores que 3%.

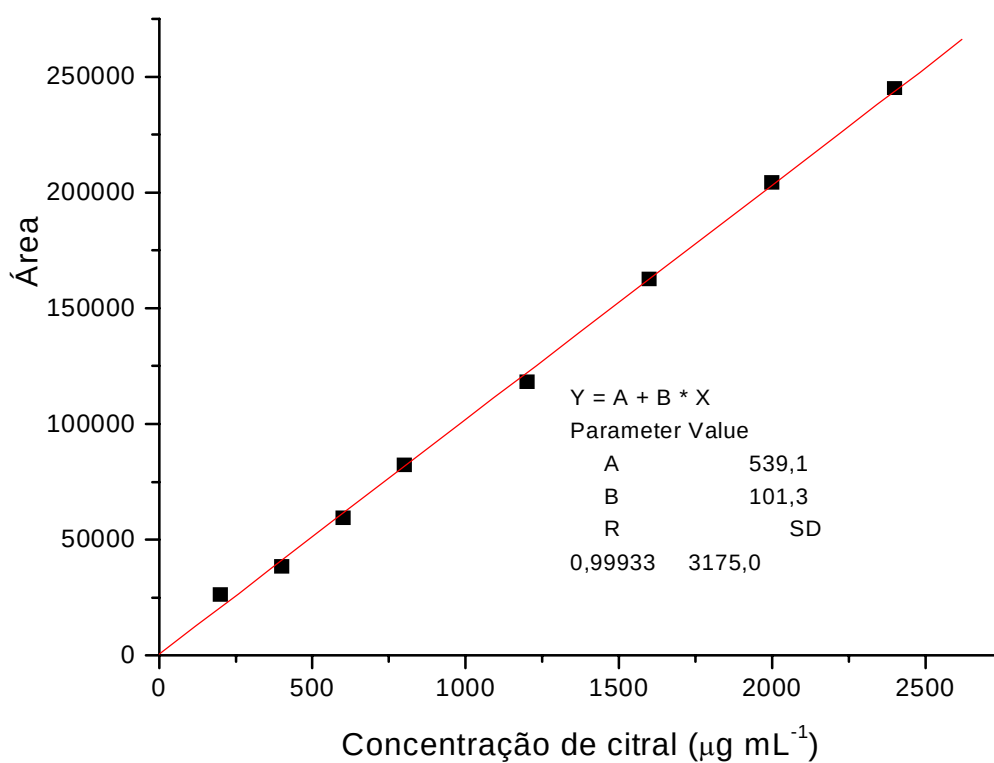


Figura 38: Curva analítica para o citral. Equação: $Y = 539 + 101 \cdot X$. Cada ponto em triplicata, com coeficientes de variação menores que 3%.

As Figuras 39 e 40 apresentam um exemplo dos cromatogramas obtidos para soluções padrão e para um dos extratos da amostra vegetal, respectivamente.

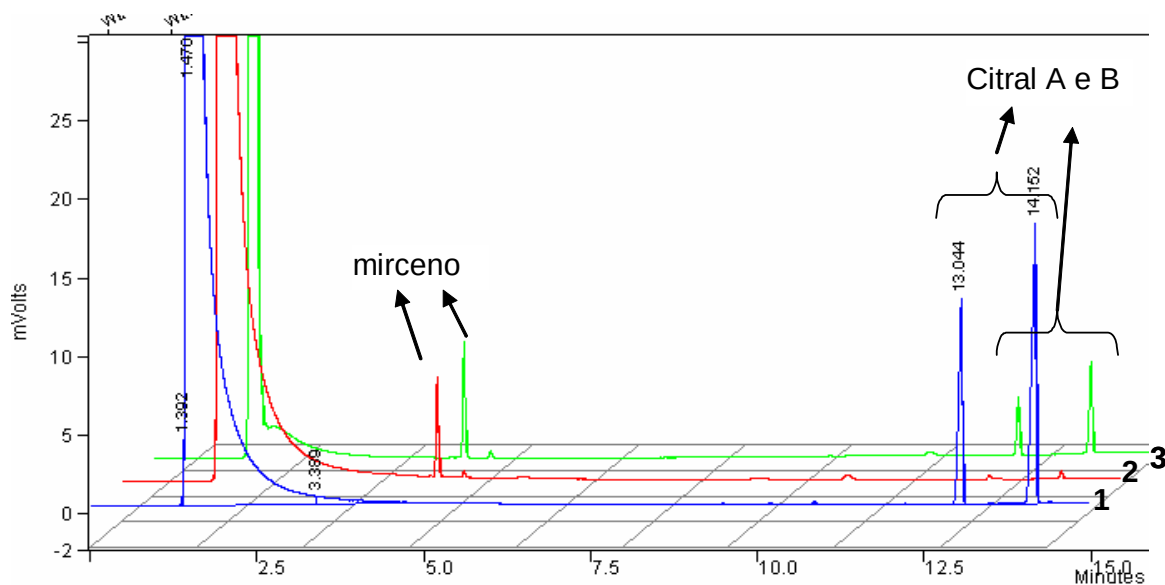


Figura 39: Cromatograma CG/DIC para solução padrão de citral (A + B) $600 \mu\text{g mL}^{-1}$ (cromatograma 1), para mirceno (cromatograma 2) de $42 \mu\text{g mL}^{-1}$ e solução mista (cromatograma 3) de mirceno/citral $42/200 \mu\text{g mL}^{-1}$ respectivamente.

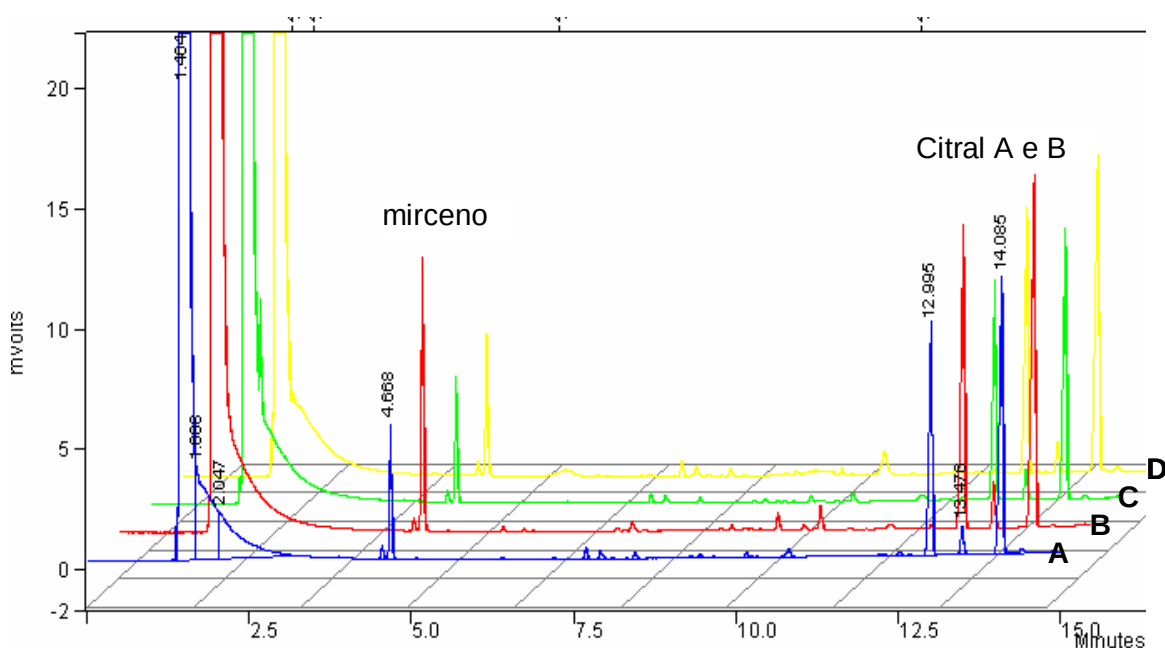


Figura 40: Cromatograma CG/DIC para uma das amostras obtidas de cada tratamento na coleta de 120 dias: (A) solo, (B) CRSU, (C) ECOSOLO®, (D) Boletim 100.

Os valores de concentração de citral e mirceno estão apresentados na Figura 41 e nas Tabelas 11 e 14.

Na Figura 41, estão as médias em relação à massa, volume, teor de óleo essencial em relação à área proporcional de cultivo (hectare ou 10.000 m²) e a produção de princípios ativos (mirceno e citral (neral + geranial)) em relação à massa vegetal (kg).

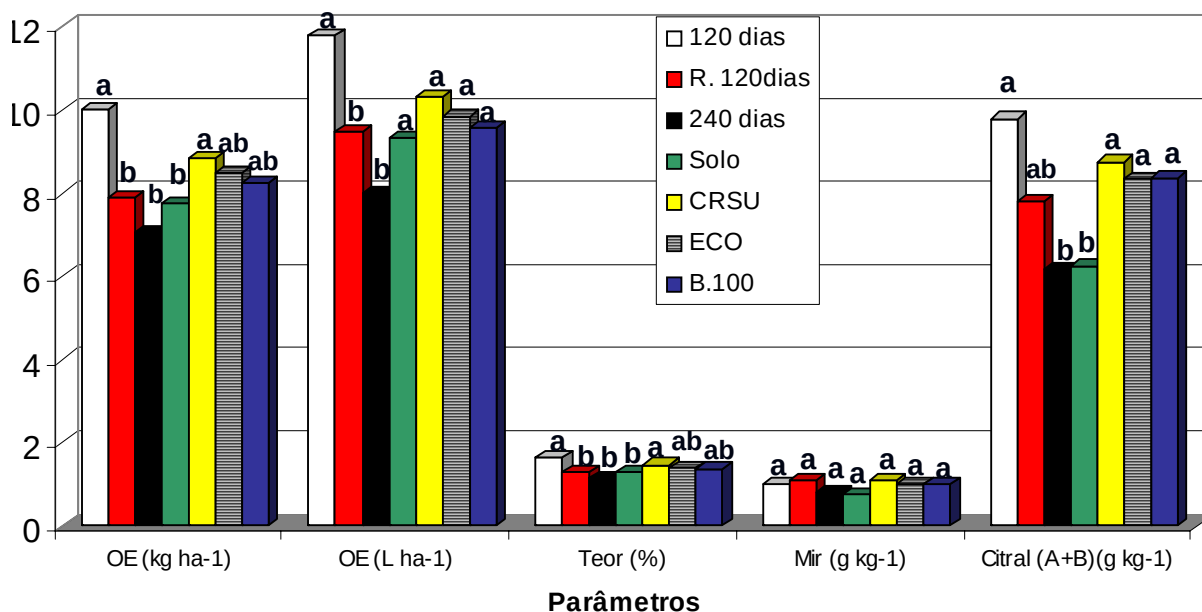


Figura 41: Gráfico do Óleo Essencial(OE), teor de óleo, mirceno(Mir) e citral, em relação as coletas e ao tratamentos. As médias seguidas por letras distintas diferem entre si, no teste de Tukey 5% de probabilidade.

Para a produção de óleo essencial e princípios ativos observamos os melhores índices para o cultivo em 120 dias, indicando um ápice do ciclo da planta em relação à produção de óleo essencial. Aos 240 dias de cultivo observa-se menor acúmulo de óleo essencial e princípios ativos, e a rebrota de 120 dias apresenta médias intermediárias, exceto para o mirceno, embora estatisticamente não apresenta diferença significativa, mas numericamente apresenta a melhor média, comportamento similar à produção de matéria vegetal, estimulada pelo corte aos 120 dias.

Em relação aos tratamentos, observamos que a planta apresentou uma resposta positiva em relação ao controle (solo) e os demais, não apresentando

diferenças entre o tratamento com CRSU, Ecosolo® e seguindo as recomendações técnicas do Boletim 100-IAC, comportamento que reflete diretamente na qualidade do óleo essencial produzido, ou seja, como maior concentração de citral e mircenol.

5.4 Macro, micronutrientes e crômio na matéria vegetal

Na Figura 42 estão apresentadas as médias da concentração de nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre e boro presentes na matéria seca das plantas.

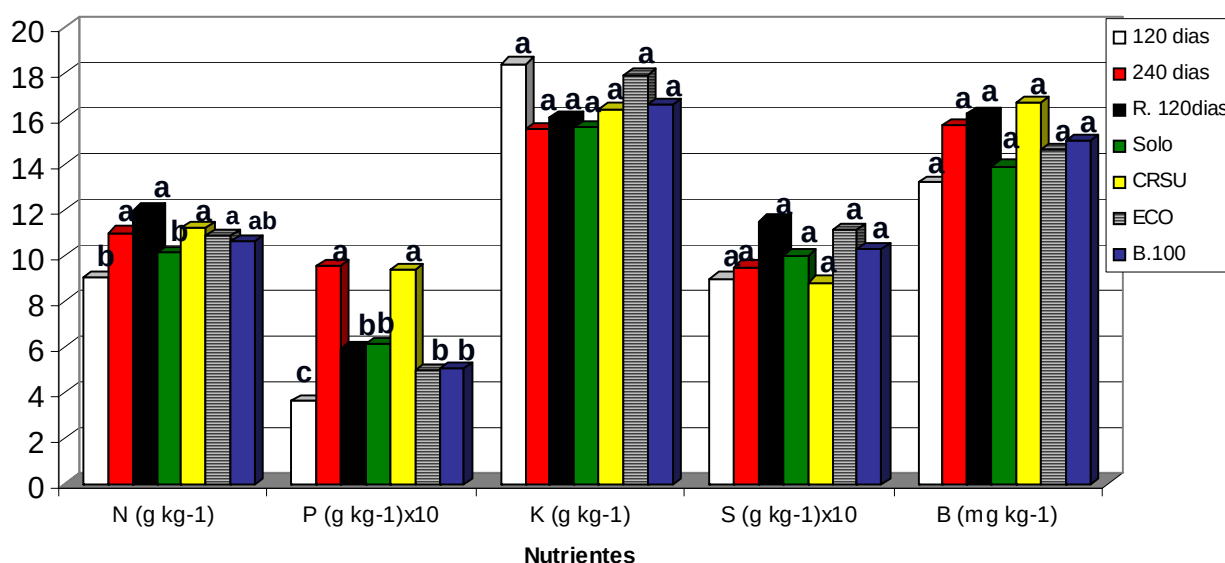


Figura 42: Concentração de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), enxofre (S) e boro (B) na matéria seca das plantas, em função da época de colheitas e dos tratamentos. As médias seguidas por letras distintas diferem entre si, no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o nitrogênio observou-se uma maior concentração presente nas plantas aos 240 dias de cultivo e no tratamento com CRSU. As menores médias foram verificadas aos 120 dias e para o tratamento controle. A rebrota de 120 dias apresentou valores intermediários, juntamente o tratamento com as recomendações do Boletim 100. Os tratamentos CRSU e Ecosolo®, apresentaram maior acúmulo, fato que pode estar associado à maior concentração de matéria orgânica no solo, que propicia maior disponibilidade de água para as plantas devido a alta capacidade de retenção hídrica.

Para o fósforo observou-se a maior concentração na rebrota de 120 dias e no tratamento com CRSU. A coleta de 120 dias e nos tratamentos com Ecosolo® e Boletim 100, apresentaram as menores médias para o fósforo. Esse fato está associado à formação do sistema radicular no início do cultivo, a rebrota apresenta a maior absorção por possuir o sistema radicular já formado e no cultivo sem corte a planta provavelmente já passou do ciclo de desenvolvimento máximo, estando na fase de declínio.

Para o potássio, enxofre e boro não se observam diferenças significativas para as coletas e para os tratamentos.

Nas recomendações do Boletim 100 se aplicaram 69,5 g de potássio, 37 g de fósforo e 10 g de nitrogênio por parcela e são prontamente disponíveis para as plantas.

De acordo com a análise química do CRSU, as quantidades totais aplicada em potencial, por parcela, foram de 238 g de nitrogênio, 787 g de fósforo e 375 g de potássio. O Ecosolo® possui 329 g de nitrogênio, 434 g de fósforo e 84 g de potássio, aplicado por parcela.

Embora os tratamentos com aditivos orgânicos apresenta um aporte maior desses nutrientes, têm-se dois fatores a considerar, a lixiviação para o potássio e nitrogênio devido ao período de índice pluviométrico elevado e a biodisponibilidade para as plantas. O comportamento do fósforo pode ter sido influenciado pela fixação aos óxidos de ferro e alumínio (argilas), ficando indisponível para as plantas e a biodisponibilidade como segundo fator de influência, esses fatores são mais expressivos nos tratamentos com aditivos orgânicos.

A biodisponibilidade ocorre quando se considera a disponibilidade do nutriente (no solo) e sua interação com a microbiota e as próprias plantas.

Na Figura 43, estão os valores médios da concentração de cálcio, magnésio, cobre e zinco na massa vegetal (kg).

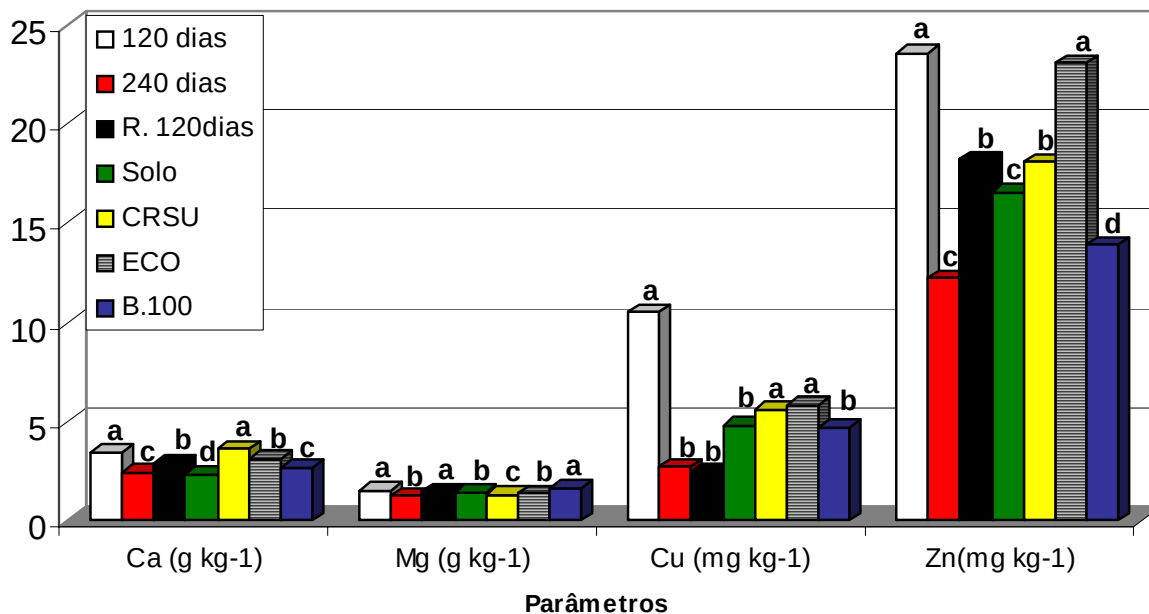


Figura 43: Concentração de de Ca: cálcio, Mg: magnésio, Cu: cobre, Zn: zinco na matéria seca das plantas, em função da época de colheita e dos tratamentos. CRSU: composto de resíduo sólidos urbanos, ECO: Ecosolo®, B.100: Boletim 100 e R.120: rebrota de 120 dias após o corte. As médias seguidas por letras distintas diferem entre si, no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As concentrações médias de cálcio e zinco apresentam o perfil similar em relação às colheitas, com maiores médias aos 120 dias, seguida pela coleta de 240 dias e menor média para a rebrota de 120 dias de cultivo.

Para o magnésio observa-se a melhor média aos 120 dias e a rebrota de 120 dias, e menor aos 240 dias.

Em relação aos tratamentos observam-se melhores médias para o CRSU nas concentrações de cálcio e cobre, média intermediária para o zinco e menor média para a concentração de magnésio. Para o Ecosolo® observam-se as melhores médias para zinco e cobre, médias intermediárias para cálcio e magnésio.

A absorção de cálcio pelas plantas está relacionada à saturação de base (V%) da análise do solo de cada tratamento, o solo tratado com CRSU apresenta a saturação de base de 70% e maior absorção de cálcio pelas plantas, o solo

(controle) apresenta o menor V% (26%) e conseqüentemente menor absorção de cálcio nas plantas desse tratamento.

Para o tratamento Boletim 100, observam-se as melhores médias na concentração de magnésio, devido à calagem com calcário dolomítico ($\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$), médias intermediárias para o cálcio, as menores médias de concentração para zinco e cobre.

Na Figura 44 estão os valores médios da concentração de manganês, ferro, alumínio e crômio pela massa vegetal (kg).

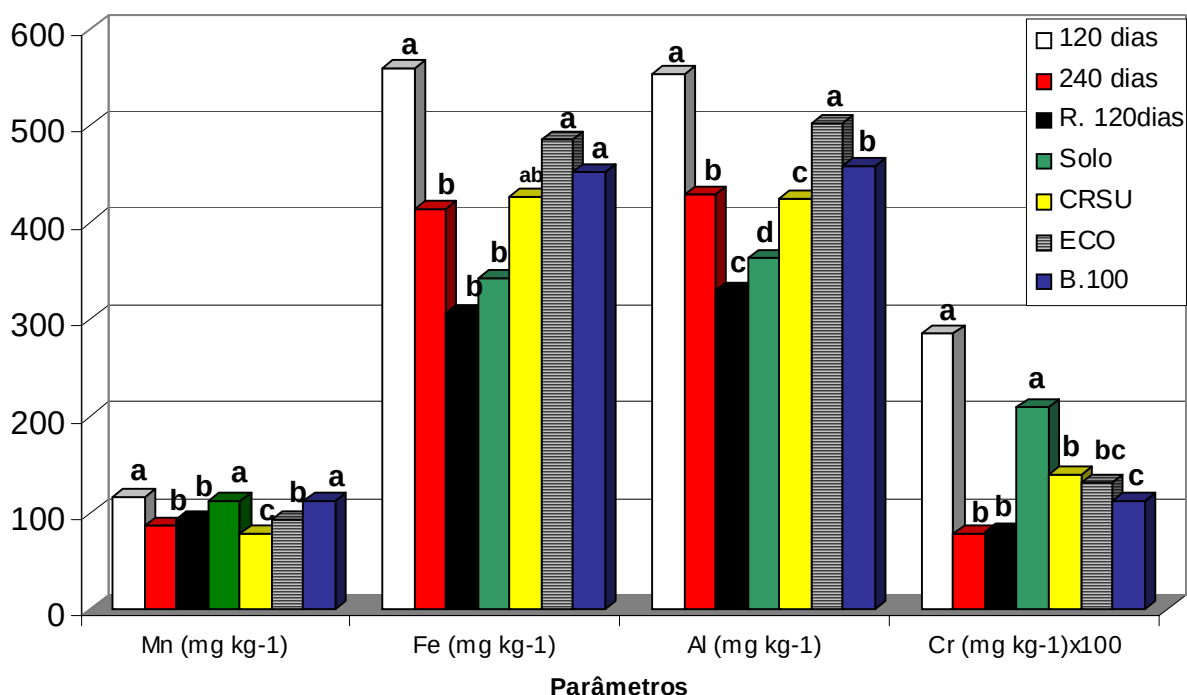


Figura 44: Concentração de Mn: manganês, Fe: ferro, Al: alumínio, Cr: crômio na matéria seca das plantas, em função da época de colheita e dos tratamentos. CRSU: composto de resíduo sólido urbanos, ECO: Ecosolo®, B.100: Boletim 100 e R.120: rebrota de 120 dias após o corte. As médias seguidas por letras distintas diferem entre si, no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Para o manganês, observou-se as maiores médias para a coleta de 120 dias, as menores médias aos 240 dias e a rebrota de 120 dias de cultivo, em relação aos tratamentos observou-se que a tratamento Boletim 100 e solo (controle)

apresentam as maiores médias, o tratamento com Ecosolo® apresenta média intermediária e com CRSU a menor média. Esse comportamento foi observado em outros trabalhos²⁴⁻²⁶ com outras espécies medicinais, comprovando a alta capacidade quelante do CRSU, tornando esse micronutriente indisponível para as plantas.

Para o ferro observaram-se as maiores médias para coleta de 120 dias e os tratamentos Ecosolo® e Boletim 100, as médias intermediárias para a rebrota de 120 dias de cultivo e os tratamentos com CRSU e as menores médias para a coleta de 240 dias e solo (controle).

Para o alumínio observam-se as maiores médias para a coleta de 120 dias e o tratamento com Ecosolo®, médias intermediárias para a rebrota de 120 dias e para os tratamentos com CRSU e Boletim 100, as menores médias observam-se para coleta de 240 dias e tratamento solo (controle).

Em relação aos metais ambientalmente impactantes avaliados nesse trabalho, somente o cromo foi quantificado, sendo a maior média aos 120 dias de cultivo e no tratamento controle (solo). O fato de a matéria orgânica atuar com quelante desse metal e indisponibilizando-o para as plantas.

Os tratamentos apresentaram melhores médias em relação ao solo (controle), na produção de óleo essencial, citral, teor de óleo e na quantidade de nitrogênio das plantas, a resposta diferenciada em relação aos tratamentos e o controle apontam em uma alternativa viável da aplicação dos dois tipos de compostos avaliados, no cultivo dessa espécie em relação aos cultivos convencionais (inorgânica) para a produção de óleo essencial e citral.

5.5 Avaliação do impacto ambiental do uso do composto quanto ao aporte de nitrato e fósforo ao solo

5.5.1 Nitrogênio (amônio e nitrato)

Todas as amostras de solo foram analisadas em triplicata. A Tabela 17, **ANEXO I**, apresentam as médias e os desvios padrão.

Na Figura 45 e 46, estão às concentrações médias para os íons amônio e nitrato em relação aos tratamentos e às coletas de solo.

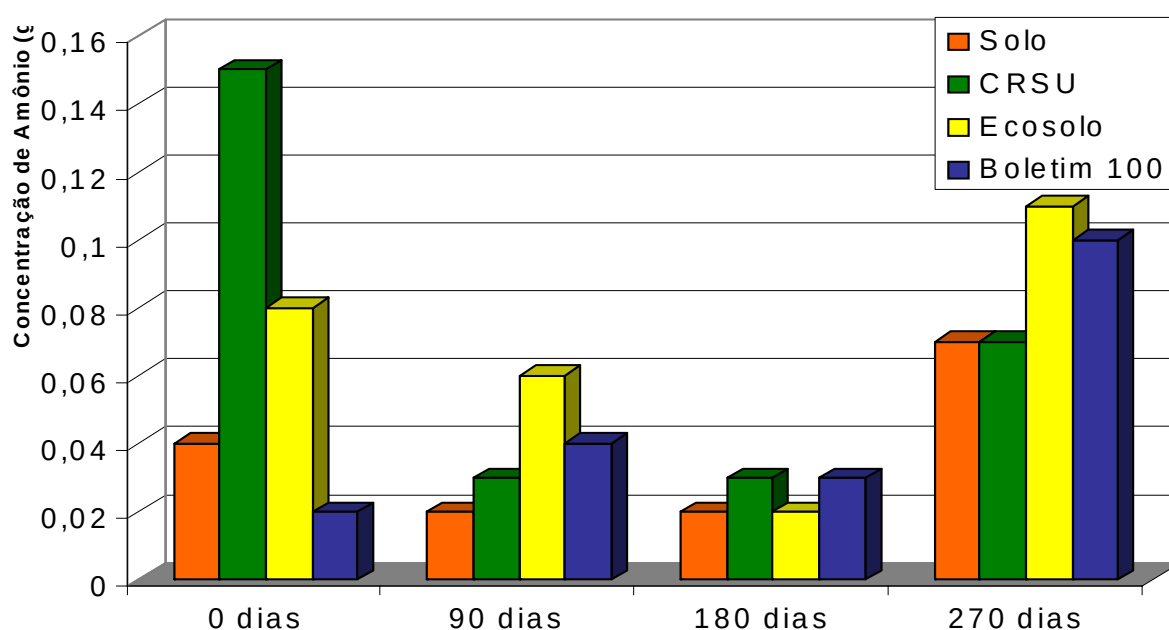


Figura 45: Concentração de amônio em relação aos tratamentos e a época de coleta de solo.

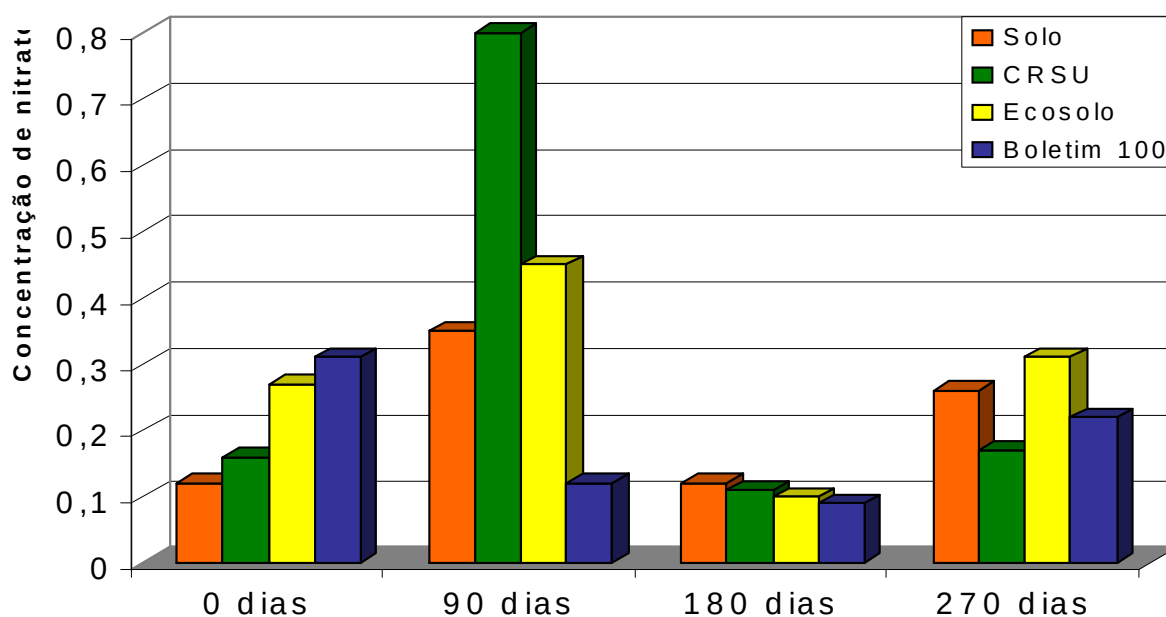


Figura 46: Concentração de nitrato em relação aos tratamentos e a época de coleta de solo.

Devido ao elevado coeficiente de variação de algumas amostras, a avaliação estatística não apresentou diferenças significativas no teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5.5.2 Fósforo

Todas as amostras foram analisadas em triplicata, apresentando CV entre 1 e 10%, Tabela 18, **ANEXO I**. Nas Figuras 47 a 49 são apresentados gráficos que ilustram a evolução de cada fração em relação ao tempo de acompanhamento do experimento e ao tipo de tratamento.

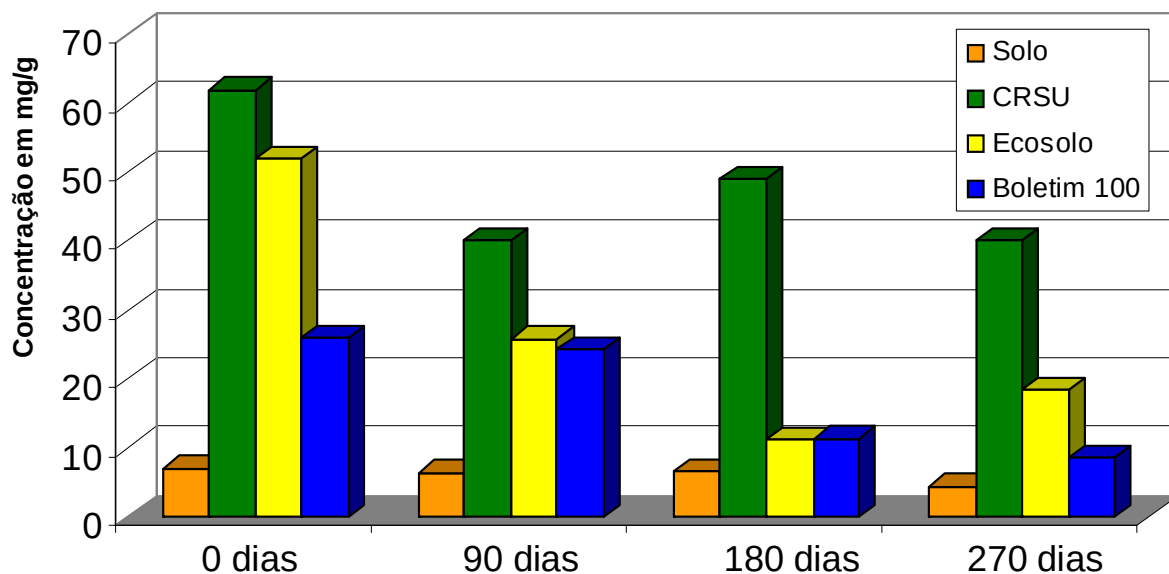


Figura 47: Concentração de fósforo disponível em relação aos tratamentos e as épocas de coletas de solo.

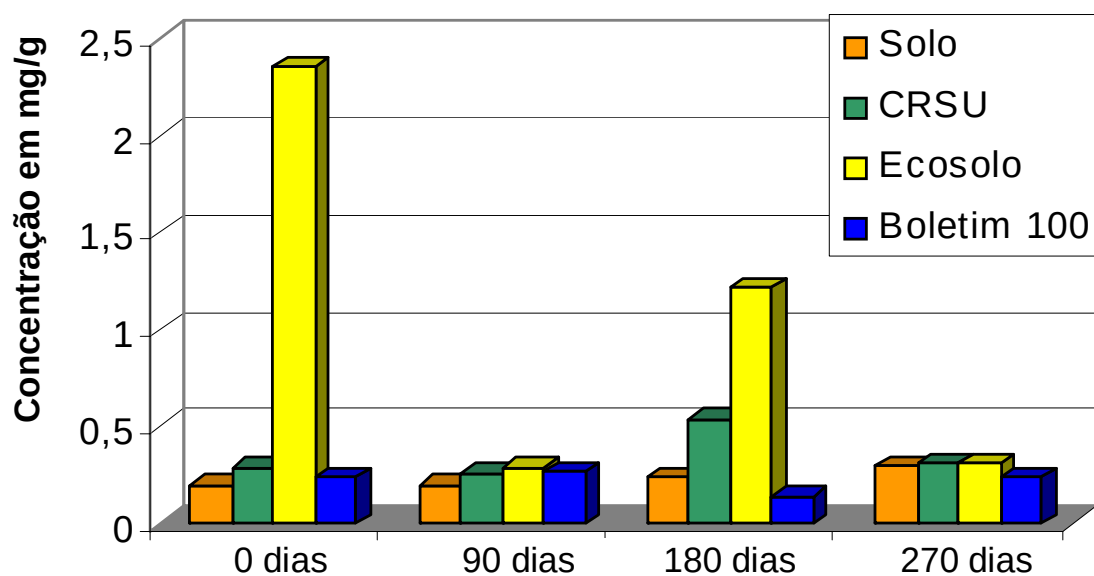


Figura 48: Concentração de fósforo ligado aos óxidos de ferro e alumínio em relação aos tratamentos e as épocas de coletas de solo.

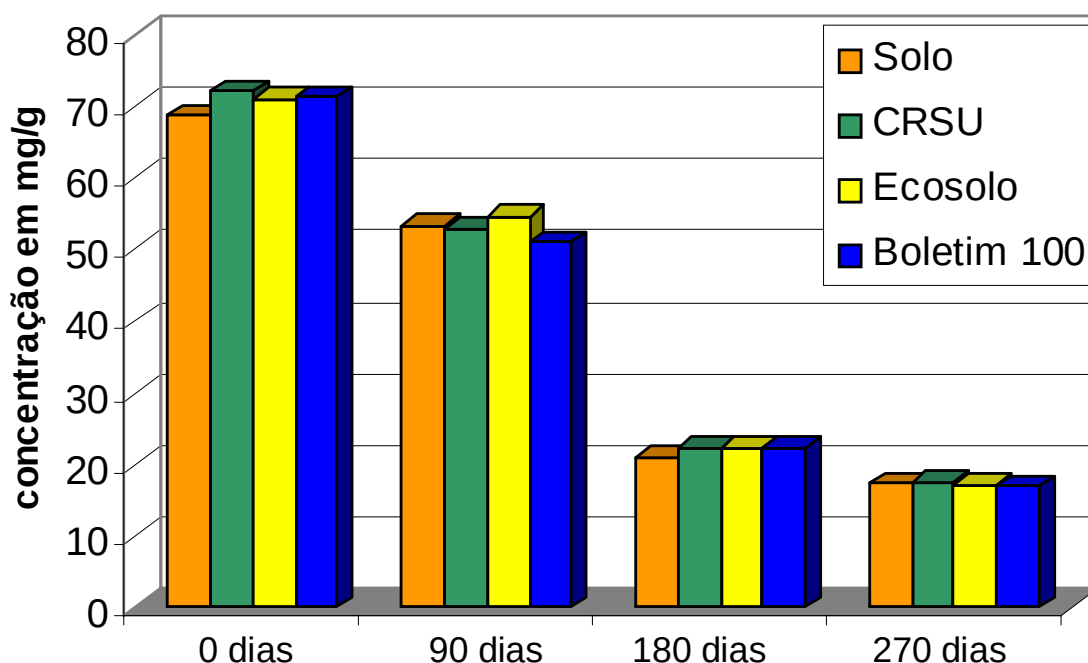


Figura 49: Concentração de fósforo ligado à matéria orgânica em relação aos tratamentos e as épocas de coletas de solo.

Os dados obtidos indicam que o fósforo apresenta-se em maior concentração na fração orgânica lábil, com diminuição proporcional ao passar do tempo, as maiores concentrações dessa fração está no tratamento solo + CRSU, seguida do solo + Ecosolo®, solo + recomendações do Boletim 100 e a menor média para tratamento controle (solo).

Na fração do fósforo disponível, o tratamento controle, apresenta menor média e menor alteração juntamente com o tratamento solo + Boletim 100. O tratamento solo + CRSU apresenta a maior média para essa fração e com redução de aproximadamente 35% nas médias para a segunda coleta. O tratamento solo + Ecosolo® apresenta a segunda maior média para está fração e com uma redução de 50% na segunda coleta.

A fração do fósforo ligado na superfície dos óxidos de Fe-Al, apresenta as menores médias de todas as frações avaliadas, com pequenas variações de

concentrações entre as coletas, exceto no tratamento solo + Ecosolo®, com maior média na primeira coleta.

6. CONCLUSÕES

A concentração de cádmio ficou abaixo do limite de quantificação. O níquel e chumbo ficaram abaixo do limite de detecção do equipamento ($25 \mu\text{g L}^{-1}$ no extrato e aproximadamente $2,0 \mu\text{g kg}^{-1}$ da planta). Supondo que esta seja a quantidade em solo e que a planta absorva totalmente esses metais ambientalmente impactantes, esses valores estariam abaixo do permitido em solo pela CETESB.³

No composto de Araras e no Ecosolo®, esses metais também não foram detectados, exceto o crômio, com concentrações, em mg kg^{-1} , de $3,36 \cdot 10^{-2} \pm 0,06 \cdot 10^{-2}$ (CV=2%) e $2,70 \cdot 10^{-2} \pm 0,09 \cdot 10^{-2}$ (CV=3%), respectivamente, valores inferiores aos quantificados nas plantas, indicando que esses compostos não são fontes significativas de metais tóxicos ou ambientalmente impactantes.

Em relação à análise química do CRSU e do composto ECOSOLO®, o CRSU apresenta maior quantidade de fósforo total, 65% de matéria orgânica, contra 52,5 % do ECOSOLO®, pH mais próximo da neutralidade e maior quantidade de potássio. O ECOSOLO® apresenta maior índice de umidade, 37,2%, mas dentro dos parâmetros indicados pelo fabricante (umidade máxima de 40%).

Esses dados podem contribuir na produção de capim-limão, indicando que se o objetivo do produtor for comercializar a planta *in natura*, ele pode optar pelo cultivo próximo de 240 dias, já que somando a coleta de 120 dias e a rebrota também de 120 dias seria produzido em torno de 14000 kg ha^{-1} contra 15600 kg ha^{-1} , sendo diferença aproximada na produção de 1600 kg ha^{-1} maior, para qualquer dos tratamentos utilizados.

Com o objetivo voltado na produção de óleo essencial o produtor poderá optar na coleta de 120 dias, pois com 240 dias as plantas produziram aproximadamente $7,0 \text{ kg ha}^{-1}$, na produção dividida em duas coletas (120 dias + rebrota de 120 dias), totalizando 240 dias, pode obter aproximadamente 18 kg ha^{-1} , uma diferença expressiva para o produtor.

Em relação aos metais ambientalmente impactantes avaliados nesse trabalho, somente o cromo foi quantificado, indicando que os demais tratamentos não disponibilizam para as plantas esses metais e a capacidade quelante da matéria orgânica pode ter sido o fator preponderante e intensificado com tempo maior de cultivo.

Observa-se maior média de amônio no início do experimento e no tratamento com CRSU, e após 90 dias de experimento observa-se uma diminuição na concentração de amônio no tratamento com CRSU e um aumento na concentração de nitrato, alta taxa de mineralização, mas na coleta de 180 dias observa-se uma queda na concentração de nitrato e amônio no solo, fato associado a possível lixiviação desses íons pela chuva (coleta de janeiro) e aos 270 dias um aumento de ambos, associado à transformação de nitrogênio amídico para amônio.

Esse comportamento justifica a importância dos estudos ambientais em relação à aplicação dos condicionadores orgânicos ao solo, seja em uma única dose para um ciclo de produção, ou em doses sucessivas em intervalos regulares, pois a alta lixiviação desses íons resulta na eutrofização das águas superficiais, um aspecto negativo ao uso do composto de resíduos sólidos, que pode ser contornado com o monitoramento periódico das áreas que são aplicadas esse condicionador e micro bacias próximas.

Neste trabalho foi possível comparar os quatro tipos de tratamento estudados quanto à disponibilidade de P e o comportamento de disponibilização deste nutriente ao longo de 9 meses. Dos tratamentos utilizados, o CRSU apresenta os maiores teores de P disponível em todas as épocas de coleta, apresentando-se com a melhor alternativa em termos de aporte de P ao solo como nutriente agrícola, o seu baixo custo em relação aos demais, também torna bastante promissor a sua indicação como insumo agrícola. O tratamento com composto Ecosolo® apresenta a maior concentração de fósforo ligado ao Al e Fe em relação aos demais tratamentos, essa interação é de alta estabilidade, sendo, portanto um fósforo praticamente indisponível para as plantas.

Os dados obtidos denotam um desempenho melhorado do CRSU no cultivo de *Cymbopogon citratus*, em relação às técnicas convencionais de cultivo (Boletim 100) e ao condicionador Ecosolo®. As vantagens que podem ser apontadas incluem, diretamente, o desempenho agrícola alcançado e indiretamente, a minimização da quantidade de resíduos urbanos destinados a aterro sanitário, controlados, valas e lixões, que a compostagem representa.

A produção de composto de resíduos sólidos pode minimizar os impactos sociais dos resíduos sólidos urbanos, com a arrecadação de recursos financeiros pela venda de créditos de carbono, pelos órgãos responsáveis pela coleta, destinação e/ou tratamento (Prefeituras), revertendo esses recursos para melhoria de vida e de condição de trabalho dos associados das cooperativas de coleta seletiva, por exemplo.

A compostagem de resíduos sólidos é um importante processo na reciclagem de carbono. Seu uso pode repercutir em melhoria das condições edáficas e consequentemente da produtividade agrícola, sendo uma alternativa para

o cultivo de outras plantas medicinais. Neste sentido pode fortalecer a Política Nacional de Plantas Medicinais e Fitoterápicos – SUS.

Os benefícios da utilização do CRSU são inúmeros, mas ainda há a necessidade de outros estudos ambientais e agronômicos. Do ponto de vista de políticas públicas na questão mais abrangente da geração e destinação/tratamento de resíduos sólidos urbanos, programas de educação ambiental são imprescindíveis, em todos os níveis, visando à educação para o consumo, pois assim minimizaríamos embalagens e desperdícios, criando ações efetivas dentro de um modelo holístico de sustentabilidade.

7. REFERÊNCIAS

- 1 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004** - resíduos sólidos: classificação. Rio de Janeiro, 1987. 63 p.
- 2 SÃO PAULO (Estado). Assembléia Legislativa. **Política estadual de resíduos sólidos**. Lei nº 12.300, São Paulo, 2006. 24 p.
- 3 SÃO PAULO (Estado). Companhia de tecnologia de saneamento ambiental - CETESB. **Inventário estadual de resíduos sólidos domiciliares**. São Paulo, 2003. 86 p.
- 4 WEBER, E.; HASENACK, H. **Avaliação de áreas para instalação de aterro sanitário através de análises em SIG com classificação contínua dos dados**. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 9 p. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/artigos/aterro.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2006.
- 5 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-8419** - apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos: procedimento. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.
- 6 KIEHL, E. J. **Manual de compostagem**: maturação e qualidade do composto. Piracicaba: Editora Degaspari, 1998. 171 p.
- 7 SILVA, F. C.; BERTON, R. S.; CHITOLINA, J. C.; BALLESTERO, S. D. **Circular Técnica-3**: recomendações técnicas para o uso agrícola do composto de lixo urbano no estado de São Paulo. Campinas: Ministério da Agricultura, Pecuário e Abastecimento, 2002. 17 p.
- 8 MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- 9 BERTON, R. S. **Reciclagem de resíduos urbanos na agricultura**: composto de lixo. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS, 2., 18-20 nov. 1997, São Carlos, 1997. p 112-117.
- 10 OLIVEIRA, S. C. **Adaptação de metodologia analítica para determinação de nitrogênio, fósforo e potássio em composto de resíduos sólidos domésticos**. 1997. 78 f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 1997.
- 11 GROSSI, M. G. L. **Avaliação do nível de concentração de alguns metais pesados em resíduos ou produtos resultantes da disposição ou tratamento de resíduo sólido municipal**. 1989. 123 f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.
- 12 HE, X. T.; TRAINA, S. J.; LOGAN, T. J. Chemical properties of municipal solid waste composts. **Journal of Environmental Quality**, v. 21, p. 318-329, 1992.

- 13 ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**, v. 32, n. 2, p. 531-537, 1998.
- 14 MUCHOVEJ, R. M. C.; RECHCIGL, J. E. Nitrogen fertilizers. In: RECHCIGL, J. E. (Ed.). **Soil amendment and environmental quality**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1995. 64 p.
- 15 TRANI, P. E.; PASSOS, F. A.; AZEVEDO FILHO, J. A. Alface, almeirão, chicória, escarola, rúcula e agrião d'água. In: RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Boletim Técnico 100**: recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. p. 157-169.
- 16 OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; MORAES, S. O. Percolação de nitrato em latossolo amarelo distrófico afetada pela aplicação de composto de lixo urbano e adubação mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 731-741, 2001.
- 17 MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; COBRA NETTO, A.; KIEHL, J. C. 3. ed. **Fertilidade do solo**. São Paulo: Nobel, 1988. 400 p.
- 18 MALAVOLTA, E. R. **Manual de química agrícola de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 528 p.
- 19 OLIVEIRA, K. C. **Desenvolvimento da *Mentha piperita* L. em solo tratado com composto de resíduos sólidos urbanos**. 2001. 65 f. Monografia (Bacharelado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2001.
- 20 OLIVEIRA, S. C. **Influência da utilização de composto de resíduos sólidos urbanos, como aditivo de solo, no acúmulo de princípios ativos de *Mentha arvensis* L.** 1999. 85 f. Monografia (Bacharelado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 1999.
- 21 FUJITA, A. T. **Estudo sobre o cultivo de *Mentha arvensis* L. em solo tratado com composto de resíduos sólidos urbanos**: desenvolvimento da planta, absorção de nutrientes e acúmulo de mentol. 2001. 53 f. Monografia (Bacharelado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2001.
- 22 FUJITA, A. T. **Estudo sobre o cultivo de *Achillea Millefolium* em solo tratado com composto de resíduos sólidos urbanos**: desenvolvimento da planta, absorção de nutrientes e acúmulo de princípio ativo. 2004. 61 f. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, 2004.
- 23 SILVA, R. P. **Estudo sobre a disponibilização de fósforo no solo a partir do tratamento com composto de resíduos sólidos urbanos**. 2003. 58 f. Monografia (Bacharelado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2004.

24 SABATINI, C. A. **Determinação de metais ambientalmente impactantes em solo tratado com composto de resíduos sólidos domésticos**. 2003.

67 f. Monografia (Bacharelado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2004.

25 PROBERT, E. J.; DAWSON G. F.; COCKRILL, A. Evaluating preferences within the composting industry in Wales using a conjoint analysis approach. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 45, p. 128-141, 2005.

26 MASON, I. G. Mathematical modelling of the composting process: a review. **Waste anagement**, v. 26, p. 3-21. 2006.

27 XI, B.; HUANG G. H.; QIN, X. S.; LIU, H. L.; MENG W.; WANG, Q.; ZENG, G. M. Process kinetics of inoculation composting of municipal solid waste. **Journal of Hazardous Materials**, v. 124, p. 165-172, 2005.

28 ABREU JUNIOR, C. H.; MURAOKA, T.; OLIVEIRA, F. C. Cátions trocáveis, capacidade de troca de cátions e saturação por bases em solos brasileiros adubados com composto de lixo urbano. **Recomendações técnicas para o uso agrícola do composto de lixo urbano no estado de São Paulo**. EMBRAPA, Campinas-SP, v. 58, n. 4, p. 813-824, 2002.

29 MARTINS, P. M.; MELO, E. C.; CORREA, P. C. ; BARBOSA, L. C. A.; SANTOS, R. H. S. Influência da temperatura e velocidade do ar de secagem no teor e composição química do óleo essencial de capim-limão. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE PRODUÇÃO DE PLANTAS MEDICINAIS, AROMÁTICAS E CONDIMENTARES, 1., São Pedro-SP, 2000. p. 911-913.

30 OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ABREU JUNIOR, C. H. Alterações em atributos químicos de um Latossolo pela aplicação de composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 37, n. 4, p. 529-538, 2002.

31 GOYAL, S.; DHULL, S. K.; KAPOOR, K. K. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. **Bioresource Technology**, Hisar, v. 96, p. 1584-1591, 2005.

32 RAUBER C. S.; GUTERRES, S. S.; SCHAPOVAL, E. E. S. LC determination of citral in *Cymbopogon citratus* volatile oil. **Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis**, v. 37, p. 597-601, 2005.

33 RAIJ, B. V.; MAIA, N. B.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo-IAC, 1996. 285 p.

34 EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. Rio de Janeiro, 1975. 344 p.

35 FURLAN, M. R. **Aspectos agronômicos em plantas medicinais: um guia de estudo interdisciplinar**. São Paulo, 1995. p. 157-167.

- 36 TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. 2. ed. Sunderland: Sinauer, 1998. 792 p.
- 37 FURLAN, M. R. **Cultivo de plantas medicinais**. 3. ed. Cuiabá: SEBRAE, 1998. 137 p. (Coleção Agroindústria).
- 38 MALAVOLTA, E. R. **Manual de química agrícola de plantas e fertilidade do solo**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1975. 197 p.
- 39 MACIEL, M. A. M.; PINTO, A. C.; VEIGA, V. F.; GRYNBERG, N. F.; ECHEVARRIA, A. Plantas medicinais: a necessidade de estudos multidisciplinares. **Química Nova**, Rio de Janeiro-RJ, v. 25, n. 3, p. 429-438, 2005.
- 40 STASI, L. C. **Plantas medicinais: arte e ciência**. São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 1996. 110 p.
- 41 BALDERRAMA, J. L.; ZAMBRANA, E. Valorización de especies vegetales bolivianas por medio de la obtención de aceites esenciales. In: CONGRESO MUNDIAL DE PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES PARA EL BIENESTAR DE LA HUMANIDAD, Mendoza, Argentina. 1997. p. 16-17.
- 42 MIZRAHI, I. Panorama y perspectivas de las especies aromáticas nativas argentinas y de sus aceites esenciales. In: CONGRESO MUNDIAL DE PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES PARA EL BIENESTAR DE LA HUMANIDAD, Mendoza, Argentina, 1997. p. 17-18.
- 43 DE SILVA, T. Unido programmes on industrial utilization of medicinal and aromatic plants. In: CONGRESO MUNDIAL DE PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES PARA EL BIENESTAR DE LA HUMANIDAD, Mendoza, Argentina, 1997. p. 19-20.
- 44 COTEPa. Centro de Orientación Técnica y Económica de las Producciones Aromáticas. Proyecto de apoyo a la orientación técnica y económica de la producción de plantas medicinales y aromática en Uruguay. In: CONGRESO MUNDIAL DE PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES PARA EL BIENESTAR DE LA HUMANIDAD, Mendoza, Argentina, 1997. p. 31-32.
- 45 HE, S. A. Leaf-cultivation of *ginkgo* for medicinal use. In: CONGRESO MUNDIAL DE PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES PARA EL BIENESTAR DE LA HUMANIDAD, Mendoza, Argentina, 1997. p. 38-39.
- 46 MALIZIA, R. A.; MOLLI, J. S.; CARDELL, D. A.; RETAMAR, J. A. Selección de material para cultivo en *Aloysia polystachya* (Gris.) Mold. In: CONGRESO MUNDIAL DE PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES PARA EL BIENESTAR DE LA HUMANIDAD, Mendoza, Argentina, 1997. p. 1-2.
- 47 BRASIL, Ministério da Saúde. **A fitoterapia no SUS e o programa de pesquisa de plantas medicinais da central de medicamentos**. Brasil, 2006. 148 p.

- 48 JELIAZKOVA, E. A.; ZHELJAZKOV, V. D.; CRAKER, L. E.; YANKOV, B.; GEORGIEVA, T. N P K fertilizer and yields of peppermint, *Mentha X piperita*. In: CONGRESO MUNDIAL DE PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES PARA EL BIENESTAR DE LA HUMANIDAD, Mendoza, Argentina, 1997. p. 8-9.
- 49 GIANQUINTO, G.; DA GIAU, C.; BORIN, M. The effects of mineral and organic fertilization on growth, yield and quality of borage (*borago officinalis* L) cultivated in different soils In: CONGRESO MUNDIAL DE PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES PARA EL BIENESTAR DE LA HUMANIDAD, Mendoza, Argentina, 1997. p. 56-57.
- 50 NIKOLOVA, A.; ZHELJAZKOV, V. D.; CRAKER, L. E. Mineral nutrition of chamomile, *chamomilla recutia* (L.) K. In: CONGRESO MUNDIAL DE PLANTAS AROMÁTICAS Y MEDICINALES PARA EL BIENESTAR DE LA HUMANIDAD, Mendoza, Argentina, 1997. p. 71-72.
- 51 MATOS, F. J. A. **Plantas medicinais**. 2. ed. Fortaleza: UFC, 2000. 108 p.
- 52 FARMACOPÉIA Brasileira. São Paulo: Atheneu, 2003. p. 200-226. parte 1.
- 53 OLIVEIRA, F.; AKISUE, G.; AKISUE, M. K. **Farmacognosia**. São Paulo: Atheneu, 1991. 412 p.
- 54 HUSSAIN, I.; KHAN, F.; KHAN, I.; KHAN, L.; WALI, U. Determination of heavy metals in medicinal plants. **Journal of the Chemical Society of Pakistan**, v. 28, p. 347-351, 2006.
- 55 WESOLOWSKI, M.; RADECKA, I.; KATEDRA, I. Z. Significance of plants for monitoring of environmental contamination by metallic elements. **Chemical Analytical**, v. 11, p. 14-22, 2003.
- 56 BYRNES, M. E. Field sampling methods for remedial investigations. **Lewis Publishers**. Florida: Lewis, 1994. 254 p.
- 57 UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY: USEPA. **Environmental monitoring systems laboratory**: description and sampling of contaminated soils – A field pocket guide – EPA 625/12-91/002. Center for Environmental Research Information, 1991. 33 p.
- 58 RAIJ, B. V.; COSCIONE, A. R.; ANDRADE, J. C.; ABREU, M. F. **Análise química para avaliação de fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas-IAC, 2001. 520 p.
- 59 MECHKOVSKI, A.; AKERELE, C. O. **Quality control methods for medicinal plant materials**. Switzerland: World Health Organization, 1992. 152 p.
- 60 MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas**: amostragem, interpretação e sugestões de adubação. São Paulo: Agrônomo Ceres, 1992. 124 p.
- 61 SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para transferência de Tecnologia, 1999. p. 261-264.

62 HEDLEY, M. J.; KIRK, G. J. D.; SANTOS, M. B. Phosphorus efficiency and the forms of soil phosphorus utilized by upland rice cultivars. **Plant and Soil**, n. 158, p. 53-62, 1994.

63 BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, v. 21, n. 113, p. 73-85, 1974.

64 BRUUNA S.; HANSEN T. L.; CHRISTENSEN, T. H.; MAGIDA, J.; JENSEN, L. S. Application of processed organic municipal solid waste on agricultural land y a scenario analysis. **Environmental Modeling and Assessment**, v. 11, p. 251-265, 2006.

65 CURRIE, L. A. Detection and quantification limits: origins and historical. **Analytica Chemical Acta**, v. 391, p. 127-134, 1999.

GLOSSÁRIO

Analgésico: é um termo colectivo para designar qualquer membro do diversificado grupo de drogas usadas para aliviar a dor;

Antipirético: é um medicamento que previne ou reduz a febre, diminuindo a temperatura corporal que está acima do normal;

Anti-séptico: se refere a tudo o que for utilizado no sentido de degradar ou inibir a proliferação de microrganismos presentes na superfície da pele e mucosas. São substâncias usadas para desinfectar ferimentos, evitando ou reduzindo o risco de infecção por acção de bactérias ou germes;

Antiespasmódica: minimiza a contração involuntária de um músculo, grupo de músculos ou órgão;

Anti-reumático: diminui os efeitos das doenças que afeta articulações, músculos e esqueleto, caracterizado por dor e restrição do movimento;

Bainha: Prolongamento do pecíolo em volta do caule;

Carminativo: Refere-se aos medicamentos usados na redução dos gases intestinais;

Cespitosa: Brotamento de uma raiz ou caule;

Diurético: é o grupo de fármacos que atuam no rim, aumentando o volume a grau de diluição da urina;

Lígula: pequena lâmina vegetal na base das folhas de gramíneas;

Limbo: Parte larga da folha;

Metabolismo: é o conjunto de transformações que as substâncias químicas sofrem no interior dos organismos vivos;

Pecíolo: Parte estreita da folha que sustenta o limbo;

Planta Perene: Plantas cuja as folhas não caem numa estação definida do ano;

Plantas herbáceas: são plantas de caule macio ou maleável, normalmente rasteiro, sem a presença de lignina (podendo, geralmente, ser cortado apenas com a unha) - ou seja, sem caule lenhoso ou plantas cujo caule não sofre crescimento secundário ao longo de seu desenvolvimento;

Sedativo: é uma droga, que deprime o sistema nervoso central;

ANEXO I

Nas Tabelas 11 a 13 estão apresentadas às médias seguidas dos desvios padrão e coeficientes de variação em cada tratamento do cultivo de *Cymbopogon citratus*.

Tabela 11: Valores médios de matéria fresca, matéria seca, rendimento vegetal, massa, volume e teor de óleo essencial, mirceno e citral produzido por *Cymbopogon citratus* em relação aos manejos e aos tratamentos.

Parâmetros	Tratamentos	Manejos					
		120 dias		240 dias		Rebrota 120 dias	
		Média	CV	Média	CV	Média	CV
Matéria Fresca (kg ha ⁻¹)	Solo	6.10 ³ ± 1.10 ³	23	1,8.10 ⁴ ± 7.10 ³	40	8.10 ³ ±5.10 ³	73
	CRSU	6.10 ³ ± 2.10 ³	37	1,7.10 ⁴ ± 7.10 ³	41	1,0.10 ⁴ ±5.10 ³	52
	ECO	6.10 ³ ± 2.10 ³	36	1,8.10 ⁴ ± 6.10 ³	34	6.10 ³ ±2.10 ³	39
	B. 100	6.10 ³ ± 2.10 ³	42	1,6.10 ⁴ ± 4.10 ³	25	1,0.10 ⁴ ±2.10 ³	62
Matéria Seca (kg ha ⁻¹)	Solo	1,4.10 ³ ± 3.10 ²	25	5.10 ³ ± 2.10 ³	40	2.10 ³ ±2.10 ³	73
	CRSU	1,5.10 ³ ± 5.10 ²	39	5.10 ³ ± 2.10 ³	30	2,8.10 ³ ±1.10 ²	49
	ECO	1,3.10 ³ ± 4.10 ²	31	6.10 ³ ± 2.10 ³	34	1,9.10 ³ ±7.10 ²	36
	B. 100	1,3.10 ³ ± 5.10 ²	42	5.10 ³ ± 1.10 ³	22	3.10 ³ ±1.10 ³	59
Rendimento de matéria vegetal % (m/m)	Solo	23,7 ± 0,7	3	31 ± 3	10	32 ± 1	3
	CRSU	25,0 ± 0,5	2	33 ± 3	10	30 ± 3	9
	ECO	24 ± 2	7	31 ± 2	6	31 ± 1	4
	B. 100	23,1 ± 0,2	1	29 ± 2	5	29 ± 2	6
Óleo Essencial (kg ha ⁻¹)	Solo	9,6 ± 0,8	9	6 ± 1	18	7,6 ± 0,5	6
	CRSU	10,9 ± 0,4	3	7,5 ± 0,8	11	8,0 ± 0,8	11
	ECO	9,9 ± 0,9	9	7,4 ± 0,6	8	8,2 ± 0,4	6
	B. 100	9,5 ± 0,7	8	7,3 ± 0,6	9	7,8 ± 0,7	9
Óleo Essencial (L ha ⁻¹)	Solo	11,3 ± 0,9	8	7 ± 2	33	9,4 ± 0,4	4
	CRSU	12,9 ± 0,4	3	8 ± 1	18	10 ± 1	10
	ECO	12,0 ± 0,6	5	8,2 ± 0,9	10	9,4 ± 0,8	8
	B. 100	11,1± 0,8	7	8,3 ± 0,9	11	9,2 ± 0,6	6
Teor % (m/m)	Solo	1,6 ± 0,1	9	1,0 ± 0,2	18	1,26 ± 0,08	7
	CRSU	1,81 ± 0,06	3	1,2 ± 0,1	11	1,3 ± 0,1	11
	ECO	1,6 ± 0,2	9	1,2 ± 0,1	8	1,35 ± 0,07	6
	B. 100	1,6 ± 0,1	8	1,2 ± 0,1	9	1,3 ± 0,1	8
Mirceno (g kg ⁻¹)	Solo	0,9 ± 0,6	66	0,6 ± 0,2	32	0,70 ± 0,01	5
	CRSU	1,3 ± 0,8	66	0,8 ± 0,2	25	1,2 ± 0,1	4
	ECO	0,9 ± 0,7	75	0,8 ± 0,2	25	1,3 ± 0,2	13
	B. 100	0,9 ± 0,8	90	0,9 ± 0,1	6	1,2 ± 0,1	5
Citral (A+B) (g kg ⁻¹)	Solo	9,1 ± 3,1	34	4,5 ± 0,9	20	5,2±0,6	11
	CRSU	11,1 ± 3,0	27	6,2 ± 0,7	12	8,9±1,1	12
	ECO	9,4 ± 2,9	31	7,0 ± 0,6	8	8,6±1,0	11
	B. 100	9,6 ± 1,7	18	7,0 ± 0,9	13	8,4±0,3	3

CV: Coeficiente de variação, ECO®: Ecosolo®, CRSU: composto de resíduo sólidos urbanos, B.100: Boletim 100.

Tabela 12: Valores médios de nitrogênio total, fósforo total, potássio, enxofre e boro na matéria seca de *Cymbopogon citratus* em relação aos manejos e tratamentos.

Parâmetros	Tratamentos	Manejos					
		120 dias		240 dias		Rebrota 120 dias	
		Média	CV	Média	CV	Média	CV
N (g kg ⁻¹)	Solo	9 ± 1	12	9,8 ± 0,3	3	11,9 ± 0,4	3
	CRSU	10 ± 1	11	12,1 ± 0,8	7	11,6 ± 0,8	7
	ECOSOLO®	9,5 ± 0,2	2	11,0 ± 0,4	4	12,2 ± 0,5	4
	Boletim 100	8,3 ± 0,6	7	11 ± 1	10	12,2 ± 0,3	2
P (g kg ⁻¹)	Solo	0,21 ± 0,04	20	1,15 ± 0,05	4	0,48 ± 0,06	12
	CRSU	0,38 ± 0,03	8	1,59 ± 0,07	4	0,8 ± 0,2	18
	ECOSOLO®	0,43 ± 0,05	11	0,6 ± 0,2	42	0,4 ± 0,1	21
	Boletim 100	0,44 ± 0,04	8	0,5 ± 0,3	62	0,6 ± 0,2	26
K (g kg ⁻¹)	Solo	17 ± 1	7	15 ± 4	28	15 ± 2	16
	CRSU	18 ± 5	26	14 ± 6	41	17 ± 7	40
	ECOSOLO®	20 ± 1	5	19 ± 4	18	15 ± 3	21
	Boletim 100	19 ± 2	12	14 ± 4	31	17 ± 5	30
S (g kg ⁻¹)	Solo	0,75 ± 0,01	1	0,9 ± 0,2	18	1,4 ± 0,2	18
	CRSU	1,03 ± 0,03	3	0,7 ± 0,3	44	0,9 ± 0,4	50
	ECOSOLO®	0,97 ± 0,03	3	1,0 ± 0,3	32	1,4 ± 0,5	38
	Boletim 100	0,94 ± 0,04	5	1,2 ± 0,3	25	1,0 ± 0,2	18
B (mg kg ⁻¹)	Solo	12 ± 4	36	14 ± 2	16	16 ± 1	7
	CRSU	15 ± 5	31	17 ± 2	14	18 ± 5	26
	ECOSOLO®	13 ± 2	18	15 ± 5	33	15 ± 3	22
	Boletim 100	13 ± 5	42	16 ± 3	16	16 ± 3	19

N: Nitrogênio, P: Fósforo, K: Potássio, S: enxofre e B: boro.

CV: Coeficiente de variação, CRSU: composto de resíduos sólidos urbanos.

Tabela 13: Valores médios de cálcio total, magnésio total, manganês, ferro, cobre, zinco, alumínio e crômio na matéria seca de *Cymbopogon citratus* em relação aos manejos e tratamentos.

Parâmetros	Tratamentos	Manejos					
		120 dias		240 dias		Rebrota 120 dias	
		Média	CV	Média	CV	Média	CV
Ca (g kg ⁻¹)	Solo	2,50 ± 0,03	1	2,06 ± 0,06	3	2,39 ± 0,04	2
	CRSU	4,5 ± 0,3	6	3,23 ± 0,08	2	3,1 ± 0,2	6
	ECOSOLO®	3,29 ± 0,07	2	2,25 ± 0,03	1	3,7 ± 0,2	4
	Boletim 100	3,32 ± 0,08	2	2,29 ± 0,06	3	2,45 ± 0,09	4
Mg (g kg ⁻¹)	Solo	1,39 ± 0,04	3	1,35 ± 0,03	2	1,46 ± 0,01	< 1
	CRSU	1,44 ± 0,04	2	1,05 ± 0,03	3	1,34 ± 0,02	2
	ECOSOLO®	1,38 ± 0,02	1	1,14 ± 0,04	3	1,60 ± 0,03	2
	Boletim 100	1,86 ± 0,05	3	1,43 ± 0,03	2	1,53 ± 0,03	2
Mn (mg kg ⁻¹)	Solo	127 ± 5	4	100 ± 6	6	108 ± 1	<1
	CRSU	93 ± 2	2	64 ± 3	5	76 ± 1	2
	ECOSOLO®	108 ± 2	2	82 ± 2	3	93 ± 4	4
	Boletim 100	136 ± 10	7	105 ± 2	2	98 ± 2	2
Fe (mg kg ⁻¹)	Solo	369 ± 25	7	367 ± 60	16	288 ± 33	12
	CRSU	619 ± 60	10	394 ± 64	16	243 ± 54	22
	ECOSOLO®	625 ± 74	12	417 ± 82	20	410 ± 86	21
	Boletim 100	617 ± 151	24	478 ± 101	21	257 ± 34	13
Cu (mg kg ⁻¹)	Solo	10,0 ± 0,6	6	2,1 ± 0,2	8	2,34 ± 0,02	1
	CRSU	10,0 ± 0,2	2	4,7 ± 0,2	4	1,95 ± 0,08	4
	ECOSOLO®	13,0 ± 0,7	6	1,67 ± 0,03	2	2,87 ± 0,07	2
	Boletim 100	9,2 ± 0,2	2	2,35 ± 0,03	1	2,6 ± 0,02	6
Zn (mg kg ⁻¹)	Solo	23,6 ± 0,3	1	14,0 ± 0,3	2	12,4 ± 0,6	4
	CRSU	25 ± 1	4	13,0 ± 0,3	2	16,2 ± 0,4	2
	ECOSOLO®	24,5 ± 0,2	1	10,9 ± 0,4	4	34 ± 2	7
	Boletim 100	20,8 ± 0,3	1	10,7 ± 0,4	3	10,3 ± 0,4	4
Al (mg kg ⁻¹)	Solo	375 ± 20	5	402 ± 29	7	314 ± 15	5
	CRSU	573 ± 28	5	438 ± 26	6	260 ± 12	5
	ECOSOLO®	627 ± 20	3	427 ± 9	2	450 ± 34	7
	Boletim 100	628 ± 56	9	448 ± 29	6	295 ± 16	5
Cr (mg kg ⁻¹)	Solo	3,25 ± 0,3	9	1,1 ± 0,1	11	2,0 ± 0,2	10
	CRSU	2,81 ± 0,04	2	1,0 ± 0,1	10	0,40 ± 0,03	8
	ECOSOLO®	2,4 ± 0,1	6	0,42 ± 0,02	5	0,58 ± 0,04	7
	Boletim 100	3,0 ± 0,2	5	0,63 ± 0,03	4	0,31 ± 0,04	12

Ca: cálcio, Mg: magnésio, Mn: manganês, Fe: ferro, Cu: cobre, Zn: zinco, Al: alumínio, Cr: crômio, CV: Coeficiente de variação e CRSU: composto de resíduo sólidos urbanos.

Nas Tabelas 14 a 16 estão apresentadas as médias e o teste estatístico de Tukey para cada tratamento no cultivo de *Cymbopogon citratus*.

Tabela 14: Valores médios, com tratamento estatístico, da matéria fresca, matéria seca, rendimento vegetal, massa, volume e teor de óleo essencial, mirceno e citral produzido por *Cymbopogon citratus* em relação aos manejos e aos tratamentos.

Parâmetros	Manejos			Tratamentos			
	120 dias	240 dias	R. 120dias	Solo	CRSU	ECO	B.100
MF (kg ha ⁻¹)	5,82.10 ³ c	1,56.10 ⁴ a	8,20.10 ³ b	1,04.10 ⁴ a	1,08.10 ⁴ a	7,34.10 ³ a	1,03.10 ⁴ a
MS (kg ha ⁻¹)	1,38.10 ³ b	5,21.10 ³ a	2,45.10 ³ b	3,07.10 ³ a	3,20.10 ³ a	2,89.10 ³ a	2,89.10 ³ a
Rendimento (%)	23,8 b	30,9 a	30,5 a	28,9 ab	29,2 a	28,5 ab	27,1 b
OE (kg ha ⁻¹)	10,0 a	7,05 c	7,91b	7,74 b	8,83 a	8,49 ab	8,23 ab
OE (L ha ⁻¹)	11,8 a	7,99 c	9,47 b	9,34 a	10,3 a	9,84 a	9,57 a
Teor (%)	1,65 a	1,16 c	1,30 b	1,28 b	1,46 a	1,40 ab	1,36 ab
Mir (g kg ⁻¹)	0,991 a	0,790 a	1,11 a	0,757 a	1,10 a	0,995 a	1,01 a
Citral (A+B) (g kg ⁻¹)	9,80 a	6,18 c	7,80 b	6,25 b	8,76 a	8,33 a	8,36 a

MF:matéria Fresca, MS: Matéria Seca, OE: Óleo essencial, Mir: Mirceno, R.120 dias: Rebrotar aos 120 dias de cultivo após a primeira coleta, CRSU: composto de resíduo sólidos urbanos, ECO: composto ECOSOLO®, B100: Boletim 100.

As médias seguidas por letras distintas diferem entre si, na linha, no teste de Tukey 5% de probabilidade.

Tabela 15: Valores médios, com tratamento estatístico, de nitrogênio total, fósforo total, potássio, enxofre e boro na matéria seca de *Cymbopogon citratus* em relação aos manejos e tratamentos.

Parâmetros	Manejos			Tratamentos			
	120 dias	240 dias	R. 120dias	Solo	CRSU	ECO	B.100
N (g kg ⁻¹)	9,03 c	11,0 b	12,0 a	10,1 b	11,2 a	10,9 ab	10,6 ab
P (g kg ⁻¹)	0,366 c	0,957 a	0,594 b	0,614 b	0,939 a	0,496 b	0,508 b
K (g kg ⁻¹)	18,4 a	15,5 a	16,0 a	15,6 a	16,4 a	17,9 a	16,6a
S (g kg ⁻¹)	0,901 a	0,950 a	1,15 a	1,00 a	0,884 a	1,11 a	1,03 a
B (mg kg ⁻¹)	13,2 a	15,7 a	16,2 a	13,9 a	16,7 a	14,6 a	15,0 a

N: Nitrogênio, P: Fósforo, K: Potássio, S: enxofre, R.120 dias: Rebrotar aos 120 dias de cultivo após a primeira coleta, B: boro, CRSU: composto de resíduos sólidos urbanos, ECO: composto ECOSOLO®, B100: Boletim 100.

As médias seguidas por letras distintas diferem entre si, na linha, no teste de Tukey 5% de probabilidade.

Tabela 16: Valores médios, com tratamento estatístico, cálcio total, magnésio total, manganês, ferro, cobre, zinco, alumínio e crômio na matéria seca de *Cymbopogon citratus* em relação aos manejos e tratamentos.

Parâmetros	Manejos			Tratamentos			
	120 dias	240 dias	R. 120dias	Solo	CRSU	ECO	B.100
Ca (g kg ⁻¹)	3,41 a	2,45 c	2,90 b	2,31 d	3,62 a	3,07 b	2,68 c
Mg (g kg ⁻¹)	1,52 a	1,25 c	1,48 b	1,40 b	1,27 c	1,36 b	1,62 a
Mn (mg kg ⁻¹)	116 a	87,6 c	93,8 b	112 a	94,1 b	77,8 c	114 a
Fe (mg kg ⁻¹)	558 a	414 b	306 c	342 b	427 ab	485 a	451 a
Cu (mg kg ⁻¹)	10,5 a	2,69 b	2,42 c	4,80 b	5,56 a	5,82 a	4,70 b
Zn (mg kg ⁻¹)	23,6 a	12,2 c	18,2 b	16,6 c	18,1 b	23,1 a	13,9 d
Al (mg kg ⁻¹)	552 a	429 b	330 c	364 d	424 c	502 a	458 b
Cr (mg kg ⁻¹)	2,85 a	0,78 b	0,82 b	2,10 a	1,39 b	1,32 b	1,12 c

Ca: cálcio, Mg: magnésio, Mn: manganês, Fe: ferro, Cu: cobre, Zn: zinco, Al: alumínio, Cr: crômio, CV: Coeficiente de variação e CRSU: composto de resíduo sólidos urbanos. As médias seguidas por letras distintas diferem entre si, na linha, no teste de Tukey 5% de probabilidade.

Na Tabela 17 estão apresentados os valores médios, desvio padrão e os coeficientes de variação, para o amônio e nitrato de acordo com o tratamento e a época de coleta.

Tabela 17: Concentração média de Nitrato e Amônio em amostras coletadas no início do experimento (0 dia) ao término (270 dias).

Época (Dias)	Tratamentos	Concentração em g kg ⁻¹			
		NH ₄ ⁺	CV	NO ₃ ⁻	CV
0	Solo	0,04 ± 0,02	50	0,12 ± 0,07	<1
	CRSU	0,15 ± 0,02	13	0,16 ± 0,07	<1
	Ecosolo®	0,08 ± 0,02	25	0,27 ± 0,07	<1
	Boletim 100	0,02 ± 0,01	50	0,310 ± 0,002	<1
90	Solo	0,02 ± 0,01	50	0,35 ± 0,07	<1
	CRSU	0,03 ± 0,02	67	0,8 ± 0,07	8
	Ecosolo®	0,06 ± 0,03	50	0,45 ± 0,07	<1
	Boletim 100	0,40 ± 0,05	12,5	0,12 ± 0,07	<1
180	Solo	0,02 ± 0,01	50	0,12 ± 0,07	<1
	CRSU	0,04 ± 0,0	<1	0,120 ± 0,001	<1
	Ecosolo®	0,02 ± 0,01	50	0,08 ± 0,07	87
	Boletim 100	0,02 ± 0,01	50	0,07 ± 0,04	57
270	Solo	0,04 ± 0,04	100	0,21 ± 0,07	<1
	CRSU	0,02 ± 0,02	100	0,120 ± 0,001	<1
	Ecosolo®	0,02 ± 0,02	100	0,130 ± 0,001	<1
	Boletim 100	0,06 ± 0,02	33	0,21 ± 0,07	<1

CRSU: Composto de resíduos sólidos urbanos. NQ: Não quantificado
 Todas as amostras foram analisadas em 3 replicatas.

Na Tabela 18 estão apresentados os valores médios, desvio padrão e os coeficientes de variação, para os tipos de fósforo de acordo com o tratamento e a época de coleta.

Tabela 18: Resultados (mg de P/g de solo) das extrações sequenciais de fósforo para os 4 tratamentos nas 4 épocas de coleta. Média $\pm$ desvio padrão.

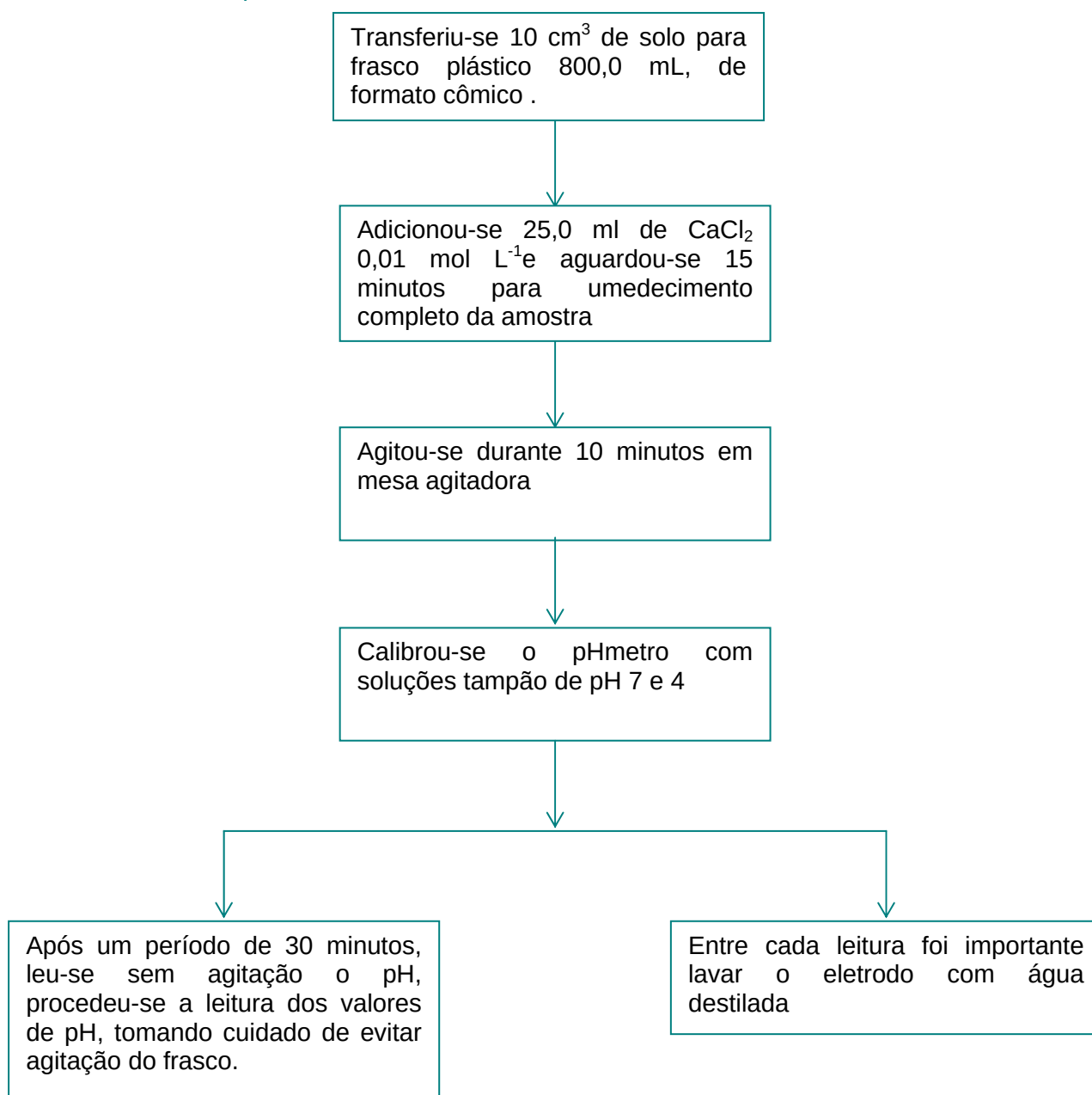
Época (Dias)	Tratamentos	Concentração em mg g ⁻¹					
		P disp.	CV	P - Fe e Al	CV	P-Org.	CV
0	Solo	7 $\pm$ 1	13	0,2 $\pm$ 0,1	50	68,8 $\pm$ 0,5	<1
	CRSU	62 $\pm$ 1	2	0,29 $\pm$ 0,05	17	72,2 $\pm$ 0,6	<1
	Ecosolo®	52 $\pm$ 3	5	2,35 $\pm$ 0,06	3	71,2 $\pm$ 0,8	1
	Boletim 100	26 $\pm$ 1	3	0,24 $\pm$ 0,02	8	71,3 $\pm$ 0,2	<1
90	Solo	6,38 $\pm$ 0,09	<1	0,20 $\pm$ 0,07	35	53,3 $\pm$ 0,6	1
	CRSU	40 $\pm$ 3	7	0,26 $\pm$ 0,01	4	52,9 $\pm$ 0,7	1
	Ecosolo®	25,8 $\pm$ 0,5	2	0,29 $\pm$ 0,02	7	54,7 $\pm$ 0,7	1
	Boletim 100	24,2 $\pm$ 0,3	1	0,27 $\pm$ 0,01	4	51 $\pm$ 1	2
180	Solo	6,60 $\pm$ 0,07	1	2,42 $\pm$ 0,07	3	21,1 $\pm$ 0,9	4
	CRSU	49 $\pm$ 4	8	5,4 $\pm$ 0,2	4	22,4 $\pm$ 0,5	2
	Ecosolo®	11,2 $\pm$ 0,8	7	12,1 $\pm$ 0,7	6	22,2 $\pm$ 0,8	4
	Boletim 100	11,3 $\pm$ 0,2	2	1,43 $\pm$ 0,04	3	23,2 $\pm$ 0,7	3
270	Solo	4,4 $\pm$ 0,1	2	0,30 $\pm$ 0,04	13	17,4 $\pm$ 0,3	2
	CRSU	40 $\pm$ 2	5	0,31 $\pm$ 0,02	6	17,5 $\pm$ 0,2	1
	Ecosolo®	18,3 $\pm$ 0,4	2	0,31 $\pm$ 0,03	10	17,0 $\pm$ 0,2	1
	Boletim 100	8,6 $\pm$ 0,4	5	0,24 $\pm$ 0,02	8	16,9 $\pm$ 0,2	1

CRSU: solo + Composto de Resíduos sólidos Araras-SP, Ecosolo®: solo + composto Ecosolo®, Boletim 100: solo + recomendações do Boletim 100. P- disp.: Fósforo disponível, P-Fe e Al: Fósforo ligado aos óxidos de ferro e alumínio, P-org.: fósforo ligado a matéria orgânica e CV: coeficiente de variação. Todas as amostras foram analisadas em 3 replicatas.

ANEXO II

Procedimento das análises de solo, segundo metodologia preconizada por RAIJ *et. al.*⁶¹

1.1. pH



1.2. Acidez Potencial

Retomou-se a suspensão em que foi determinado o pH em CaCl_2 $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ e adicionou-se exatamente 5,0 mL de tampão



Agitou-se a 220 rpm durante 15 minutos deixou-se repousar durante 1 hora.



Procedeu-se a leitura de pH como especificado no item 1.1. “

1.3 Matéria Orgânica

