

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
ESCOLA DE ENGENHARIA INDUSTRIAL METALÚRGICA DE VOLTA REDONDA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL

JÚLIA VALE D'AVILA

DESENVOLVIMENTO DE CAPIM-LIMÃO (*Cymbopogon citratus* DC. Stapf) COM
DOSES DE COMPOSTO ORGÂNICO ORIUNDO DE LODO DE ESGOTO URBANO
E PRODUÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL

VOLTA REDONDA - RJ
2015

JÚLIA VALE D'AVILA

DESENVOLVIMENTO DE CAPIM-LIMÃO (*Cymbopogon citratus* DC. Stapf) COM DOSES DE COMPOSTO ORGÂNICO ORIUNDO DE LODO DE ESGOTO URBANO E PRODUÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

ORIENTADORA: Prof^a. D. Sc. Ana Paula Martinazzo
CO-RIENTADORA: Prof^a. D. Sc. Fabiana Soares dos Santos
CO-RIENTADOR: Prof. D. Sc. Carlos Eduardo de Souza Teodoro

Volta Redonda - RJ
2015

D245 D'Avila, Júlia Vale.

Desenvolvimento de capim-limão (*Cymbopogon citratus* DC. Stapf) com doses de composto orgânico oriundo de lodo de esgoto urbano e produção de óleo essencial. / Julia Vale D'Avila. – Volta Redonda, 2015.

71 f. il.

Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) –
Universidade Federal Fluminense.

Orientador: Ana Paula Martinazzo.

Coorientadores: Fabiana Soares dos Santos, Carlos Eduardo de
Souza Teodoro

1. Resíduos. 2. Poda urbana. 3. Compostagem. 4. Nutrição mineral. I.
Martinazzo, Ana Paula. II. Santos, Fabiana Soares dos.
III. Teodoro, Carlos Eduardo de Souza. IV. Título.

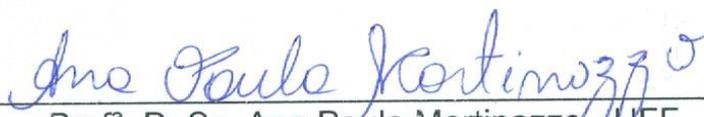
CDD 630

JÚLIA VALE D'AVILA

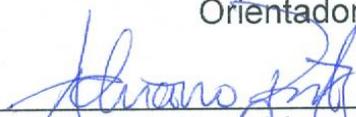
**DESENVOLVIMENTO DE CAPIM-LIMÃO (*Cymbopogon citratus* DC. Stapf) COM
DOSES DE COMPOSTO ORGÂNICO ORIUNDO DE LODO DE ESGOTO URBANO
E PRODUÇÃO DE ÓLEO ESSENCIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

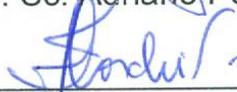
BANCA EXAMINADORA



Prof^a. D. Sc. Ana Paula Martinazzo - UFF
Orientadora



Prof. D. Sc. Adriano Portz - UFF



Prof. D. Sc. Ordovaldo Francisco Cordeiro da Silva - IFRJ

Volta Redonda – RJ
2015

DEDICATÓRIA

Dedico esta conquista aos meus pais, Vera e Francisco, e minha irmã, Luísa, pelo inalterável e incondicional apoio e amor que não se encontram em qualquer outro lugar.

E ao meu noivo, Gabriel, dedico as palavras, as linhas, os pontos finais, vírgulas, acentos e o resto, enfim, o todo. Pois sem ti este trabalho não existiria e o verbo amar não teria o mesmo sentido.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por sua constante presença em todas as fases da minha vida. A Universidade Federal Fluminense, e em especial a Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda, por ter sido uma segunda casa onde este projeto teve vida. A FAPERJ pelo apoio dado através da concessão da bolsa de mestrado. A minha orientadora, Ana Paula Martinazzo, pela dedicação, incentivo, paciência, confiança, e por diversas vezes acertar meu rumo quando me senti perdida. Aos meus co-orientadores, Fabiana Soares dos Santos e Carlos Eduardo de Souza Teodoro, pela dedicação e contribuições imprescindíveis que tornaram o desafio desse projeto possível. Ao professor Adriano Portz por toda paciência e generosidade ao dividir comigo seu vasto conhecimento. A todos os professores, funcionários e colegas do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental pela presença indispensável nesta jornada. Ao meu amigo, Luiz Carlos, por ser parte desse projeto, auxiliando, confortando, se dedicando, incentivando, facilitando, enfim dividindo comigo parte dessa jornada, e por toda a amizade que sei que levarei comigo para sempre. Formamos uma ótima dupla de trabalho. Ao técnico Alexandre por toda sua ajuda que fizeram com que essa realização fosse mais leve, não só fisicamente, mas também pela presença da sua amizade. As minhas amigas conquistadas no programa, Tatiane e Marcela, pela troca de informações, ideias e conhecimentos, e por dividirem comigo esta fase e tornarem com sua presença os dias pesados mais alegres. A todas as minhas amigas da vida, em especial a Laís e Gabriela, por serem parte do meu apoio, por me escutarem, entenderem e incentivarem nessa caminhada. Vocês são pessoas especiais, raríssimas, que me fazem mais feliz e estarão marcadas sempre dentro de mim. Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

*“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos
não é senão uma gota de água no mar.
Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”*

Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

O aproveitamento de resíduos tem apresentado uma grande importância na busca da minimização dos problemas ambientais. Verifica-se que nas áreas urbanas, um dos principais agentes poluidores de águas são os esgotos, que na maioria das vezes são lançados diretamente em corpos hídricos. Porém, com o devido tratamento deste, consegue-se com que haja o retorno aos mananciais com um grau de pureza satisfatório, mas ainda há a geração de um resíduo poluente através deste tratamento, o chamado lodo de esgoto. Uma das opções para destinação deste lodo é a sua utilização na agricultura devido ao seu alto teor de matéria orgânica e nutrientes. Desta forma, o presente trabalho teve como objetivo geral o aproveitamento de lodo de esgoto para o cultivo de capim-limão (*Cymbopogon citratus* DC. Stapf) e produção de óleo essencial. Diferentes proporções de composto orgânico, formado pelo lodo de esgoto e por resíduos de poda urbana, foram utilizados em diferentes doses (5, 10, 20, 40 e 60 t.ha⁻¹) mais a testemunha, e foram analisadas as características de fertilidade do composto e do solo que foi cultivado, o rendimento, teor e componentes do óleo produzido, a qualidade microbiológica da planta, o teor de clorofila e os nutrientes finais do solo e da planta. Ao final do período de 6 meses de cultivo, as plantas foram coletadas e analisadas. A adição do composto orgânico aumentou os teores de nutrientes importantes para o desenvolvimento da cultura, tanto no solo de cultivo quanto na planta, principalmente o nitrogênio (N), e isto influenciou positivamente a produção de perfilhos, biomassa fresca e seca, clorofila nas plantas e o rendimento e teor do óleo essencial. Porém observou-se que o composto orgânico não tem influência direta nos componentes químicos do óleo. Para o estudo microbiológico conclui-se que o capim-limão produzido se encontrou dentro das normas estabelecidas pela ANVISA sobre padrões microbiológicos para alimentos. Concluindo-se assim que o composto produzido a partir da utilização de lodo de esgoto e resíduos vegetais trouxe benefícios para o desenvolvimento e produção de óleo essencial do capim-limão.

Palavras-chave: resíduos; poda urbana; compostagem; nutrição mineral.

ABSTRACT

The waste recovery has shown a great importance in the pursuit of minimizing environmental problems. It is found that in urban areas, one of the main pollutants of water is sewage, which most often are released directly into water bodies. However, with the proper treatment of this, it is possible that there is a return to the sources with a satisfactory degree of purity, but there are still generating a polluting waste through this treatment, called sewage sludge. One of the options for disposal of this sludge is used in agriculture due to its high content of organic matter and nutrients. Thus, this study aimed to the sewage sludge utilization for the lemon grass cultivation (*Cymbopogon citratus* DC. Stapf) and essential oil production. Different proportions of organic compound formed by sewage sludge and waste urban pruning, were used in different doses (5, 10, 20, 40 and 60 t ha⁻¹) plus the control, and fertility characteristics were analyzed and the compound was cultivated soil, the yield strength of the produced oil components and the microbiological quality of the plant, chlorophyll content and the final soil nutrients and plant. At the end of 6 months of cultivation, the plants were collected and analyzed. The addition of the organic compound to increase the levels of important nutrients for crop development, both in soil and in plant cultivation, particularly nitrogen (N), and that positively influence the production of tillers, fresh and dry biomass, chlorophyll in the plants and the yield and essential oil content. However, it was observed that the organic compound has no direct influence on the chemical components of the oil. For microbiological study concluded that the lemongrass produced met within the standards set by ANVISA on microbiological standards for food. In conclusion is thus that the compound produced from the use of plant waste and sewage sludge has benefited from the development and production of essential oil of lemongrass

Key-words: waste; urban pruning; composting; mineral nutrition.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Composição básica do esgoto doméstico, f. 18
- Figura 2 – *Cymbopogon citratus* DC. Stapf, f. 25
- Figura 3 – Estrutura dos isômeros formadores do principal constituinte do óleo essencial do capim-limão, f. 26
- Figura 4 – Estrutura química do mirceno, f. 27
- Figura 5 – Visão da casa de vegetação na época do cultivo, (a) no dia do plantio e (b) no dia da colheita, f.31
- Figura 6 – Kit 1-2 test da empresa Biocontrol® para análise de *Salmonella* sp. após a incubação, f. 39
- Figura 7 – Kit para detecção de coliformes totais, sendo (a) a figura que demonstra a coloração quando não há a contaminação, e (b) com algumas cavidades contaminadas devido à mudança de coloração, f. 40
- Figura 8 – Médias da clorofila A (A), clorofila B (B), carotenóides (C), e clorofila total (D) de capim-limão cultivado com diferentes doses de composto orgânico oriundo de lodo de esgoto, f. 43
- Figura 9 – Médias do número de perfilhos (A), da biomassa fresca (B) e da biomassa seca (C) de capim-limão cultivado com diferentes doses de composto orgânico oriundo de lodo de esgoto, f.45
- Figura 10 – Médias dos teores dos nutrientes nitrogênio (A), potássio (B), cálcio (C) e magnésio (D) para as folhas do capim-limão cultivado com diferentes doses de composto orgânico oriundo de lodo de esgoto, f. 51
- Figura 11 – Médias do rendimento de óleo (A) e do teor do mesmo (B) para o capim-limão cultivado com diferentes doses de composto orgânico oriundo de lodo de esgoto, f. 54
- Figura 12 – Médias do rendimento do componente mirceno do óleo essencial do capim-limão cultivado com diferentes doses de composto orgânico oriundo de lodo de esgoto, f. 57

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 – Parâmetros necessários para caracterização do lodo de esgoto segundo a Resolução CONAMA nº 375/2006, f. 20
- Tabela 2 – Características químicas do solo de cultivo, f. 28
- Tabela 3 – Concentração de nutrientes no composto orgânico, f. 30
- Tabela 4 – Quantificação do pH e dos nutrientes Ca, Mg, Al, P, K, Na e N, além dos valores de H+Al, S, T e V encontrados para cada dose do composto aplicado na produção de capim-limão, f. 47
- Tabela 5 – Principais componentes do óleo essencial de folhas de *Cymbopogon citratus*, determinados por CG-EM, f. 56
- Tabela 6 – Análise de correlação entre as variáveis estudadas pelo teste de Pearson a 1% de significância pelo software SAEG[®], f. 60

SUMÁRIO	PÁGINA
1 INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVOS.....	18
2.1 OBJETIVO GERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1 LODO DE ESGOTO.....	19
3.1.1 Compostagem.....	22
3.1.2 Microbiologia do lodo de esgoto.....	23
3.2 ÓLEO ESSENCIAL.....	24
3.3 <i>Cymbopogon citratus</i> DC. Stapf.....	25
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
4.1 SOLO DE CULTIVO.....	29
4.2 COMPOSTO ORGÂNICO.....	30
4.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ESTATÍSTICO.....	31
4.4 PRODUÇÃO DE BIOMASSA E CONTAGEM DE PERFILHOS.....	33
4.5 DETERMINAÇÃO CLOROFILA.....	33
4.6 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E DO COMPOSTO ORGÂNICO.....	33
4.6.1 pH em água.....	34
4.6.2 Alumínio, cálcio e magnésio trocáveis.....	34
4.6.3 Valor Hidrogênio + Alumínio.....	34
4.6.4 Fósforo assimilável, potássio e sódio trocáveis.....	35
4.6.5 Capacidade de troca de cátions, soma de bases trocáveis e índice de saturação de bases.....	35
4.6.6 Nitrogênio total.....	36
4.6.7 Fósforo total.....	36
4.6.8 Potássio total.....	36
4.6.9 Cálcio e magnésio total.....	37

4.6.10 Carbono orgânico.....	37
4.7 DETERMINAÇÃO DOS MACRONUTRIENTES DA PLANTA	37
4.8 TEOR DE ÁGUA.....	37
4.9 ANÁLISE DO ÓLEO ESSENCIAL.....	38
4.9.1 Extração do óleo essencial	38
4.9.2 Análise dos constituintes do óleo essencial	39
4.10 MICROBIOLOGIA DA PLANTA	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
5.1 AVALIAÇÃO DA CLOROFILA	42
5.2 AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA E PERFILHAMENTO	45
5.3 AVALIAÇÃO DE NUTRIENTES NO SOLO APÓS COLHEITA.....	48
5.4 AVALIAÇÃO DOS NUTRIENTES DO VEGETAL	50
5.5 AVALIAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL	54
5.6 MICROBIOLOGIA DO VEGETAL	59
5.7 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS	61
6 CONCLUSÃO	63
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

A preservação ambiental é atualmente uma preocupação mundial. O relacionamento da humanidade com a natureza, que teve início com um mínimo de interferência nos ecossistemas, tem hoje uma forte pressão exercida sobre os recursos naturais, culminando em vários impactos socioambientais.

Com o surgimento de novas tecnologias, o crescimento no número de indústrias, o aumento populacional em centros urbanos e a diversificação do consumo de bens e serviços, houve um acréscimo demasiado na produção de resíduos. O incremento na geração e, conseqüentemente, na destinação inadequada de resíduos sólidos se torna um real sinônimo dos ditos impactos ambientais, que acaba por se tornar um grave problema urbano, com gerenciamento oneroso e complexo (FEDRIZZI, 2012).

Nas áreas urbanas, pode-se citar como um dos principais agentes poluidores de águas, os esgotos, que na maioria das vezes são lançados diretamente em corpos hídricos. Após o tratamento dado nas estações de tratamento de esgoto (ETEs), a água retorna aos mananciais com bom grau de pureza, no entanto, diversos projetos de ETEs não contemplam o destino final do resíduo semi-sólido que é produzido neste processo, o lodo de esgoto (ANDREOLI, 2001; BETTIOL e CAMARGO, 2006).

Segundo a Resolução CONAMA nº 375/2006 o lodo de esgoto pode ser considerado como sendo um resíduo gerado nos processos de tratamento de esgoto sanitário. E de acordo com Bettiol e Camargo (2006) este tem características de um resíduo semi-sólido, pastoso e de natureza predominantemente orgânica, com alto potencial de poluição e que quando não disposto corretamente acaba por anular parcialmente os benefícios de coleta e tratamento de efluentes.

O principal efeito poluidor do lodo de esgoto está relacionado com a grande quantidade de matéria orgânica que este possui. Quando este entra em contato com um curso d'água, acarreta um decréscimo do teor de oxigênio dissolvido naquele meio, devido à grande respiração de todos os microrganismos que serão necessários para degradar a matéria orgânica existente, fazendo com que não haja oxigênio suficiente para os demais seres vivos do meio (VON SPERLING, 2005).

Além da poluição advinda do alto teor de matéria orgânica, outras características do lodo são indesejáveis do ponto de vista sanitário e ambiental que são os seus níveis de microrganismos e metais pesados. A presença de microrganismos é indesejada em função dos possíveis males que podem ser causados, como o risco à saúde humana e animal, devido ao longo tempo da sobrevivência de alguns microrganismos no meio externo. Já os metais pesados são vistos principalmente como um empecilho para o aproveitamento do lodo em processos produtivos, além da possível contaminação de solo e água (SILVA et al., 2001; FEDRIZZI, 2012).

Sendo assim, diante de todo o potencial poluidor que pode ser atribuído ao lodo de esgoto, torna-se necessário o desenvolvimento de alternativas seguras e factíveis para que esse resíduo não se transforme em um problema de caráter nocivo à saúde e ao meio ambiente. Segundo Bettiol e Camargo (2006), entre as possíveis alternativas de destinação dada ao lodo, tem se aplicado a deposição em aterros sanitários ou mesmo a sua incineração, entretanto, estas são alternativas de alto custo que ainda podem gerar algum tipo de passivo ambiental.

Uma melhor opção para destinação desse lodo pode ser encontrada em diversos trabalhos científicos, e esta já está prevista na legislação brasileira, através da Resolução CONAMA nº 375/2006, que é a sua aplicação no solo para cultivo agrícola devido ao seu alto teor de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas. Diversos estudos vêm mostrando aumentos na produção de matéria seca e grãos por espécies de interesse agrônômico cultivadas em solos tratados com lodo de esgoto (DA ROS et al., 1991; MELO et al., 1994; BERTON et al., 1997). Em alguns casos, os aumentos são equiparáveis ou superiores aos obtidos com a adubação mineral recomendada para a cultura (DA ROS et al., 1991; OLIVEIRA et al., 1995; SILVA et al., 2001). Logo, o lodo de esgoto pode ser uma alternativa de fonte de nutrientes para diminuir os custos de produção, aumentando assim os lucros dos produtores.

Um fator que constitui uma limitação no uso do lodo na agricultura é a presença de metais pesados entre os seus componentes, esses metais podem expressar potencial poluente diretamente nos organismos do solo, pela disponibilidade às plantas em níveis fitotóxicos, além da possibilidade de transferência para a cadeia alimentar por meio das próprias plantas ou pela contaminação das águas de superfície e subsuperfície (BACKES et al., 2009).

Porém, alguns estudos realizados apontam que os níveis de metais pesados encontrados nesse material, quando de fonte doméstica, mostram-se abaixo dos níveis críticos restritivos para a utilização agrícola, o que permite aplicação ao solo dentro de limitações toleráveis de impacto ambiental (SILVA et al., 2002; NASCIMENTO et al., 2004; LOPES et al., 2005).

Outro fator limitante é o alta quantidade de microrganismos encontrada no lodo de esgoto, isso porém é facilmente resolvido através da estabilização deste lodo, que tem por fim atenuar duas características indesejáveis desse resíduo, que é o odor e o conteúdo de patógenos. Um meio prático de estabilização deste resíduo é através da compostagem. A compostagem pode ser definida como um processo de biooxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico heterogêneo, em estado sólido, caracterizado pela produção de CO₂, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável (ANDREOLI, 2001; MELO et al., 2001; SANTOS, 2009).

Segundo Bettioli e Camargo (2006) em discussões sobre a utilização do lodo de esgoto em solos, os efeitos sobre o ambiente e a saúde pública vem se destacando no cenário internacional. No Brasil, além destas mesmas, discussões para o estabelecimento de normas de utilização vêm ocorrendo de forma crescente. Desta forma, há a necessidade de ampliação dos conhecimentos sobre os possíveis efeitos para introdução desta tecnologia em diversas culturas, até as que terão contato direto com o ser humano. Entre elas a que é o objeto de estudo do presente trabalho, a do *Cymbopogon Citratus* DC. Stapf (capim-limão), que está dentro das culturas que são focadas na produção de óleo essencial.

O termo óleo essencial é empregado para designar líquidos oleosos, voláteis, dotados de aroma forte, quase sempre agradável, extraídos de plantas através de algum tipo de processo. Sendo que entre eles o mais utilizado é o de hidrodestilação por arraste de vapor de água (CRAVEIRO et al., 1981; SILVA et al., 1995). Estes óleos são misturas aromáticas ou terpênicas complexas, com muitos constituintes naturais, contendo diferentes proporções de ésteres, éteres, álcoois, fenóis, aldeídos, cetonas e hidrocarbonetos (POVH, 2000; SIMÕES et al., 2003).

A variedade de uso dos óleos essenciais e seus componentes é muito vasta no setor industrial. Sendo a espécie *C. citratus* amplamente utilizada para fins medicinais, sobretudo na forma de chá, tendo seu uso e aplicação nas indústrias farmacêuticas, alimentícias, de cosméticos e perfumaria, devido ao seu óleo

essencial (LORENZI e MATOS, 2002). Segundo Bakkali et al. (2008) já foram constatadas atividades sedativa, depressora do sistema nervoso central, analgésica, antimicrobiana e fungistática. Sendo este empregado como aromatizante de ambiente e, principalmente, como material de partida para síntese da Vitamina A (ROGERS, 1981; ONAWUNMI et al., 1984; LORENZETTI et al., 1991; MISHRA e DUBEY, 1994; LORENZI e MATOS, 2002).

Deste modo, a realização de pesquisas no sentido de viabilizar o aproveitamento do lodo de esgoto para o uso na agricultura, focando no cultivo do capim-limão e na produção de seu óleo essencial, se justifica pela necessidade de disposição adequada deste resíduo evitando um possível impacto ambiental, e pelo fato do lodo ser uma valiosa fonte de matéria orgânica e de nutrientes que se pode disponibilizar para o vegetal em sua adição ao solo, bem como na necessidade de maiores estudos que compreendam diferentes espécies vegetais para avaliação dos diferentes efeitos do lodo de esgoto.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a produção da espécie *Cymbopogon citratus* DC. Stapf (capim-limão) cultivada em substrato formado pela mistura de solo com diferentes doses de composto orgânico obtido a partir da combinação de lodo de esgoto e resíduos de poda proveniente de plantas da conservação de ruas e terrenos urbanos.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para os ensaios experimentais realizados objetivou-se:

- Caracterizar a composição química do composto orgânico e do solo que foram utilizados no plantio;
- Avaliar o teor de clorofila das folhas antes da colheita;
- Avaliar a produção de biomassa seca, fresca e o perfilhamento da planta;
- Avaliar os macronutrientes encontrados no solo e no vegetal após o cultivo relacionando-os com os que foram adicionados através do uso do composto orgânico.
- Avaliar a quantidade e qualidade do óleo essencial produzido relacionando os diferentes tratamentos adicionados ao solo de composto;
- Avaliar a qualidade microbiológica das folhas do vegetal produzido;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 LODO DE ESGOTO

A crescente demanda da sociedade pela manutenção e melhoria das condições ambientais tem exigido atividades que sejam capazes de compartilhar o desenvolvimento com as limitações da exploração dos recursos naturais. Dentre os recursos, os hídricos, que até a geração passada eram considerados fartos, tornaram-se limitantes e comprometidos, em virtude da alta poluição em algumas regiões, necessitando, portanto, de rápida recuperação. Nessas condições, há a necessidade de se tratarem os esgotos, nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs), pois são os principais poluidores dos mananciais. Entretanto, este tratamento acaba por gerar um lodo, que na maioria dos projetos não define o seu destino final (BETTIOL e CAMARGO, 2006).

O lodo de esgoto é um resíduo de composição predominantemente orgânica, obtido ao final do processo de tratamento de águas servidas à população. Sua destinação racional se faz necessária diante dos problemas ambientais que podem ser causados pelo seu acúmulo (OLIVEIRA et al., 1995). A Figura 1 apresenta a composição básica média de esgoto domiciliar, encontrado nas estações de tratamento.

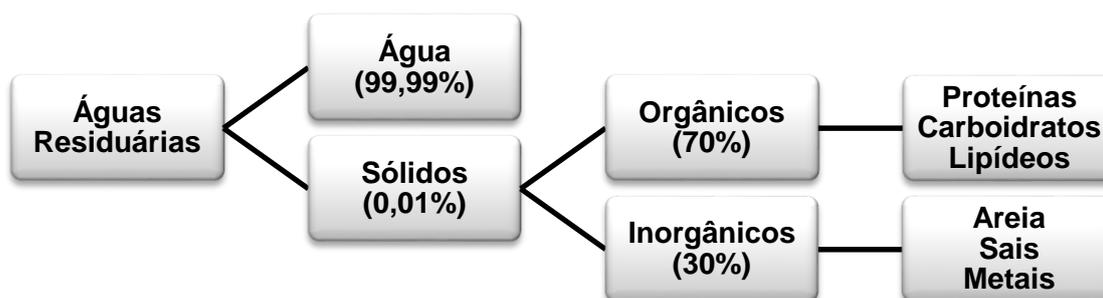


Figura 1 – Composição básica do esgoto doméstico.

Fonte – Adaptado de Bettiol e Camargo, 2006.

A composição do esgoto é variável de acordo com o processo utilizado na estação de tratamento de esgoto, origem e época do ano, mas em média pode-se observar que 99,99% do esgoto doméstico é constituído de água e 0,01% de sólidos. A parte sólida é constituída de 70% de substâncias orgânicas, como as

proteínas, carboidratos e gorduras e 30% de substâncias inorgânicas, constituídas principalmente por diversos tipos de sais e areia (BERTON et al., 2010).

O lodo de forma geral, pode ser caracterizado como um resíduo semi-sólido, pastoso e de natureza predominantemente orgânica, que tem um alto potencial de poluição e que quando não disposto corretamente acaba por anular parcialmente os benefícios de coleta e tratamento de efluentes (BETTIOL e CAMARGO, 2006). Ele contém considerável percentual de matéria orgânica e elementos essenciais às plantas, podendo substituir, ainda que parcialmente, os fertilizantes minerais, desempenhando importante papel na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo (NOGUEIRA et al., 2008).

A composição do lodo de esgoto é muito variável, pois depende da sua origem, bem como do processo de tratamento do esgoto e do caráter sazonal. Segundo Melo et al. (1994) a composição do esgoto varia em função do local de origem, ou seja, se proveniente de uma área tipicamente residencial ou industrial, e da época do ano entre diversos outros fatores.

A elevada produção de lodo de esgoto, principalmente nos grandes centros urbanos, incentivou vários pesquisadores a intensificarem os estudos para utilização desses resíduos, para fins agrícolas sendo, a reciclagem, via utilização agronômica por meio da aplicação do lodo de esgoto no solo, apresenta-se como uma tendência mundial (LOPES et al., 2008).

Em função destas características, o lodo pode ser aproveitado como suplemento na agricultura, agregando para o solo, e para a cultura disposta no mesmo, a quantidade de nutrientes exigida. Porém, existem duas barreiras em sua composição que podem impedir o seu uso na agricultura: a quantidade de metais pesados e o alto nível microbiológico.

Para a questão dos metais pesados alguns estudos realizados mostram que os níveis de metais encontrados nesse material mostram-se abaixo dos níveis críticos restritivos para sua utilização agrícola, o que permite sua aplicação ao solo dentro de limitações toleráveis de impacto ambiental (SILVA et al., 2002; NASCIMENTO et al., 2004; LOPES et al., 2005).

Com relação ao nível microbiológico que pode contaminar o solo, vegetais e toda uma cadeia alimentar, segundo Andreoli (2001) este pode ser evitado seguindo um processo de compostagem, formando assim um composto orgânico contendo os nutrientes existentes no lodo que pode servir para sua aplicação agrícola.

Para que haja um maior controle em sua utilização existe na legislação brasileira a Resolução CONAMA nº 375/2006 que define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. Além de determinar como deve ser feita a frequência de monitoramento do lodo, os requisitos mínimos de qualidade do lodo ou de produto derivado do mesmo, as culturas aptas a receberem este, as restrições locacionais e aptidão do solo da área de aplicação, o projeto agrônomico e condições de uso, a aplicação, carregamento, transporte, estocagem, e o monitoramento das áreas de aplicação, entre outros.

Na Tabela 1 encontram-se todos os parâmetros que devem ser quantificados segundo a Resolução CONAMA nº 375/2006 para garantir que o lodo de esgoto encontra-se dentro do limite estabelecido pela legislação.

Tabela 1 – Parâmetros necessários para caracterização do lodo de esgoto segundo a Resolução CONAMA nº 375/2006.

Parâmetros para caracterização do lodo de esgoto		
1,2,3,4-Tetraclorobenzeno	Cobre	Porcentagem de sólidos
1,2,3,5-Tetraclorobenzeno	Coliformes Termotolerantes	Potássio
1,2,3-Triclorobenzeno	Cromo	Selênio
1,2,4,5-Tetraclorobenzeno	Dibutilftalato	Sódio
1,2,4-Triclorobenzeno	Dimetil Ftalato	Sólidos Totais
1,2-Diclorobenzeno	Enxofre	Sólidos Voláteis
1,3-Diclorobenzeno	Fósforo	Zinco
1,4-Diclorobenzeno	Lindano (g-HCH)	Benzo(a)antraceno
2,4,6-Triclorofenol	Magnésio	Benzo(a)pireno
1,3,5-Triclorobenzeno	Mercúrio	Benzo(k)fluoranteno
2,4-Diclorofenol	Molibdênio	Fenantreno
Arsênio	Níquel	Indenol(1,2,3,cd)pireno
Bário	Nitrato (como N)	Naftaleno
Di(2-etilhexil)ftalato	Nitrito (como N)	Cresóis Totais
Cádmio	Nitrogênio Amoniacal	<i>Salmonella</i>
Cálcio	Nitrogênio Total Kjeldahl	Umidade
Carbono orgânico total	Ovos viáveis de Helmintos	Pentaclorofenol
Chumbo	pH (suspensão a 5%)	

*Adaptado da Resolução CONAMA nº 375/2006.

3.1.1 Compostagem

A partir do momento que as estações de tratamento de esgoto purificam as águas em seu processo que serão lançadas em corpos receptores, elas acabam por concentrar a poluição, principalmente de microrganismos patógenos, no lodo de esgoto.

Uma das técnicas mais antigas empregadas no tratamento e na reciclagem de dejetos de forma geral é a chamada compostagem. Kiehl (1998) definiu compostagem como um processo controlado de decomposição microbiana de oxidação e oxigenação de uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido e úmido, que passa pelas seguintes fases: uma inicial e rápida de fitotoxicidade ou de composto cru ou imaturo, seguida da fase de semicura ou bioestabilização, para atingir finalmente a terceira fase, a cura, maturação ou mais tecnicamente, a humificação, acompanhada da mineralização de determinados componentes da matéria orgânica, quando se pode dar por encerrada a compostagem.

Pode-se justificar o emprego da compostagem pela facilidade de condução do processo e o seu baixo custo de desenvolvimento (ORRICO et al., 2007). Segundo Zhu (2007) ainda existem outras vantagens no processo de compostagem para ser destacadas como: reciclagem dos elementos com interesse, redução do volume inicial de resíduos, degradação de substâncias tóxicas e/ou patógenos e produção de energia de forma mais disponível.

Considerado assim como um sistema de reciclagem dos nutrientes, a compostagem tem o poder de acelerar a decomposição da matéria orgânica fazendo de forma controlada a mesma relação do que ocorreria no meio ambiente, melhorando assim as condições de atividade dos microrganismos (bactérias e fungos). Dentro desse processo, em uma de suas fases, denominada fase termofílica ativa, ocorre a proliferação de microrganismos exotérmicos, aumentando assim a temperatura da massa, que são efetivos quanto ao poder de destruição de patógenos e sementes de plantas daninhas. Outra vantagem desse processo passa a ser a capacidade de atender plenamente a crescente demanda por fertilizantes orgânicos por transformar resíduos orgânicos de diferentes origens em materiais relativamente estáveis (FIALHO et al. 2010).

O processo de compostagem deve ser dimensionado de forma que as características do produto final, tais como pH, teor de nitrogênio (N), teor de carbono orgânico (C-orgânico) e relação C:N, estejam dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira para fertilizantes orgânicos, com base na Instrução Normativa nº 25 de 23 de julho de 2009 do Ministério da Agricultura (ANVISA, 2009). Índices de eficiência da compostagem, como redução de massa, redução de volume e perda de nutrientes que ocorrem ao longo do processo, devem ser determinados visando estabelecer os coeficientes técnicos necessários para que esta técnica seja realizada de forma metódica.

Apesar das vantagens do processo, é comum observar, durante a compostagem de resíduos orgânicos, significativas perdas de nitrogênio devido ao desequilíbrio existente na relação C:N no material, requerendo assim a mistura de materiais com elevadas relações C:N, como palhadas diversas, serragens, entre outros (ORRICO JÚNIOR, 2003).

3.1.2 Microbiologia do lodo de esgoto

Uma das intenções do tratamento de esgoto doméstico é a remoção do material orgânico, que basicamente é feita por meio de processos biológicos, por serem estes naturais e, portanto, mais baratos e mais confiáveis do que outros. Em sistemas biológicos de tratamento de esgoto, normalmente as bactérias são as responsáveis pela degradação ou estabilização da matéria orgânica, sendo, em sua maioria, heterotróficas, o que significa que usam o material orgânico tanto como fonte de carbono quanto, como fonte de energia (BETTIOL e CAMARGO, 2006).

O lodo resultante dos sistemas de tratamento biológico de esgotos é constituído em boa parte por bactérias vivas. Como a eficiência dos processos biológicos está ligada à quantidade de células vivas atuantes, os sistemas de tratamento mantêm o afluente em um meio rico em lodo. Sendo ele, matéria-prima para os processos de tratamento biológico de esgotos e seu excesso passa a ser considerado um resíduo (ANDREOLI, 2001).

Neste resíduo, chamado lodo, pode-se encontrar em sua composição diversos patógenos dependendo de sua origem. Os patógenos mais comuns que podem ser encontrados são os coliformes, salmonela e helmintos, esses microrganismos são passíveis de eliminação através de processos de estabilização

do lodo. Por isso, se faz necessário o monitoramento constante do lodo para que sua disposição seja feita de forma correta. Quando o lodo é usado na agricultura sem um controle de seus contaminantes, estes podem se transpor para o vegetal tornando o mesmo impróprio para o consumo humano, podendo também modificar a atividade microbiana do solo (SANTOS, 2009).

Os coliformes de forma geral podem ser caracterizados como um grupo de bactérias gram negativas, não formadoras de esporos, anaeróbios facultativas, resistentes a agentes surfactantes e fermentadoras de lactose, podendo ser tanto bactérias originárias do trato gastrintestinal humano ou outros animais de sangue quente. A presença de alguns tipos de coliformes em alimentos pode indicar contaminação fecal, direta ou indireta, que pode ser proveniente da falta de higiene durante o processamento ou através de águas poluídas ou esgotos, desta forma colocando em risco a saúde pública (SILVA, 2002).

Já a *Salmonella* sp. é um microrganismo largamente disseminado na natureza, sendo seu principal habitat o trato intestinal de animais, como aves, répteis, pessoas, animais de granja e insetos, podendo também ser encontrada na água. E desta forma estando a água contaminada com este microrganismo, esta pode contaminar os alimentos que irão para o consumo humano causando surtos de doenças alimentares (ELPO et al., 2001).

Com isso, conforme o descrito, a eliminação e controle dos patógenos é considerada importante, visto que esses microrganismos podem possuir um tempo de sobrevivência relativamente elevado e podem causar muitos danos a saúde. Existe na legislação brasileira a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 12, de 2 de janeiro de 2001, do Ministério da Saúde (ANVISA, 2001), que estabelece os padrões microbiológicos sanitários e determina os critérios para a conclusão e interpretação dos resultados das análises microbiológicas de alimentos destinados ao consumo humano.

3.2 ÓLEO ESSENCIAL

O termo óleo essencial é empregado para designar líquidos oleosos voláteis dotados de aroma forte, quase sempre agradável, extraídos, de plantas por alguns processos específicos. Este termo se origina do fato que o aroma de uma planta ocorre nas glândulas ou entre as células em forma líquida, o qual, como os óleos graxos, são imiscíveis em água (RODRIGUES, 2002).

Os óleos essenciais são extraídos de plantas através da técnica de arraste a vapor, na grande maioria das vezes, e também pela prensagem do pericarpo de frutos cítricos. São compostos que não são completamente puros, mas constituídos principalmente pela mistura de monoterpenos, sesquiterpenos e de fenilpropanoides, metabólitos que conferem suas características organolépticas, contendo assim variadas proporções de ésteres, éteres, álcoois, fenóis, aldeídos, cetonas e hidrocarbonetos (POHV, 2000;BIZZO e REZENDE, 2009).

Flores, folhas, cascas, rizomas, raiz e frutos são matérias-primas para sua produção. Possuindo grande aplicação nas indústrias de perfumaria, cosméticas, alimentos e como coadjuvantes em medicamentos. São empregados principalmente como aromas, fragrâncias, fixadores de fragrâncias, em composições farmacêuticas e orais, e comercializados na sua forma bruta ou beneficiada, podendo fornecer substâncias purificadas como o limoneno, citral, citronelal, eugenol, mentol e safrol (CRAVEIRO e QUEIROZ, 1993).

Com relação ao mercado de óleos essenciais há inúmeros conglomerados internacionais que negociam os mesmos, sendo que os mais importantes empregando-os como matéria-prima para a produção de aromas e fragrâncias. O Brasil tem lugar de destaque na produção de óleos essenciais, ao lado da Índia, China e Indonésia, que são considerados os quatro grandes produtores mundiais. Esta posição deve-se aos óleos essenciais de origem cítricas, que são subprodutos da indústria de sucos, mas no país há também uma grande capacidade de produção desses óleos oriundos de outras fontes (BIZZO e REZENDE, 2009).

3.3 *Cymbopogon citratus* DC. Stapf

O *Cymbopogon citratus* DC. Stapf (Figura 2) é uma espécie originária da Índia e que foi largamente difundida por vários países, entre eles o Brasil, onde assume diferentes nomes populares conforme a região onde se encontra, como por exemplo, capim-limão (MG), capim-santo (BA), erva-cidreira (SP) e outros como capim-catinga, capim-de-cheiro, capim-cidrão, capim cidrilho, capim-cidró e capim-ciri. (COSTA et al., 2005).

Essa espécie se constitui em uma erva perene, que forma touceiras compactas e robustas de até 1,2 m de altura, com rizoma semi-subterrâneo, formada por folhas longas e flores raras e estéreis em nossas condições climáticas (COSTA

et al., 2005). Segundo Ortiz et al (2002), as condições ideais para seu desenvolvimento são calor e clima úmido com plena exposição solar e chuvas uniformemente distribuídas.



Figura 2 - *Cymbopogon citratus* DC. Stapf.

O gênero *Cymbopogon* da família *Poaceae* representa um importante gênero que conta com aproximadamente 120 espécies que crescem nas regiões tropicais e subtropicais do mundo. Entre os seus diversos usos se encontram a área farmacêutica, de cosméticos, alimentícia, e usos nas agroindústrias (HANAA et al., 2012).

No caso do capim-limão, além das demais áreas, ele também é aproveitado com finalidades agronômicas para composição de cercas-vivas e na contenção de encostas para evitar a erosão devido as suas características vegetais, mas a sua maior importância econômica reside mesmo na produção do seu óleo essencial que é rico em uma substância química chamada citral (COSTA et al., 2005). O citral trata-se de uma mistura de isômeros neral e geranial cujas estruturas se encontram na Figura 3.

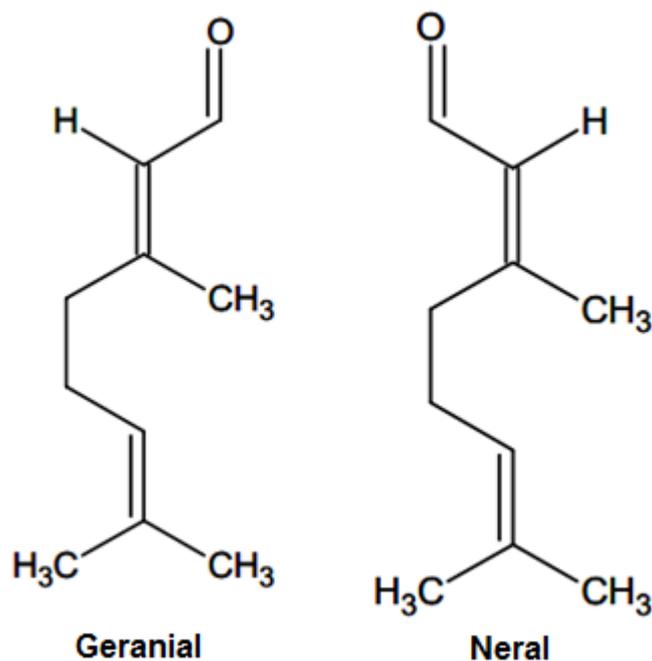


Figura 3 – Estrutura dos isômeros formadores do principal constituinte do óleo essencial do capim-limão.

Fonte – Porto, 2012.

Estudos demonstram que o uso do citral apresentou em órgãos isolados efeito antiespasmódico, tanto no tecido uterino como no intestinal, entretanto, não mostrou atividade sobre a musculatura esquelética e cardíaca (FERREIRA, 1984). Suas atividades antimicrobianas e antifúngicas foram comprovadas em cerca de 22 espécies de microrganismos, além de propriedade inseticida, principalmente efeito larvicida, como repelente de insetos (ONAWUNMI et al., 1984; SOUSA et al., 1991).

Além do citral o óleo essencial do capim-limão ainda contém outros componentes, entre eles destaca-se o mirceno (Figura 4) que é o componente responsável pela atividade analgésica do óleo. Além de outros componentes como: 3-metil-2-hopanona, 6-metil-5-hepten-ona, metil-heptenol, α -pineno, cafeno, β -pineno, limoneno, mentol, citronelol, citronelal, linalol, óxido de linalol, acetato de geranila, isovaliraldeído, n-decinaldeído, nerol, geraniol, farnesol e terpineol (SOUSA et al., 1991).

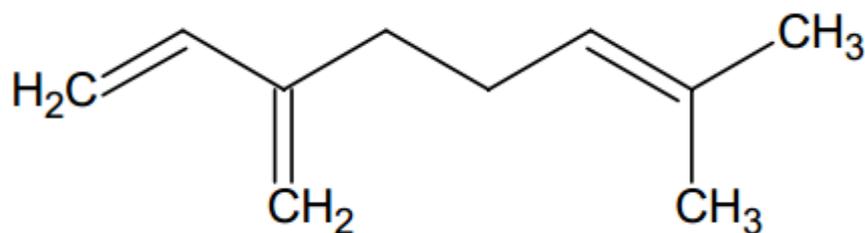


Figura 4 – Estrutura química do mirceno.

Fonte – Fujita, 2007.

Diferentes estudos, sobre o cultivo de capim-limão sob diversas condições vêm demonstrando uma variação sobre o rendimento do óleo essencial desta planta, onde podemos tomar como exemplos os valores encontrados no estudo Figueiredo et al. (2006) que foi o teor do óleo do capim em torno de 0,2% a 0,5%. Estes autores pesquisaram sobre o teor e a produção de óleo do capim-limão no cultivo em diferentes estações do ano, onde chegaram à conclusão de que a produção de óleo foi superior quando a coleta da planta ocorreu no período do verão devido a uma maior produção de biomassa. Porém, o teor do óleo se mostrou superior na época do inverno quando comparado com as demais estações.

Já Costa et al. (2008) em seu estudo que avaliou o efeito de diferentes tipos de adubos, como o lodo de esgoto, esterco bovino e estercão avícola, no teor do óleo do capim-limão, encontraram um resultado percentual superior ao estudo anteriormente citado, no qual o teor de óleo variou em torno de 1,6%, não havendo diferença significativa entre os diferentes tipos de adubos aplicados.

A produção e a composição química dos óleos essenciais são determinadas por fatores genéticos da planta, porém outros fatores podem acarretar alterações significativas nesta produção. Dentre estes fatores, podem-se ressaltar as interações planta com microrganismos, planta e insetos e entre plantas, idade e estágio de desenvolvimento, fatores abióticos como luminosidade, temperatura, pluviosidade, nutrição, época e horário de coleta, bem como técnicas de colheita e pós-colheita. Sendo ainda importante avaliar que estes fatores podem apresentar correlações entre si, não atuando isoladamente, podendo exercer influência conjunta no metabolismo do vegetal (LUPE, 2007; MORAIS, 2009).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 SOLO DE CULTIVO

O solo utilizado para o cultivo da espécie foi coletado no Instituto Federal do Rio de Janeiro (IFRJ) *campus* Pinheiral, classificado, segundo Instituição, como Planossolo háplico Tb, eutrófico típico, A moderado e de textura arenosa.

Para a coleta do solo que foi utilizado no experimento, inicialmente retirou-se a camada superficial do mesmo e em seguida coletou-se amostras até 20 cm de profundidade. Após a coleta, o mesmo foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira de malha de 2 mm e submetido a análises laboratoriais visando sua caracterização para posterior comparação. Na Tabela 2 são apresentados os resultados da análise de fertilidade do solo em que foi feito o cultivo do capim-limão e a comparação e quantificação com os dados interpretados por Freire (2013).

Tabela 2 – Características químicas do solo de cultivo.

Variáveis analisadas	Quantificação	Interpretação (Freire, 2013)
pH em água	6,09	Moderadamente ácido
Ca trocável	2,30 Cmol _c .dm ⁻³	Médio
Mg trocável	1,10 Cmol _c .dm ⁻³	Médio
Al trocável	0,10 Cmol _c .dm ⁻³	Baixo
P assimilável	3,61 ppm	Baixo
K trocável	0,03 Cmol _c .dm ⁻³	Baixo
Na trocável	0,00 Cmol _c .dm ⁻³	Baixo
N total	2 g.kg ⁻¹	Baixo
C orgânico	9,9 g.kg ⁻¹	Baixo

Por meio da análise de fertilidade do solo, pôde-se chegar à conclusão de que o mesmo encontrava-se pobre quanto a diversos nutrientes que são imprescindíveis para o cultivo de vegetais. Logo com isso se justifica a aplicação do composto orgânico a base de lodo de esgoto.

Além da aplicação do composto orgânico também foram necessárias aplicações de adubos minerais, que foram o cloreto de potássio (KCl) e o

superfosfato simples, para suplementar o fósforo e potássio que também não conseguiriam ser suficientes no composto. Estas doses foram aplicadas na mesma quantidade para todos os tratamentos, sendo 30 kg.ha⁻¹ do superfosfato e 60 kg.ha⁻¹ do cloreto de potássio. Elas foram adicionadas da mesma forma e quantidade em todos os tratamentos para não influenciar na comparação dos dados em relação ao composto. Nestes adubos encontram-se os teores de seus principais componentes ativos de aproximadamente 30% de P₂O₅ para o superfosfato simples e de aproximadamente o teor de 60% de K₂O para o adubo cloreto de potássio.

4.2 COMPOSTO ORGÂNICO

O composto orgânico utilizado foi proveniente da compostagem de uma mistura de lodo de esgoto seco com a poda urbana seca (oriunda da conservação de ruas e terrenos urbanos, composta basicamente de madeira, folhas de árvores e grama), na proporção 19:1 (lodo de esgoto: poda urbana), realizada no do SAAE (Sistema Autônomo de Água e Esgoto) na unidade de Santa Cruz no município de Volta Redonda / RJ, onde já existe o projeto de formação deste composto para utilização em pesquisas. O lodo existente neste composto foi derivado de coleta feita no final do período do inverno, e o mesmo é proveniente de área residencial.

Para uma melhor caracterização do composto e cálculo das dosagens que foram utilizadas nos diferentes tratamentos abordados foi feita uma análise para identificação e quantificação dos nutrientes utilizando as metodologias de Bloise et al. (1979) e Tedesco et al. (1995). Na Tabela 3 encontram-se os dados obtidos para os macronutrientes mais o pH que foram analisados no composto orgânico mostrando assim sua riqueza em nutrientes essenciais para o cultivo de espécies vegetais.

Tabela 3 – Concentração de nutrientes no composto orgânico.

Variáveis analisadas	Quantificação
pH	5,49
Ca total	12,9 g.kg ⁻¹
Mg total	11,9 g.kg ⁻¹
P total	9,2 g.kg ⁻¹
K total	2,2 g.kg ⁻¹
N total	28,0 g.kg ⁻¹
C orgânico	149,1 g.kg ⁻¹

Em trabalhos anteriores também foram feitas as análises para caracterização dos demais componentes do lodo de esgoto utilizado neste trabalho conforme o que é previsto pela resolução CONAMA nº 375/2006 que podem ser visto na Tabela 1. O resultado dessa caracterização demonstrou que, exceto para os padrões microbiológicos de *Salmonella* sp. e coliformes totais, o lodo de esgoto encontrava-se abaixo dos limites críticos exigidos por esta resolução.

4.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ESTATÍSTICO

Os ensaios foram conduzidos em casa de vegetação onde foram utilizados recipientes de plástico de cinco litros para a montagem dos ensaios experimentais, para a avaliação dos efeitos das diferentes doses de composto na produção de capim limão. Foram estudadas cinco doses diferentes do composto orgânico, 5, 10, 20, 40 e 60 t.ha⁻¹, mais a testemunha, denominada dose 0. Sendo que as doses foram determinadas de acordo com a quantidade de nitrogênio total existente tanto no composto quanto no solo. Desta forma o composto foi misturado ao solo, com três repetições para cada tratamento, obtendo assim um total de 18 unidades experimentais.

Todo o material vegetal para obtenção das mudas da espécie *Cymbopogon citratus* foi adquirido de cultivo doméstico na região sul fluminense para o qual houve a separação e uniformização dos perfilhos para enraizamento em bandejas de areia estéril. Para garantia de uma uniformização das mudas, os perfilhos foram separados com aproximadamente 6 cm de comprimento e de pelo menos 0,5 cm de diâmetro com massas semelhantes.

Após o enraizamento as mudas foram transferidas para fase de cultivo em casa de vegetação, pertencente ao Departamento de Engenharia de Agronegócios, que fica localizada no Pólo Universitário de Volta Redonda *campus* Aterrado da Universidade Federal Fluminense (UFF), obtendo-se assim ao final todo o material vegetal utilizado na pesquisa.

As mudas foram dispostas de forma aleatória com a mistura do solo e a respectiva dose do composto orgânico. Na Figura 5 pode-se ver a disposição de algumas plantas no dia do plantio (a) e no dia da colheita (b).



Figura 5 – Visão da casa de vegetação na época do cultivo, (a) no dia do plantio e (b) no dia da colheita.

Os tratamentos de produção de plantas a partir do composto foram dispostos em delineamento inteiramente casualizado. A fase de cultivo ocorreu de outubro de 2013 até abril de 2014 quando houve a colheita. Este cultivo foi feito na época de primavera/verão com temperaturas medidas diariamente, que ficaram entre 20 °C a média da mínima para o período e 40 °C a média da máxima para o período.

Para analisar o efeito dos fatores quantitativos foi utilizada análise de regressão. O critério para definição do modelo de regressão mais adequado considerará a análise de variância de regressão; o coeficiente de determinação e a significância dos parâmetros da regressão. Os fatores qualitativos foram avaliados por análise de variância e testes de comparação de médias. O softwares estatísticos utilizados para as análises foram o SISVAR versão 4.3[®] e o SAEG versão 9.1[®].

4.4 PRODUÇÃO DE BIOMASSA E CONTAGEM DE PERFILHOS

Durante a colheita, a produção foliar de cada planta foi separada e pesada em uma balança analítica para quantificação de sua biomassa fresca, e após realizada quantificação do teor de água dos tratamentos dados ao capim-limão, realizou-se o cálculo da biomassa seca para cada vaso. Na colheita foi feita a contagem manual dos perfilhos para cada vaso cultivado.

4.5 DETERMINAÇÃO CLOROFILA

No período de plantio houve também a determinação do teor total de clorofila que foi realizado um dia antes da colheita. A extração e quantificação dos teores de clorofila a, clorofila b e carotenóides foi realizada através da coleta de discos foliares e sua análise foi feita utilizando-se dimetilsulfóxido (DMSO) de acordo com Hiscox e Israelstam (1979). A quantificação foi realizada com base nas leituras espectrofotométricas a 750 nm (turbidez), 665 nm (clorofila a), 649 nm (clorofila b) e 480 nm (carotenóides). Os valores obtidos são expressos em concentração de pigmentos pela quantidade de extrato, pela área foliar, e por massa dos discos foliares através das equações propostas por Wellburn (1994).

4.6 CARACTERIZAÇÃO DO SOLO E DO COMPOSTO ORGÂNICO

Para caracterização do solo e do composto orgânico foram coletadas e homogeneizadas amostras de ambos e foram realizadas no Laboratório de Solo e Água da Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda da Universidade Federal Fluminense (EEIMVR/UFF).

As análises do pH, dos teores de cálcio, hidrogênio, magnésio, alumínio, potássio e sódio trocáveis, do fósforo assimilável, da capacidade de troca de cátions, da soma de bases trocáveis, do índice de saturação de bases, de carbono orgânico e nitrogênio total foram realizadas para o solo inicial e para o solo final do cultivo. E as análises dos macronutrientes totais, como o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, além da análise de carbono orgânico, foram realizadas para a caracterização do composto orgânico. Todos os procedimentos foram feitos com 3 repetições para fim de diminuição do erro experimental.

4.6.1 pH em água

A metodologia utilizada para determinação do pH bem como outras análises dos nutrientes foram adaptada de Bloise et al. (1979). A determinação foi feita em suspensão amostra-água, na proporção 1:2,5. Após o preparo da suspensão foi feita uma agitação seguida de repouso, por um período mínimo de 1 hora, e foi feita a leitura direta no potenciômetro.

4.6.2 Alumínio, cálcio e magnésio trocáveis

Para determinação do alumínio, cálcio e magnésio trocáveis fez se uma extração da amostra com uma solução constituída de tampão, cianeto de potássio e trietanolamina, e agitou-se em agitador circular horizontal, deixando-se decantar durante uma noite.

Para o cálcio e magnésio trocáveis foram colocadas em uma das alíquotas do extrato gotas do indicador Eriochrome Black T e foi realizada a titulação com EDTA (sal dissódico), onde houve a viragem do róseo para azul puro.

Já para o cálcio trocável foi pipetada outra alíquota do extrato obtido e houve o ataque de 1:10 da amostra com a solução de KCl. Foram adicionados KOH e uma pitada de murexida, ficando a solução com uma cor rósea. As amostras foram tituladas com EDTA (sal dissódico), onde se obteve a viragem do róseo para o violeta.

E por fim, para o alumínio trocável foi utilizada a última alíquota do extrato adicionando gotas do indicador Azul de Bromotimol e a titulação feita com NaOH, até que houvesse a viragem do amarelo para o verde.

4.6.3 Valor Hidrogênio + Alumínio

Para determinação do hidrogênio e alumínio foram medidos 5 mL da amostra e passados para erlenmeyer junto com CaOAc. Após esse procedimento as amostras foram arrolhadas imediatamente, e agitada algumas vezes durante o dia deixando decantar por uma noite. No dia seguinte foi pipetado o líquido sobrenadante, e a titulação foi realizada com NaOH usando fenolftaleína como

indicador. A titulação considerou-se completa quando o líquido, antes incolor, apresentou uma cor rósea que foi comparada com a cor obtida na titulação do ensaio em branco (BLOISE et al., 1979).

4.6.4 Fósforo assimilável, potássio e sódio trocáveis

Para a determinação do fósforo assimilável, e potássio e sódio trocáveis, colocou-se em um erlenmeyer na proporção 1:10 as amostras e a solução extratora de duplo ácido, e em seguida as amostras foram agitadas em agitador circular horizontal, deixando decantar durante a noite

No dia seguinte, sem filtrar, foram pipetados extrato da amostra (líquido sobrenadante) e juntou-se uma solução ácida de molibdato de amônio já diluído e uma pitada de ácido ascórbico. Levando ao agitador horizontal para completa homogeneização. Deixando desenvolver a cor durante 1 hora, e em seguida, a leitura da densidade ótica na escala logarítmica do fotocolorímetro (absorbância) foi medida, usando o filtro vermelho (comprimento de onda de 660 nm).

Já a determinação do sódio e potássio trocáveis foi feita por meio do fotômetro de chama. Para esta análise foi selecionado o filtro conveniente no fotômetro, calibrando o galvanômetro com água destilada e no meio da escala com uma solução padrão (BLOISE et al., 1979).

4.6.5 Capacidade de troca de cátions, soma de bases trocáveis e índice de saturação de bases

A soma de bases trocáveis (S) foi calculada através da soma das bases que foram encontradas nos passos anteriores, logo se dará pela Equação 1, sendo o resultado dado em $\text{Cmol}_c.\text{L}^{-1}$ (uma decimal).

$$S = \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++} + \text{K}^{+} + \text{Na}^{+} \quad (\text{Equação 1})$$

E a capacidade de troca de cátions (T) foi calculada pela Equação 2, onde há a soma das bases trocáveis mais o hidrogênio (H^{+}) e alumínio (H^{+++}), sendo o resultado dado em $\text{Cmol}_c.\text{L}^{-1}$ (uma decimal).

$$T = S + H^+ + Al^{+++} \quad (\text{Equação 2})$$

O índice de saturação de bases (V) foi calculado pela Equação 3, onde há a multiplicação de cem vezes o valor da soma de bases trocáveis, e a multiplicação pelo inverso da capacidade de troca de cátions.

$$V = (100 \times S) \times T^{-1} \quad (\text{Equação 3})$$

4.6.6 Nitrogênio total

Para determinação de nitrogênio total foi feita uma digestão utilizando ácido sulfúrico para retirada dos nutrientes de interesse da amostra. Após este procedimento as amostras foram transferidas para um frasco de destilação de 100 mL, e levadas para o destilador, onde com a coluna de água abaixada foram colocados 5 mL de NaOH a 10 M, então se levantou-se a coluna de água e ocorreu a destilação em 5 mL de indicador de ácido bórico. Após isso foram coletados de 35-40 mL do destilado e levado para titulação com H₂SO₄ a 0,025 M até que ocorresse a viragem do tom verde para o rosa (TEDESCO et al., 1995).

4.6.7 Fósforo total

Do extrato já preparado para o nitrogênio após a digestão das amostras foram pipetados 1 ml para copo plástico descartável e adicionados 2 ml de água destilada, mais 3 ml de solução de molibdato de amônio e 3 gotas de uma solução de ácido 1-amino-2-naftol-4-sulfônico. Após a adição dos reagentes as amostras foram agitadas por 15 minutos e foi feita a leitura em uma espectrofotômetro da densidade ótica na escala logarítmica do fotocolorímetro (absorbância), usando o filtro vermelho (comprimento de onda de 660 nm) (TEDESCO et al., 1995).

4.6.8 Potássio total

Para determinação do potássio total das amostras retirou-se 1 ml novamente do extrato anteriormente preparado através de digestão e adicionou-se mais 10 ml

de água destilada, determinando a emissão de luz em um aparelho de fotometria de chama (TEDESCO et al., 1995).

4.6.9 Cálcio e magnésio total

E finalmente para determinação do cálcio e magnésio total das amostras retirou-se 2,5 ml novamente do extrato anteriormente preparado através de digestão e transferiu-se para copos plásticos descartáveis. Adicionou-se 2,5 ml de água destilada e 5 ml de solução de estrôncio a 0,3% em HCl 0,2 M. Após a adição dos reagentes foram feitas as leituras em um fotômetro de absorção atômica e os resultados foram comparados com uma curva padrão previamente estabelecida (TEDESCO et al., 1995).

4.6.10 Carbono orgânico

Para determinação da quantidade de carbono orgânico existente no solo e no composto orgânico pegou-se amostras de aproximadamente 20 g trituradas e peneiradas e mediu-se utilizando o método volumétrico pelo dicromato de potássio e titulação com sulfato ferroso amoniacal (BLOISE et al., 1979).

4.7 DETERMINAÇÃO DOS MACRONUTRIENTES DA PLANTA

Para determinação dos macronutrientes na planta seguiu-se a metodologia de nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio e magnésio totais já descrita para o composto orgânico, porém, utilizou-se aproximadamente 0,200 g da amostra da planta para as análises.

Para que fosse possível analisar os macronutrientes na planta, após a colheita as folhas do capim-limão foram secas em uma estufa a 60 °C por 72 horas e moídas.

4.8 TEOR DE ÁGUA

O teor de umidade das folhas após a colheita foi realizado no Laboratório de Pós-colheita e Pré-processamento de Produtos Agrícolas da Escola de Engenharia

Industrial Metalúrgica de Volta Redonda da Universidade Federal Fluminense (EEIMVR/UFF). E determinado pelo método gravimétrico recomendado pela ASAE STANDARDS (2000), para forrageiras e plantas similares, utilizando-se 25 g de produto, em três repetições, em estufa com circulação forçada de ar a 103 ± 2 °C, durante 24 h.

4.9 ANÁLISE DO ÓLEO ESSENCIAL

Toda a análise do óleo essencial do capim-limão, tanto na fase de extração quanto na de determinação da composição, foi realizada no Laboratório de Pós-colheita e Pré-processamento de Produtos Agrícolas da Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda da Universidade Federal Fluminense (EEIMVR/UFF).

4.9.1 Extração do óleo essencial

A extração do óleo essencial foi feita por meio do método de hidrodestilação utilizando-se um aparelho Clevenger adaptado a um balão de 2000 mL, onde se colocou as amostras retiradas da espécie vegetal juntamente com 1000 mL de água destilada. Para esta extração foram utilizadas amostras de 90 g de capim-limão fresco. Para facilitar o processo de extração as folhas foram cortadas no sentido transversal a cada 2 cm. E o tempo de extração foi de aproximadamente 90 minutos, contados a partir do momento em que se inicia a ebulição (MARTINAZZO, 2006).

Após a obtenção do hidrolato (mistura de água e óleo), seguiu-se para o processo de separação do óleo essencial, com o solvente orgânico pentano (3 x 50 mL) em funil de separação. A fração orgânica obtida então foi tratada com sulfato de magnésio anidro em excesso para retirada da água ainda restante. E após alguns minutos em repouso, a solução foi filtrada e concentrada em evaporador rotativo a 40 °C até que ocorra uma redução expressiva no volume do solvente.

A fração restante foi transferida para um frasco de 5 mL e mantida em banho-maria à temperatura de 40 °C até que ocorra a evaporação total do solvente. Após esse processo a massa do óleo foi determinada em uma balança analítica e posteriormente comparada com a matéria seca do produto utilizado, e armazenada

em um ultrafreezer na temperatura de -80 °C para posteriores análises (MARTINAZZO, 2006).

4.9.2 Análise dos constituintes do óleo essencial

A cromatografia gasosa foi realizada com equipamento Shimadzu modelo CG-2010, com detector seletivo de massa, modelo com QP 2010 plus – EM. A coluna cromatográfica utilizada foi do tipo capilar de sílica fundida com fase estacionária DB- 5 de 0,25 µm de espessura, 30 m de comprimento e 0,25 mm de diâmetro interno.

Utilizou-se hélio como gás carreador a um fluxo de 1,0 mL/minuto. A temperatura foi de 220 °C no injetor e 240 °C no detector. A temperatura inicial do forno foi mantida a 60 °C por dois minutos, sendo programada para ter acréscimos de 3 °C a cada minuto até atingir a temperatura máxima de 240 °C, na qual foi mantida por mais 30 minutos fornecendo um tempo de análise de 91 minutos. A razão de split utilizada foi de 1:20 e o tempo de corte do solvente de 5 minutos. Foram detectados no espectrômetro de massas somente íons com a razão carga massa m/z entre 29 e 600. O volume da amostra injetado foi de 1 µL, na concentração de 10.000 ppm, utilizando como solvente o hexano.

A identificação dos compostos foi realizada por comparação dos espectros de massas obtidos com os do banco de dados do aparelho e pelo Índice de Retenção de Kovats (IK) de cada componente, determinada por meio da Equação 4 (LANÇAS, 1993), calculados utilizando-se uma mistura padrão de hidrocarbonetos os (C6 – C20) analisada no CG-EM, nas mesmas condições operacionais utilizadas nas amostras de óleo essencial . A análise quantitativa de cada componente do óleo essencial, expressa em porcentagem, foi realizada pelo método de normalização de integração de área dos picos, conforme descrito por ZHANG et al. (2006).

$$IK=100NC+100\left(\frac{\text{Log}t'_{RX}-\text{Log}t'_{RZ}}{\text{Log}t'_{R(Z+1)}-\text{Log}t'_{RZ}}\right) \quad (\text{Equação 4})$$

onde

IK – índice de Kovats;

NC – número de carbonos do hidrocarboneto imediatamente anterior ao componente avaliado;

t'_{RX} – tempo de retenção do componente avaliado;

t'_{RZ} – tempo de retenção do hidrocarboneto imediatamente anterior ao componente avaliado;

$t'_{R(Z+1)}$ – tempo de retenção do hidrocarboneto imediatamente posterior ao componente avaliado.

4.10 MICROBIOLOGIA DA PLANTA

A determinação da qualidade microbiológica das plantas foi realizada no Laboratório de Biotecnologia da Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda da Universidade Federal Fluminense (EEIMVR/UFF), onde foram realizadas análises microbiológicas do vegetal para *Salmonella sp.* e coliformes totais, visando determinar a qualidade microbiológica do capim-limão cultivado.

A análise de *Salmonella sp.* foi efetuada através do kit 1-2 Test (Figura 6) da empresa BioControl, que trata-se de um método rápido qualitativo para detecção das espécies móveis de *Salmonella* em alimentos aprovado pela Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 2005). As amostras foram submetidas a um pré-enriquecimento, onde foram adicionados 25 g de amostra do capim-limão em um erlenmeyer contendo 225 mL de caldo tripticase de soja (TSB). A solução obtida foi homogeneizada e incubada durante 24 h a 35 °C. Feito isso, foi transferido 0,1 mL dessa solução para a câmara de inoculação do kit. Posteriormente, o kit inoculado foi incubado por 14-30 horas a 35 °C.



Figura 6 - Kit 1-2 test da empresa Biocontrol® para análise de *Salmonella sp.* após a incubação.

Para a detecção e quantificação de coliformes totais foi utilizado o kit Simplate (Figura 7) desenvolvido pela empresa BioContro®. Trata-se de um método aprovado pela AOAC que equaciona a presença de Coliformes totais com a mudança de coloração do meio. Para o preparo da amostra foram pesados e adicionados 25 g de capim-limão em um erlenmeyer contendo 225 mL de solução tampão fosfato pH 7,0. A amostra foi homogeneizada passou a corresponder à diluição 10^{-1} . Para proceder o teste, o meio fornecido foi hidratado com 100 mL de água destilada estéril até dissolver todo o pó. E posteriormente, pipetado na placa Simplate 1 mL da amostra no centro da mesma e em seguida adicionados 9 mL do meio hidratado sobre a amostra. A placa foi tampada e o líquido espalhado, cuidadosamente com movimentos circulares sobre a bancada e o excesso removido, depois as placas foram incubadas na posição invertida a 35 °C durante 24 à 48 horas. Após a incubação, foram contados os coliformes totais através da quantidade de cavidades que apresentarem coloração diferente da inicial.

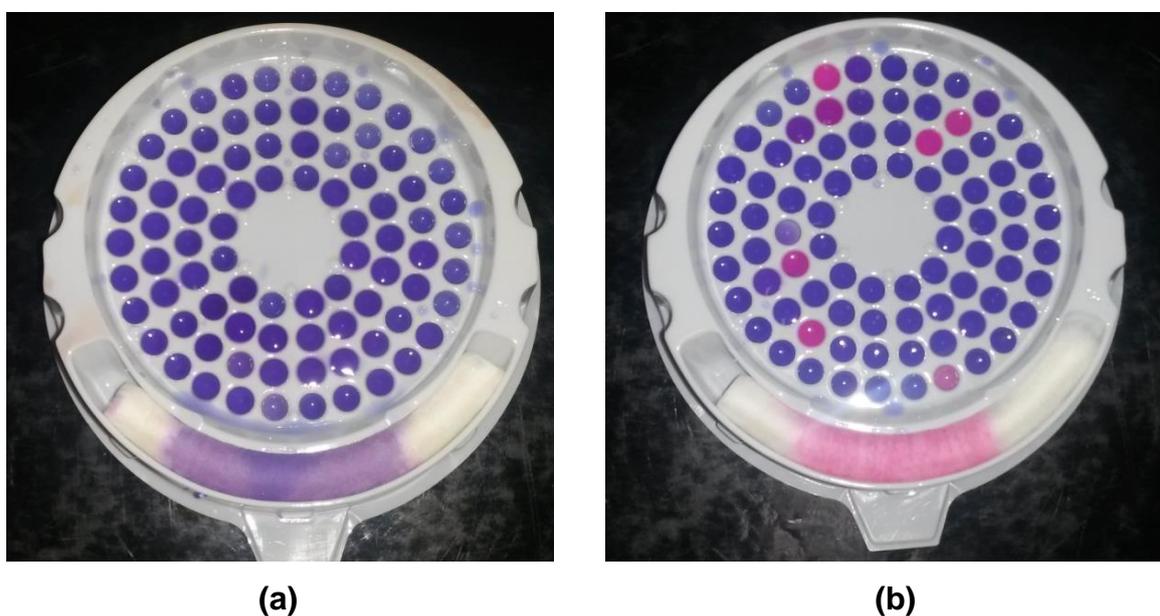


Figura 7 - Kit para detecção de coliformes totais, sendo (a) a figura que demonstra a coloração quando não há a contaminação, e (b) com algumas cavidades contaminadas devido à mudança de coloração.

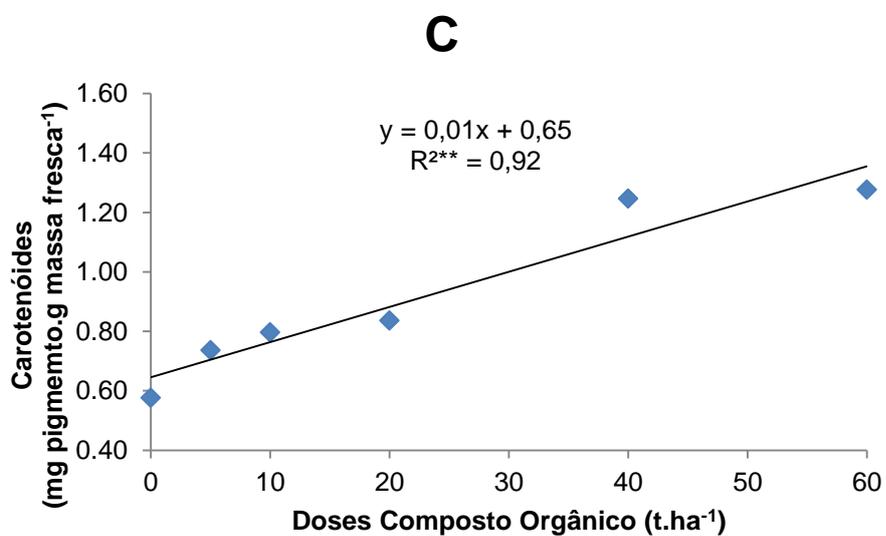
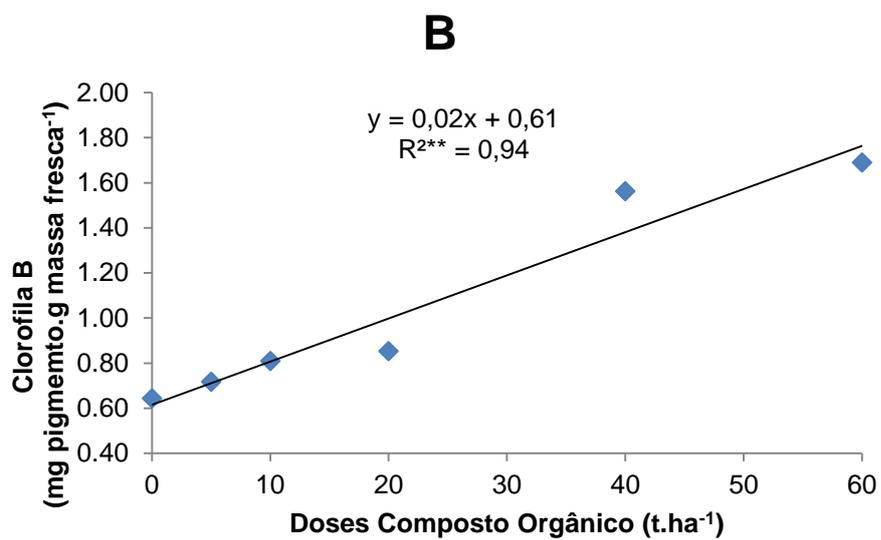
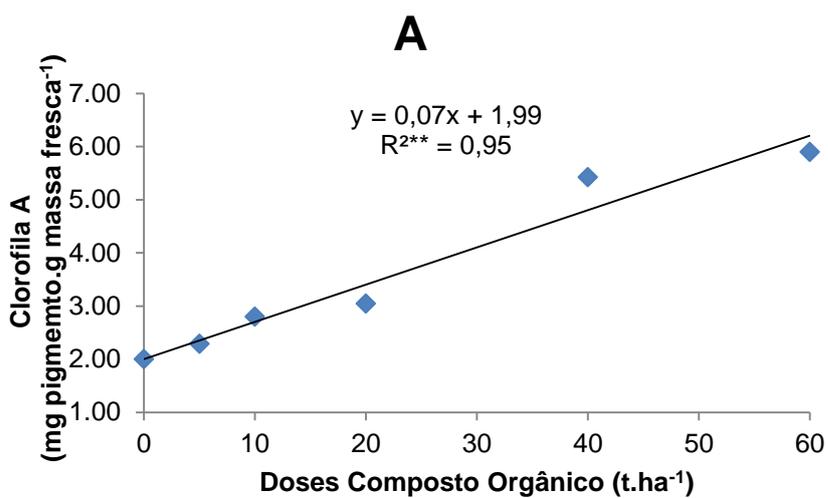
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 AVALIAÇÃO DA CLOROFILA

Um dos fatores ligados à eficiência fotossintética de plantas, e conseqüentemente, ao crescimento e adaptabilidade a diversos ambientes, é a clorofila, presente em todos os vegetais verdes. Ela pode ser caracterizada como o pigmento natural mais abundante encontrado nas plantas e ocorre nos cloroplastos das folhas e em outros tecidos vegetais (ENGEL e POGGIANI, 1991; STREIT et al., 2005).

Segundo Streit et al. (2005) os pigmentos fotossintéticos presentes e a sua abundância variam de acordo com a espécie do vegetal. A clorofila A está presente em todos os organismos que realizam a fotossíntese oxigênica, e é o pigmento utilizado para realizar o primeiro estágio do processo fotossintético, enquanto que os demais pigmentos auxiliam na absorção de luz e na transferência da energia radiante para os centros de reação, sendo assim chamados de pigmentos acessórios, como por exemplo, a clorofila B e os carotenóides.

A determinação da quantidade de pigmentos de clorofila total, A, B e carotenóides nas plantas cultivadas em cada tratamento foi realizada antes da colheita. Na Figura 8 estão demonstrados os dados relacionando a quantidade dos pigmentos ($\text{mg de pigmento} \cdot \text{g de massa fresca}^{-1}$) com as diferentes doses do lodo aplicadas ($\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$).



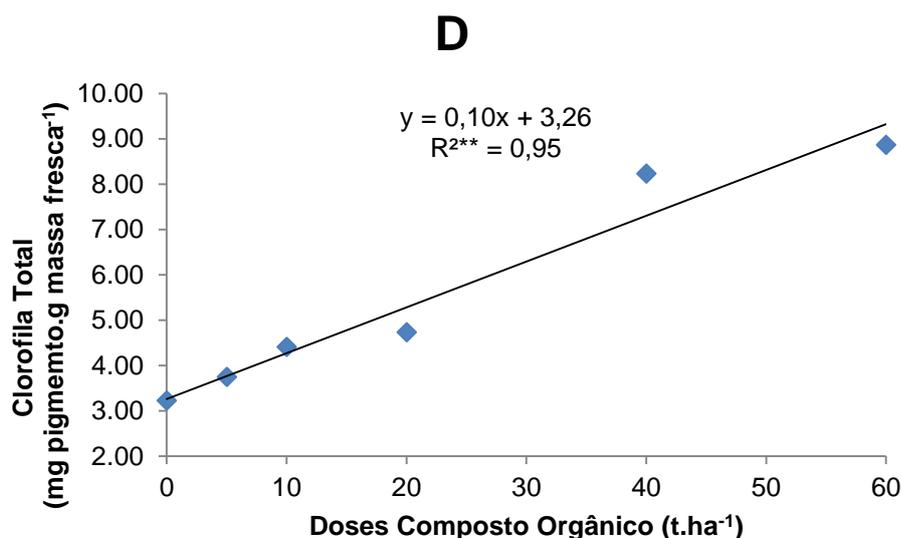


Figura 8 - Médias da clorofila A (A), clorofila B (B), carotenóides (C), e clorofila total (D) de capim-limão cultivado com diferentes doses de composto orgânico oriundo de lodo de esgoto.

**Dado pelo teste de regressão com um grau de 1% de significância.

Após a análise da Figura 8, tendo em vista o teste de regressão utilizado com 1% de significância, pode-se chegar à conclusão de que para os pigmentos estudados houve uma relação positiva e significativa com as doses aplicadas, visto que o comportamento de todos os modelos foram crescentes e lineares. Tais resultados demonstram que, com o aumento das doses do composto orgânico aplicado, houve também aumento na produção dos pigmentos pela planta, demonstrando assim que as plantas que obtiveram uma maior dose de composto obtiveram mais energia para utilização em seus processos metabólicos.

Segundo Streit et al. (2005) o pigmento carotenóide é um pigmento acessório que é influenciado pela suscetibilidade da planta a intensidade de luz, prevenindo a foto-oxidação das clorofilas, e conforme pode ser visualizado na Figura 8, este pigmento teve o mesmo comportamento dos demais, com tendência crescente conforme o acréscimo da dose aplicada, influenciando positivamente no resultado da clorofila total.

O mesmo resultado, de incremento na produção de clorofila com a utilização de composto a partir do lodo, foi encontrado por Trigueiro e Guerrini (2003) em seu estudo sobre o uso de bio-sólido, contendo lodo de esgoto, como substrato para produção de mudas de eucalipto (*Eucalyptus grandis*), e comprovaram que o teor de clorofila nas folhas das plantas foi significativamente maior nos tratamentos que

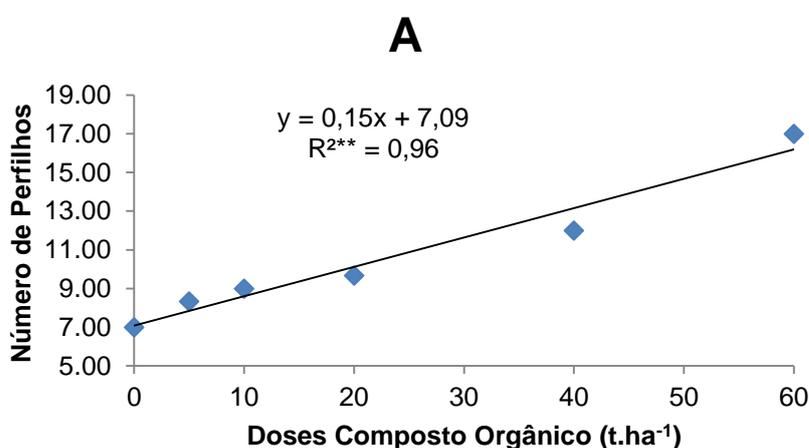
utilizaram o biossólido comparando-os com a testemunha a qual não continha o composto.

Da mesma forma Tonin et al. (2005) os quais estudaram a utilização do composto em comparação com uma adubação nitrogenada convencional no cultivo de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris*), comprovaram que nos tratamentos que levaram mais composto obteve-se maior teor de clorofila total e que dependendo da dose de lodo aplicada, esta pode apresentar resultados semelhantes ao da adubação convencional.

5.2 AVALIAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA E PERFILHAMENTO

Na Figura 9 estão descritos três gráficos que mostram a produção média de perfilhos encontrados para cada dose do composto aplicado na época da colheita assim como a produção de biomassa fresca e seca média dos tratamentos. As análises descritas a seguir foram realizadas a fim de comparação entre os tratamentos, de forma a demonstrar se houve diferença na produção foliar durante o cultivo, e para efeito desta comparação foi utilizado o teste estatístico de regressão com significância de 1%.

Segundo Santos et al. (2009) o perfilho é a unidade modular de crescimento das gramíneas, e dessa forma, estas plantas constituem-se de uma agregação de diferentes perfilhos organizados conforme a origem de crescimento, a idade, o estágio de desenvolvimento e a hierarquia. Sendo que o perfilhamento contribui principalmente para melhor adaptabilidade as condições de ambiente, além de determinar a produção do vegetal.



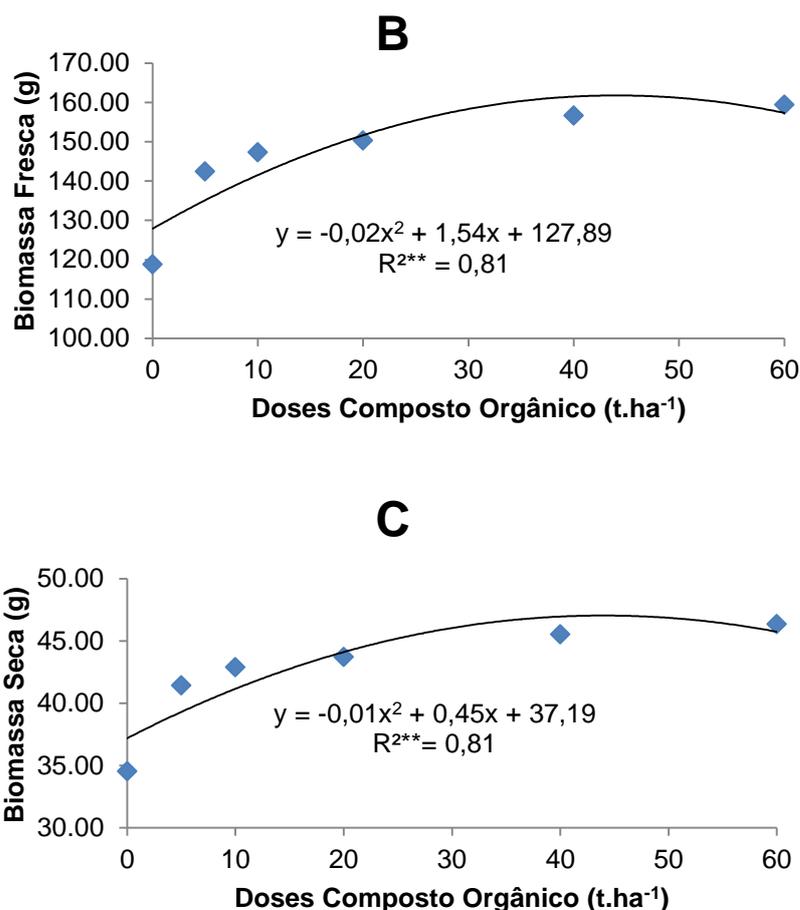


Figura 9 - Médias do número de perfilhos (A), da biomassa fresca (B) e da biomassa seca (C) de capim-limão cultivado com diferentes doses de composto orgânico oriundo de lodo de esgoto.

**Dado pelo teste de regressão com um grau de 1% de significância.

Analisando a Figura 9 chega-se a conclusão que para o número de perfilhos houve uma relação com as doses do composto orgânico aplicado, vista através do comportamento do modelo linear e crescente e pela equação que mostra a correlação entre essas variáveis.

Segundo Santos et al. (2009) a produção de perfilhos é controlada pela disponibilidade de água, luz, temperatura e nutrientes, principalmente nitrogênio e, em menor escala, fósforo e potássio, além do estágio de desenvolvimento da planta, e a ação de todos esses fatores em conjunto, podem determinar o aparecimento e a morte dos perfilhos que acontecem durante todos os meses do ano.

Sendo assim o aumento na produção de perfilhos pode ser relacionado ao aumento da dose de composto orgânico devido a maior disponibilidade de nutrientes encontrados, principalmente o nitrogênio que influencia diretamente neste

crescimento, e que é o elemento mineral de interesse agrícola mais abundante no composto conforme visto na Tabela 3.

Já analisando a biomassa seca e fresca, pode-se notar que o comportamento do modelo foi crescente conforme houve o aumento da dose do composto orgânico aplicado, porém o comportamento do modelo foi quadrático. Ou seja, apesar do composto ter influenciado positivamente a biomassa, chegou-se a um ponto em que o aumento da mesma não mais acompanhou proporcionalmente a adição da dose aplicada, demonstrando assim que houve um fator que limitou a constante deste desenvolvimento, podendo estar relacionado ao volume (5 L) dos vasos utilizados no experimento o qual possivelmente influenciou o resultado do perfilhamento e da produção de biomassa, devido ao pouco espaço do ambiente controlado as plantas podem ter sofrido os efeitos do confinamento do sistema radicular, resultando na desaceleração da produção de biomassa vista no modelo da Figura 9.

Prins et al. (2008) estudaram o efeito do confinamento sobre o sistema radicular do capim-limão (*Cymbopogon citratus* DC. Stapf), que é um fator de estresse que promove alterações no metabolismo e crescimento da planta, e chegaram a conclusão que em ensaios em que há esta restrição de desenvolvimento da raiz o crescimento da parte aérea é reduzido, fazendo com que as plantas apresentem um menor valor de biomassa.

Outro fator que pode ter modificado o comportamento do modelo encontrado pra biomassa é o de competição entre as folhas, tanto por água quanto por luz e espaço, já que o ambiente experimental impõe uma limitação de crescimento da espécie vegetal.

A diferença de perfilhamento encontrada pode ser explicada por Silva et al. (2010) que em seu trabalho com cana-de-açúcar (*Sacharum* spp.) suplementado com lodo e outros adubos minerais, chegaram a conclusão de que o lodo de esgoto faz com que o perfilhamento seja maior e também que conseqüentemente haja um aumento de produção da cana, e relacionou esse comportamento aos nutrientes que podem ser encontrados no lodo, como o Ca, P, S e Zn.

O resultado de um número maior de perfilhos e uma quantidade superior de biomassa após o tratamento com lodo de esgoto também foram observados por Scheer et al. (2012) quando pesquisaram sobre o crescimento de mudas de *Prunus brasiliensis* (Cham. & Schltdl.) D. Dietr..

5.3 AVALIAÇÃO DE NUTRIENTES NO SOLO APÓS COLHEITA

Um dos componentes mais importantes para o desenvolvimento da agricultura, principalmente no que diz respeito ao aumento da produtividade agrícola, sem esquecer os outros fatores de produção, foi a pesquisa em fertilidade do solo e as inovações científicas e tecnológicas, sendo indissociável a estreita relação entre fertilidade do solo e produtividade agrícola (LAPIDO-LOUREIRO et al, 2009)

Para avaliar a fertilidade do solo após a colheita do cultivo do capim-limão durante seis meses, foram avaliados os parâmetros pH, os nutrientes magnésio trocável (Mg), alumínio trocável (Al), fósforo assimilável (P), potássio trocável (K), sódio trocável (Na) e nitrogênio total (N), além dos valores de hidrogênio+alumínio trocável (H + Al), a soma de bases trocáveis (S), a capacidade de troca de cátions (T) e o valor do índice de saturação de bases (V). Porém devido a lixiviação que pode ter ocorrido esses nutrientes não podem ser quantificados quanto a valores absolutos, logo a análise a fertilidade do solo final foi feita apenas para fim de comparação entre os tratamentos.

Na Tabela 4 podem ser vistas as comparações da quantificação do pH e dos nutrientes do solo final com as doses do composto orgânico aplicadas, além dos valores calculados para verificar o comportamento deste solo. Para essas variáveis foi aplicado o teste de média de Tukey com 5% de significância utilizando o programa estatístico SISVAR®.

Tabela 4 – Quantificação do pH e dos nutrientes Ca, Mg, Al, P, K, Na e N, além dos valores de H+Al, S, T e V encontrados para cada dose do composto aplicado na produção de capim-limão.

Doses composto t.ha ⁻¹	pH	Ca Cmol _c .dm ⁻³	Mg Cmol _c .dm ⁻³	Al Cmol _c .dm ⁻³	H + Al Cmol _c .dm ⁻³	P ppm
0	5,86 a*	2,33 b*	1,47 c*	0,10 n.s.	3,47 n.s.	11,13 n.s.
5	5,66 b	2,50 a	1,53 c	0,10	3,55	11,87
10	5,91 a	2,57 a	1,70 b	0,10	3,56	11,35
20	5,81 a	2,73 a	1,73 b	0,10	3,51	12,71
40	5,41 c	2,80 a	1,96 b	0,10	3,60	12,63
60	5,36 c	2,90 a	3,00 a	0,10	3,61	12,55

Tabela 4 – Continuação.

Doses composto t.ha⁻¹	K Cmol_c.dm⁻³	Na Cmol_c.dm⁻³	N %	Valor S Cmol_c.dm⁻³	Valor T Cmol_c.dm⁻³	Valor V %
0	0,01 b*	0,03 b*	5,25 c*	3,84 d*	7,31 d*	52,51 c*
5	0,01 b	0,03 b	7,00 b	4,07 c	7,62 c	53,45 b
10	0,01 b	0,04 a	7,00 b	4,33 b	7,89 b	54,79 b
20	0,01 b	0,04 a	7,00 b	4,53 b	8,04 b	56,31 b
40	0,02 a	0,04 a	7,58 b	4,83 b	8,43 b	57,33 b
60	0,02 a	0,05 a	8,75 a	5,97 a	9,58 a	62,26 a

* As médias seguidas pela mesma letra, nas colunas, não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Dose 0 – testemunha. As médias com n.s. demonstram que para esta variável não houve diferença significativa entre as doses.

Após a análise da Tabela 4 pode-se chegar à conclusão de que para o alumínio (Al), o valor de hidrogênio + alumínio trocáveis (H+Al) e o fósforo assimilável (P) não houve diferença significativa entre as diferentes doses do lodo aplicado, pelo teste de Tukey a 5% de significância, ou seja, não houve contribuição do composto orgânico nessas variáveis.

E em relação ao encontrado para fósforo (P) e potássio (K), pode se comentar que o baixo nível encontrado desses nutrientes tanto solo quanto no composto orgânico podem explicar esse resultado. Esta pouca diferenciação também foi encontrada no trabalho de Simonete et al. (2003), que também a explicou pelo fato da planta utilizada ter sido bastante exigente em relação a esses nutrientes. Mas esta ausência também pode ser explicada pela lixiviação, pelo fato do recipiente plástico não ser completamente fechado.

Já para o cálcio trocável (Ca) houve aumento significativo entre a dose 0 (testemunha) e as doses que levaram o composto, demonstrando que houve diferença entre a aplicação do composto e a sua não aplicação no solo para o cálcio. E para o magnésio trocável (Mg) houve diferença significativa entre os tratamentos chegando assim à conclusão de que a maior dose de composto aplicada (60 t.ha⁻¹) foi superior as demais a um grau de significância de 5%. O que demonstra que a aplicação do composto orgânico adicionou uma quantidade de magnésio (Mg) e de cálcio (Ca) ao solo.

O aumento do nitrogênio total (N), conforme foi encontrado, era esperado devido ao alto teor deste encontrado no composto orgânico, o que concorda também com diversos trabalhos pesquisados para utilização do lodo na agricultura (MELO et al, 1994; OLIVEIRA et al., 1995; SILVA et al., 2001; SILVA et al., 2010).

Em relação ao pH avaliado, pode-se chegar a conclusão de que o composto orgânico acidificou o solo, pois houve diferença significativa entre os tratamentos demonstrando um decréscimo do nível do mesmo. Para potássio (K) e sódio (Na) trocáveis e nitrogênio total (N), notou-se um aumento significativo conforme foi aumentada a dose do composto aplicada, o que demonstra o que composto gerou um incremento desses nutrientes no solo.

Ao analisar-se o pH e o hidrogênio + alumínio trocáveis (H+Al), que são as variáveis que dizem respeito a acidez do solo entende-se que houve acidificação do solo, embora o teor da acidez potencial (H+Al) não tenha se modificado com a adição do composto, a acidez ativa medida pela análise do pH em água foi significativa e inversa ao crescimento das doses aplicadas. Esta acidificação pode estar associada às reações de nitrificação do N amoniacal, à provável oxidação de sulfitos e à produção de ácidos orgânicos durante a degradação do resíduo por microrganismos (LOGAN et al., 1997).

Já Silva et al. (2001) quando pesquisaram sobre o efeito do lodo na fertilidade de um argissolo vermelho-amarelo cultivado com cana-de-açúcar, obtiveram um resultado que demonstrou que houve um aumento na acidez ativa de acordo com o crescimento de doses do lodo, e atribuíram este aumento à alcalinidade do composto utilizado.

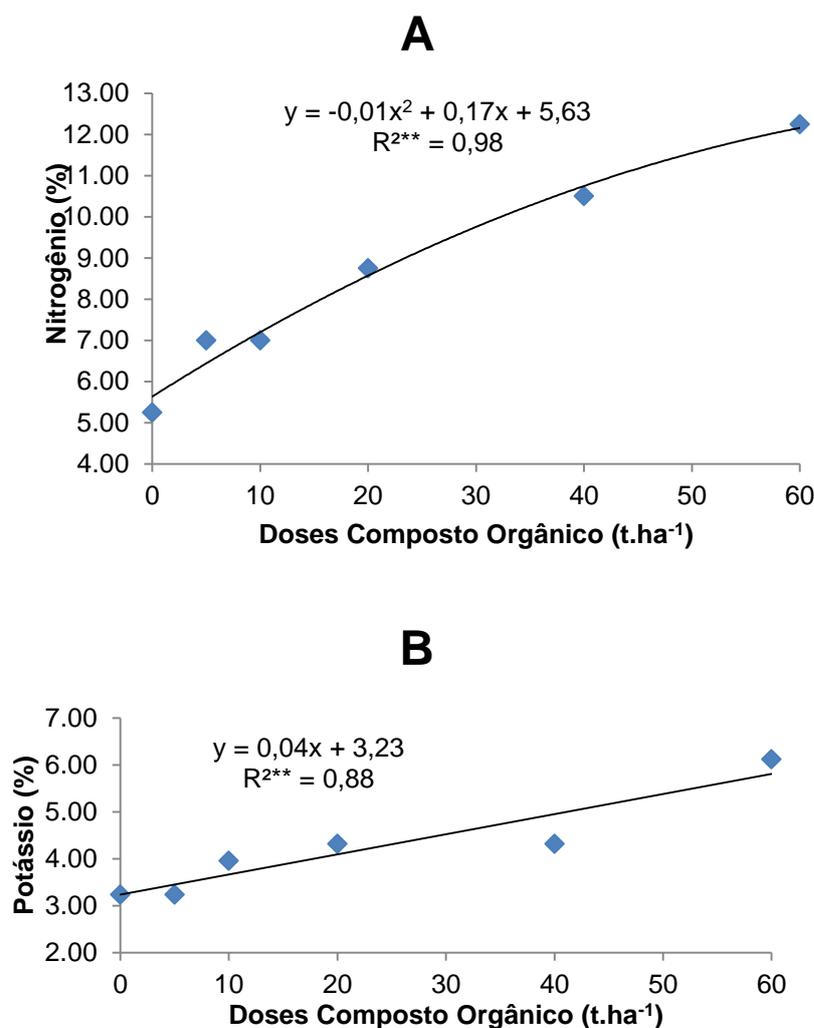
Segundo Simonete et al. (2003) esta discrepância entre diferentes trabalhos que utilizaram o lodo de esgoto em relação as suas comparações entre as doses aplicadas e a acidez encontrada no solo deve-se a diferentes características que o lodo pode conter.

5.4 AVALIAÇÃO DOS NUTRIENTES DO VEGETAL

A avaliação do estado nutricional das plantas objetiva identificar os nutrientes que estariam influenciando o crescimento e produção das culturas. A técnica, nos seus diversos métodos, consiste basicamente em se comparar uma planta com um padrão da cultura em questão em termos nutricionais. Sendo recomendado sempre

em complementação a este estudo uma análise do solo. Visto que nas folhas que ocorrem os principais processos metabólicos, estas são consideradas o órgão que melhor representa o estado nutricional da planta, entendendo assim que há uma relação direta entre a dose de adubo aplicada e a produção e o teor foliar (FAQUIN, 2002).

Para analisar o teor de nutrientes encontrado nas plantas após o cultivo realizado com as diferentes doses do composto foram realizadas análises para os teores de nitrogênio, potássio, fósforo, cálcio e magnésio totais. Estas análises podem ser vistas na Figura 10, que demonstra o comportamento do teor desses nutrientes em relação à dose, bem como a equação que mostra a correlação entre as variáveis e o coeficiente de determinação do modelo (R^2). E as análises dos nutrientes foram avaliadas utilizando o teste de regressão com significância de 1%.



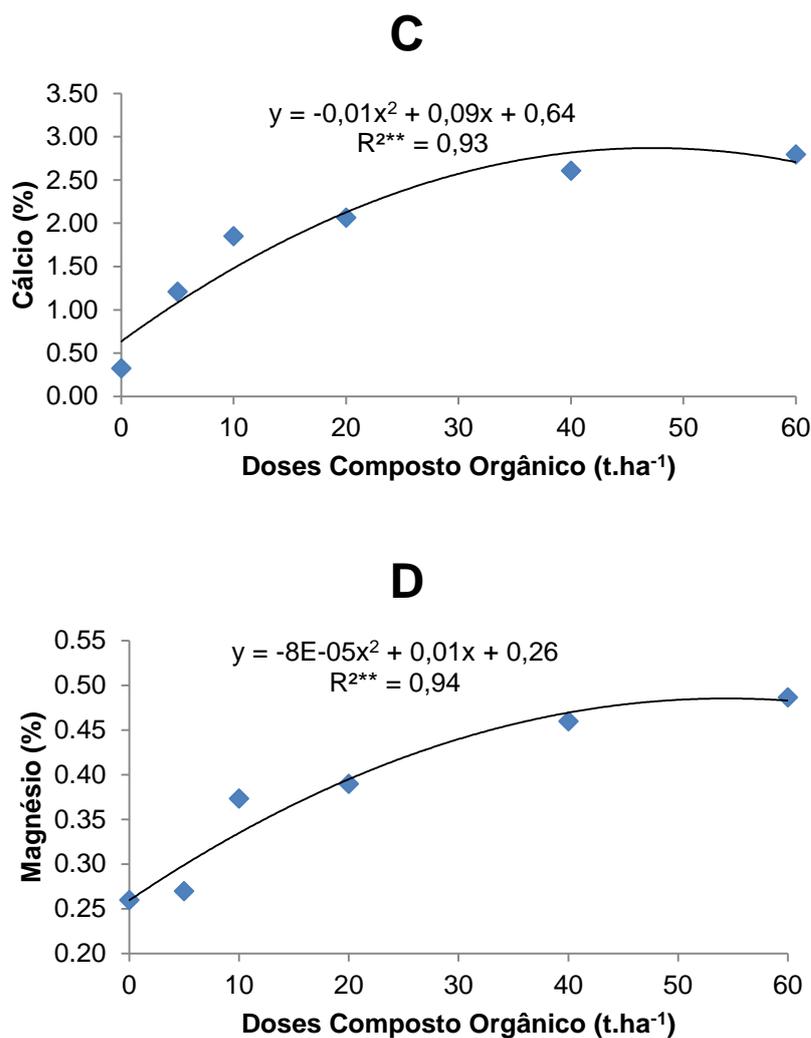


Figura 10 - Médias dos teores totais dos nutrientes nitrogênio (A), potássio (B), cálcio (C) e magnésio (D) para as folhas do capim-limão cultivado com diferentes doses de composto orgânico oriundo de lodo de esgoto.

**Dado pelo teste de regressão com um grau de 1% de significância.

Após a análise da Figura 10 pode-se chegar à conclusão de que as para todos os nutrientes demonstrados o comportamento do modelo se mostrou crescente, mostrando que o lodo de esgoto incrementou estes na planta, porém para o potássio (K) houve um comportamento linear, enquanto para os demais o modelo teve um comportamento quadrático.

O nutriente fósforo (P) não foi demonstrado na Figura 10 pois o mesmo não obteve um resultado de ajuste significativo no teste de regressão, e desta forma chega-se a conclusão de que o composto orgânico não influenciou este nutriente para esse teste.

O aumento da quantidade de nutrientes, principalmente, nitrogênio (N), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), no capim-limão adubados com o composto orgânico a base de esgoto, está relacionado aos teores desses nutrientes adicionados pelo composto nas partes aéreas da planta. Em outros estudos como o de Lopes et al. (2005), que estudaram sobre a produção de alface com doses de lodo de esgoto, houve também um aumento de N, Ca e Mg na planta de acordo com o crescimento da dose do lodo aplicada.

Para Araújo et al. (2009) os nutrientes adicionados pelo lodo de esgoto proporcionaram aumento na produção de massa da parte aérea, ao passo que todas as doses de lodo aplicadas no solo proporcionaram aumento no teor foliar de N da *Brachiaria decumbens*. E segundo Junio et al. (2012), que analisaram a cultura do milho adubado com composto orgânico também a base de lodo, também houve o mesmo resultado, fazendo com que os autores chegassem a conclusão de que a produtividade e os teores de nutrientes no milho fossem influenciados positivamente pelo composto.

E assim estes mesmos nutrientes que foram encontrados na planta, influenciados pela adição do composto, tem relação com as diversas características também encontradas neste trabalho, como a produção de biomassa, perfilhos, clorofila e óleo essencial. Como, por exemplo, o nitrogênio (N) que pode ser responsável pelo incremento do teor e do rendimento de óleo essencial. De acordo com Corrêa Jr. et al. (1994), o aumento dos níveis de nitrogênio também incrementam o teor de óleo essencial da menta e do manjeriço, bem como o rendimento deste devido a este nutriente ter influenciado a produção de biomassa.

Ainda para Santos et al. (2009) a adubação nitrogenada contribui positivamente para o desenvolvimento das braquiárias estudadas, aumentando os valores do número total de perfilhos e o número total de folhas por perfilhos, e este resultado também foi encontrado neste trabalho na Figura 9A. Sendo assim o alto teor deste nutriente na planta também explica o maior número de perfilhos para as maiores doses aplicadas do composto.

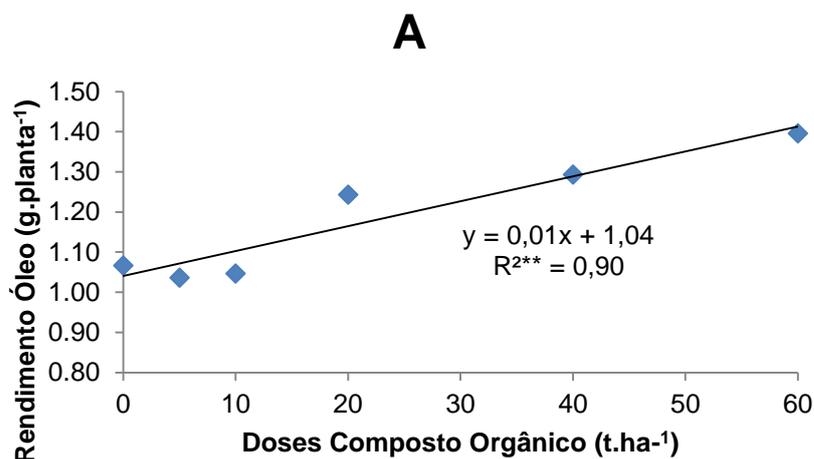
Trigueiro e Guerrini (2003) também explicam em seu estudo sobre o uso do bio-sólido como substrato para produção de mudas de eucalipto, onde o teor de clorofila encontrado foi maior nos tratamentos em que os bio-sólidos adicionaram um maior teor de nitrogênio (N). E esta mesma discussão pode ser feita ao

analisarmos a Figura 8, que demonstrou que com uma maior dose do composto houve um acréscimo na produção de clorofila.

5.5 AVALIAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL

A produção de óleo essencial, gerada via metabolismo secundário, é resultado de complexas interações entre biossíntese, transporte, estocagem e degradação, podendo ser influenciada pelo ambiente no qual a planta se desenvolve e o tipo de cultivo utilizado. A temperatura, umidade relativa do ar, duração total da exposição ao sol, o regime de ventos, além do grau de hidratação do terreno e a presença de nutrientes são fatores que podem influenciar na composição dos óleos essenciais (LEAL, 1998; LEAL et al., 2001).

O percentual médio do rendimento e do teor de óleo essencial das folhas de capim-limão, encontrado para os diferentes tratamentos, está representado na Figura 11. Sendo os resultados obtidos em relação ao teor de água das folhas após a colheita de em média 2,44 b.s.. Ainda na Figura 11 é possível visualizar a equação que mostra a Correlação entre as variáveis e o coeficiente de determinação do modelo (R^2).



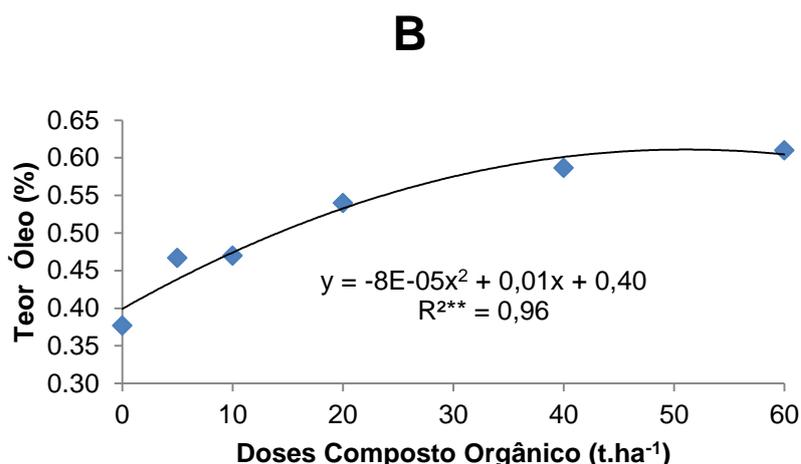


Figura 11 - Médias do rendimento de óleo (A) e do teor do mesmo (B) para o capim-limão cultivado com diferentes doses de composto orgânico oriundo de lodo de esgoto.

**Dado pelo teste de regressão com um grau de 1% de significância.

Como pode-se observar na Figura 11A, ocorreu um acréscimo no rendimento do óleo em relação ao aumento da dose aplicada de composto, pelo comportamento linear e crescente do modelo. Este aumento foi estatisticamente significativo a 1% pelo teste de regressão, indicando que houve influência do composto orgânico no rendimento de óleo essencial, sendo este de 1,07 g.planta⁻¹ para o tratamento testemunha chegando a 1,40 g.planta⁻¹ para maior dose aplicada de 60 t.ha⁻¹ do composto.

Costa et al. (2008) em seu trabalho sobre efeito da adubação química e orgânica na produção de biomassa e óleo essencial em capim-limão (*Cymbopogon citratus*), chegaram a um resultado, com aplicação de 125 g.vaso⁻¹ do composto, formado por decomposição da matéria orgânica vegetal e animal, com o rendimento de aproximadamente 0,89 g.planta⁻¹ de óleo essencial. Porém, o composto aplicado por estes autores continha apenas 5 g.kg⁻¹ de nitrogênio (N) enquanto que o composto utilizado neste trabalho continha 28,0 g.kg⁻¹ deste mesmo nutriente, o que explica a diferença entre esta quantidade, e que mostra que o nitrogênio (N) influencia positivamente o rendimento do óleo.

Silva et al. (2012) quando pesquisaram sobre o balanço nutricional, produção de óleo essencial e madeira de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson com aplicação de lodo de esgoto e fertilizante mineral chegaram a conclusão de as plantas fertilizadas com o lodo de esgoto obtiveram 20% mais folhas, durante o ciclo de produção, do

que as adubadas com fertilizante mineral, o que resultou em um maior rendimento do óleo, mostrando assim que o lodo influenciou positivamente no rendimento do óleo e que o aumento da biomassa influencia neste parâmetro.

Já na Figura 11B pode-se ver o teor médio do óleo essencial em função da dose aplicada do composto orgânico que foram estudadas. Através desta análise pode-se chegar à conclusão de que o composto orgânico, conseqüentemente o lodo de esgoto, influenciou positivamente no teor do óleo essencial do capim-limão, e a sua relação através da equação representada foi crescente e quadrática, e também significativa pelo teste de regressão a 1%.

Devido ao comportamento do modelo encontrado, para o teor de óleo na Figura 11B, foi possível determinar a dose máxima ideal de aplicação do composto orgânico para produção de óleo essencial nas condições experimentais avaliadas. Chegando a estimativa de que a dose de 52 t.ha⁻¹ produziria 0,61% de óleo essencial de capim-limão. Dose esta que o composto conteria 1,45 t.ha⁻¹ aproximadamente de nitrogênio total (N).

Porém como foi visto na Figura 1 apenas 30% da parte seca do lodo é formado por partes inorgânicas, demonstrando assim que na dose de 52 t.ha⁻¹ o nitrogênio total (N) disponível para planta é bem menor do que o valor de 1,45 t.ha⁻¹, pois existe neste valor também o nitrogênio de fonte orgânica que não está disponível para a planta de imediato que compreende 70%.

Para a testemunha, plantas que não levaram o composto, foi encontrado o teor de aproximadamente 0,38% de óleo, enquanto que para as plantas que levaram o composto o teor variou de 0,48% (dose 5 t.ha⁻¹) até 0,61% (dose 60 t.ha⁻¹). Desta forma as plantas que tiveram a adição do composto com doses superiores a 5 t.ha⁻¹ atenderam o que é preconizado pela Farmacopéia Brasileira V (2003) que tem o mínimo exigido de 0,5% para as folhas secas de *C. citratus*.

Vitkare et al. (1990), em seu trabalho que testou quatro doses de nitrogênio (N) e duas de fósforo (P) em capim-cidreira (*Cymbopogon flexuosus*) observaram, que o aumento da dose de N proporcionou um acréscimo no teor de óleo essencial e a aplicação de P não resultou em modificações dessa variável.

Hendawy e Khalid (2011) pesquisaram sobre o efeito de fertilizantes orgânicos e químicos no óleo essencial da flor de camomila (*Matricaria chamomilla* L.), e chegaram à conclusão de que o composto orgânico promoveu um efeito

positivo no teor de óleo essencial, devido principalmente aos constituintes deste composto, os nutrientes NPK.

Da mesma forma Malik et al. (2013) em seu estudo sobre o teor e a composição do óleo essencial de arruda (*Ruta graveolens* L.) utilizando diferentes tratamentos nutricionais, chegaram a conclusão que o tratamento que utilizou o composto a partir de lodo de esgoto obteve um teor de óleo essencial superior aos demais. Concluindo que o teor de óleo essencial é influenciado pelas alterações orgânicas adicionadas ao solo de cultivo através da adição de nutrientes a este.

Para avaliação da influência das diferentes doses do composto sobre os principais componentes, neral e geranial (citral), e mirceno presentes no óleo essencial das folhas de *C. citratus*, realizou-se a identificação destes, por meio do equipamento CG-EM. A Tabela 5 apresenta o tempo médio de retenção e o índice de Kovats dos componentes identificados em comparação ao obtido na literatura segundo Adams (1995).

Tabela 5 – Principais componentes do óleo essencial de folhas de *Cymbopogon citratus*, determinados por CG-EM.

Componente	Tempo de retenção (min)	*IKc
Mirceno	9,048	995
Neral (Z-Citral)	20,317	1228
Geranial (E-Citral)	21,779	1245

*IKc – índice de retenção de Kovats calculado. Componentes identificados baseados no IK e CG-EM e listados de acordo com a ordem de eluição na coluna DB-5.

O componente citral (neral+geranial), que é o principal componente do óleo essencial do capim-limão foi identificado neste trabalho, como pode ser visto na Tabela 5. Porém, pelo teste de regressão não houve significância para este com a adição do composto, demonstrando assim que o acréscimo do composto ao solo não influenciou na produção do citral no óleo essencial.

O citral é citado como sendo o responsável pelas atividades atribuídas ao óleo essencial de capim limão, tais como germicidas, repelentes de insetos, aplicações na indústria farmacêutica, entre outras. Nas plantações brasileiras seu conteúdo está em torno de 75 a 86%, valor bastante satisfatório para o mercado internacional (MARTINS et al, 2002; GUIMARÃES et al.,2008). O valor médio obtido para o componente foi 75,59% com coeficiente de variação de 3,13% entre os

tratamentos aplicados. Para fins de produção da droga vegetal, a Farmacopéia Brasileira V (2003) preconiza o valor mínimo 60% de citral no óleo essencial de capim-limão.

Na Figura 12 pode-se notar o comportamento entre as duas variáveis: dose do composto e rendimento de mirceno. Nesta mesma também é possível ver a equação que mostra a correlação entre as variáveis e o coeficiente de determinação do modelo (R^2).

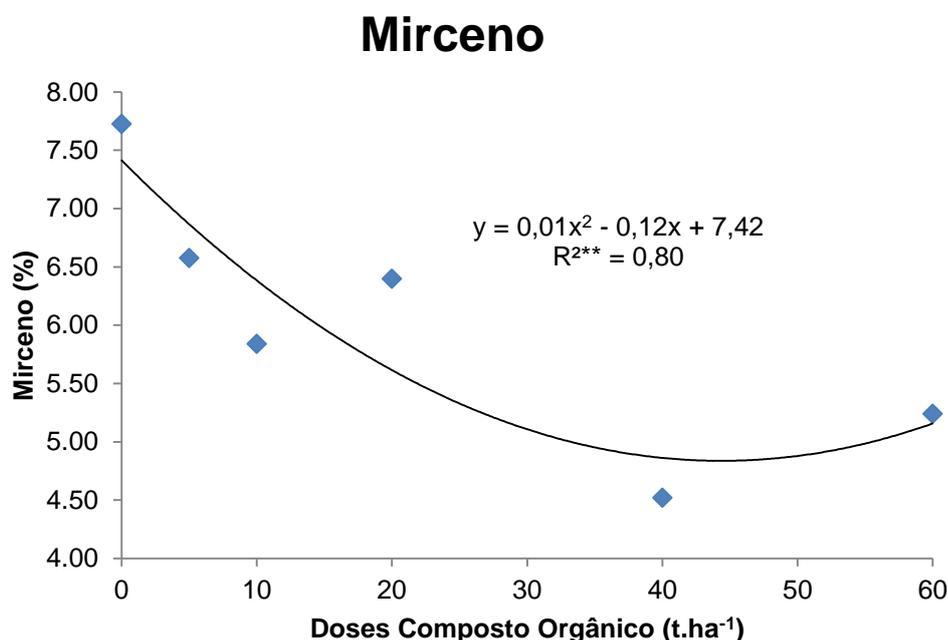


Figura 12 - Médias do rendimento do componente mirceno do óleo essencial do capim-limão cultivado com diferentes doses de composto orgânico oriundo de lodo de esgoto.

**Dado pelo teste de regressão com um grau de 1% de significância.

Analisando a Figura 12 observa-se que a relação entre o mirceno e as doses do composto foi decrescente, demonstrando que o composto influencia negativamente neste componente pelo teste de regressão com significância de 1%. O valor mínimo determinado para a quantidade mirceno no modelo encontrado foi estimado em 4,82% na dose de aproximadamente 45 t.ha⁻¹, nas condições experimentais realizadas. Os teores de mirceno registrados em cultivos são bastante variáveis para a espécie, de 2 a 25,3% (FERREIRA e FONTELES, 1989; GOMES, 2003). A Farmacopéia Brasileira não preconiza o valor mínimo do componente para a droga vegetal.

Hendawy e Khalid (2011), em seu estudo sobre os efeitos da fertilização química e orgânica nos componentes do óleo essencial das flores de camomila (*Matricaria chamomilla* L.), chegaram a conclusão de que alguns componentes do óleo essencial aumentaram, outros decaíram e alguns também se mantiveram, mas que estas diferenças não se relacionaram ao uso dos fertilizantes.

Já Malik et al. (2013) em seu estudo, anteriormente citado, sobre a composição do óleo essencial de arruda (*Ruta graveolens* L.) utilizando diferentes tratamentos nutricionais, inclusive composto a partir de lodo de esgoto, chegaram a conclusão que a composição química dos óleos essenciais em grande parte não é alterada pela modificação nutricional advindas desses tratamentos aplicados.

Segundo Morais (2009) em seu estudo sobre a influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais, a alteração dos compostos majoritários nos óleos essenciais, acontece principalmente por fatores genéticos, técnicos (coleta, estabilização e armazenamento) e bióticos ou abióticos. Confirmando e explicando assim o que foi encontrado neste trabalho.

5.6 MICROBIOLOGIA DO VEGETAL

Para avaliação da qualidade microbiológica das folhas capim-limão adubado com composto orgânico estudou-se duas variáveis, a do microrganismo *Salmonella* sp. e o grupo de Coliformes Totais presentes nas folhas frescas do capim-limão após o colheita. A análise destas variáveis estão previstas na legislação brasileira, por meio da Resolução RDC nº 12/2001, a qual aprova o Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos.

Estes microrganismos são de interesse de estudo devido ao fator patogênico dos mesmos e sua alta concentração no lodo de esgoto. Então para que houvesse segurança na aplicação do lodo no solo, este passou por um processo de compostagem, que é um processo que decompõe e estabiliza estes microrganismos. É a partir desta compostagem passou-se a usar o termo composto orgânico que é aplicado ao produto advindo de um resíduo orgânico estabilizado e higienizado, benéfico para produção vegetal (SANTOS et al., 2009).

A resolução CONAMA nº 375/2006 que define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, prevê em sua ação regulamentária que se deve

caracterizar o lodo de esgoto ou qualquer outro subproduto advindo deste através de indicadores bacteriológicos e agentes patogênicos.

Esta caracterização microbiana deve ser feita quanto a coliformes termotolerantes, ovos viáveis de helmintos, *Salmonella* e vírus entéricos. Sendo que para os ovos viáveis de helmintos e vírus entéricos o lodo de esgoto retirado da estação de tratamento já se encontrava de acordo com esta legislação.

Após a compostagem realizou-se uma análise inicial do composto orgânico antes que este fosse colocado junto ao solo para o cultivo. Nesta os resultados indicaram a ausência do microrganismo *Salmonella* sp., e 218 UFC.g⁻¹ de Coliformes Totais no composto orgânico, o que está de acordo com o exigido pela CONAMA nº 375/2006 para sua aplicação no solo.

Em relação a qualidade das folhas das plantas cultivadas, após a aplicação dos testes descritos na metodologia chegou-se a conclusão de que para todos os tratamentos (doses do composto) as plantas se encontraram de acordo com o determinado pela RDC nº 12/2001 da ANVISA que é de ausência para a *Salmonella* sp. e de no máximo 10² UFC.g⁻¹ para os coliformes termotolerantes, que se encontram dentro da especificação de coliformes totais na legislação.

Sendo assim demonstrou-se que a utilização do composto orgânico, a partir de lodo de esgoto e resíduos de poda urbana, pode ser utilizado na produção de capim-limão, visto que este está de acordo com a legislação vigente no que foi estudado microbiologicamente, para essas doses e para o experimento realizado.

Abreu et al. (2010) em seu estudo sobre a qualidade microbiológica e produtividade de alface (*Lactuca sativa* L., *cichoraceae*) sob adubação química e orgânica, após as devidas análises chegaram a mesma conclusão contida neste trabalho, que a alface não foi contaminada por coliformes e *Salmonella* sp. quando utilizado o composto orgânico como adubo para seu cultivo.

Bastos et al. (2009), em seu trabalho sobre a análise crítica da legislação brasileira para uso agrícola de lodos de esgotos na perspectiva da avaliação quantitativa de risco microbiológico, salientam em sua conclusão que, tendo como referência os padrões de qualidade microbiológica da legislação brasileira, o risco de contaminação pela utilização do lodo na agricultura por bactérias é bem baixo, e que a análise dos coliformes termotolerantes já assegura a virtual ausência de bactérias patogênicas.

5.7 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO ENTRE AS VARIÁVEIS

A análise de correlação pode ser vista como uma extensão da análise de regressão, e objetiva avaliar o grau de relacionamento entre duas ou mais variáveis, descobrindo com precisão, o quanto uma variável interfere no resultado de outra, sendo assim demonstrado pelo coeficiente desta correlação (HAIR et al., 2005).

Na Tabela 6 estão evidenciados os dados da análise de correlação efetuada entre a variável independente, que foram as doses do composto orgânico aplicadas, e as variáveis dependentes, que foram as demais estudadas no trabalho. Nesta mesma está disponível também o grau de correção entre a variável dependente e a independente, bem como a significância do teste. O teste que realizado foi o de Pearson pelo software SAEG®.

Tabela 6 – Análise de correlação entre as variáveis estudadas pelo teste de Pearson a 1% de significância pelo software SAEG®.

Variável Independente	Variável Dependente	Correlação	Significância
Doses composto	Clorofila A	0,945	1%
Doses composto	Clorofila B	0,937	1%
Doses composto	Carotenóides	0,925	1%
Doses composto	Clorofila Total	0,948	1%
Doses composto	Perfilhos	0,921	1%
Doses composto	Biomassa Fresca	0,653	1%
Doses composto	Biomassa Seca	0,635	1%
Doses composto	Nitrogênio Total Planta	0,982	1%
Doses composto	Cálcio Total Planta	0,816	1%
Doses composto	Magnésio Total Planta	0,903	1%
Doses composto	Fósforo Total Planta	-0,562	1%
Doses composto	Potássio Total Planta	0,845	1%
Doses composto	Rendimento Óleo	0,626	1%
Doses composto	Teor Óleo	0,896	1%
Doses composto	Citral	-0,344	não significativo
Doses composto	Mirceno	-0,767	1%

Após a análise Tabela 6 nota-se que para clorofila A, clorofila B, carotenóides, clorofila total, biomassa fresca e seca, nitrogênio, cálcio , magnésio e potássio total, rendimento e teor do óleo essencial, pelo teste de Pearson obteve-se correlação positiva entre essas variáveis, demonstrando que as diferentes doses do composto orgânico, e conseqüentemente o lodo de esgoto, influenciam de forma positiva as variáveis dependentes, sendo assim quando maior a dose aplicada, maior também será o índice dessas demais variáveis.

Já avaliando o fósforo total encontrado na planta e componente do óleo essencial o mirceno, notou-se que a correção encontrada entre eles e a dose do composto foi negativa, de forma que há correlação, mas esta é na forma inversa, e assim quanto maior for a dose de composto aplicado menor será os índices dessas variáveis.

Para o componente citral do óleo essencial do capim-limão não houve correlação significativa entre esta variável e a variável independente, dose do composto, pelo Teste de Pearson a 1%.

6 CONCLUSÃO

Em relação aos resultados obtidos, pode-se concluir que:

Após a análise da composição química do solo e do composto orgânico utilizado para o cultivo foi visto que o composto teve uma grande importância no cultivo do capim-limão neste trabalho. Isto foi devido ao composto conter alguns dos nutrientes necessários para o cultivo desta espécie em que o solo tinha uma deficiência nutricional.

Houve diferença entre as doses de composto orgânico aplicados na produção de perfilhos, biomassa fresca e seca e clorofila nas plantas do capim-limão, demonstrando que os nutrientes advindos do composto influenciaram positivamente seu desenvolvimento.

Quanto à análise do solo final é possível verificar que o composto adicionou alguns nutrientes ao solo, sendo entre eles principalmente o nitrogênio (N), porém devido ao sistema de cultivo ter sido aberto o fator lixiviação pode ter influenciado a quantificação dos nutrientes adicionados fazendo com que não tenha sido possível a medição exata deste parâmetro.

Em relação à qualidade microbiológica observou-se que as folhas do capim-limão cultivado com a adição do composto a base de lodo de esgoto está de acordo no que diz respeito a legislação vigente quanto as exigências para os limites permitidos para *Salmonella* spp. e coliformes termotolerantes para alimentos.

O rendimento do óleo essencial foi influenciado diretamente pela maior produção de biomassa pelas plantas e teor do óleo pelo nitrogênio aplicado. Porém, este estudo demonstrou que o composto orgânico não tem influência direta no citral e uma influência negativa para o mirceno, que foram os componentes químicos do óleo essencial verificados.

Então a adição do composto a base de lodo de esgoto acumulou os teores de nutrientes importantes, como o nitrogênio, para o desenvolvimento da cultura tanto no solo de cultivo quanto na planta. Fazendo assim com que se conclua que o composto orgânico conseguiu suprir parte da demanda desses nutrientes necessários para o desenvolvimento capim-limão e pode ser utilizado de forma a obter o seu óleo essencial.

Todas as conclusões da utilização do composto orgânico observadas neste trabalho, para os aspectos de fertilidade de solo e do composto, nutrição da planta, biomassa, perfilhos, clorofila, óleo essencial, e microbiologia, devem levar em consideração aspectos técnicos para sua viabilidade, como custos, disponibilidade, distribuição, incorporação, entre outros.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, I. M. de O; JUNQUEIRA, A. M. R; PEIXOTO, J. R.; OLIVEIRA, S.A. de. Qualidade microbiológica e produtividade de alface sob adubação química e orgânica. *Ciência Tecnologia Alimentos* 30: 108-118, 2010.

ADAMS, R. P.. Identification of essential oil components by gas chromatography / mass spectroscopy. Illinois: USA, Allured Publ. Corp., Carol Stream. 1995.

ANDREOLI, C. V.. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 282 p. Projeto PROSAB, 2001.

ANVISA. Ministério Da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC N°12 de 02 de Janeiro de 2001. Aprova o Regulamento Técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos. publicação: D.O.U. - Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 10 de janeiro de 2001.

AOAC - Association of Official Analytical Chemistry. Official Methods of Analysis, 18th ed, Gaithersburg, Maryland, 2005.

ARAÚJO, F. F.; GIL, F. C.; TIRITAN, C. S.. Lodo de esgoto na fertilidade do solo, na nutrição de *Brachiaria decumbens* e na atividade da desidrogenase. *Pesquisa Agropecuária Tropical* v. 39, n. 1, p. 1-6, jan./mar. 2009.

ASAE STANDARDS. Standards engineering practices data. Adopted and published by: American Society of Agricultural Engineers. p. 565-565. 2000.

BACKES, C.; BULL, L.T.; GODOY, L.J.G.; BOAS, R.L.V.; LIMA, C.P.; PIRES, E.C.. Uso de lodo de esgoto na produção de tapetes de grama esmeralda. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.39, 2009.

BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBERCK, D.; IDAOMAR, M. Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology*. v. 46, p. 446-475, set. 2008.

BASTOS, R.K.X.; BEVILACQUA, P.D; DIAS, G.M.F.; BARONY, F.J.A. Análise crítica da legislação brasileira para uso agrícola de lodos de esgotos na perspectiva da avaliação quantitativa de risco microbiológico. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, Desarrollo y Práctica*, v.2, n.1, p.143-59, 2009.

BERTON, R. S.; VALADARES, J. M. A. S.; CAMARGO, O. A.; BATAGLIA, O. C. Peletização do lodo de esgoto e adição de CaCO₃ na produção de matéria seca e absorção de Zn, Cu e Ni pelo milho em três latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 21, 1997.

BERTON, R. S.; NOGUEIRA, T, A, R. Uso de lodo de esgoto na agricultura. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. Uso agrícola de lodo de esgoto - Avaliação após a resolução nº 375 do Conama. Botucatu: Editora FEPAF, . p. 157-170, 2010.

BETTIOL, W. ; CAMARGO, O. A.. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto: descrição do estudo. Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006.

BIZZO, H. R. ; REZENDE, C. M.. Óleos essenciais no Brasil: Aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. Química Nova, v. 32, 2009.

BLOISE, R. M. ; MOREIRA, G. N. C. ; DYNIA, J. F.. Métodos de análise de solos e calcários. EMBRAPA, 1979.

CONAMA. Resolução CONAMA (Conselho nacional do meio ambiente) nº 375, de 29 de agosto de 2006. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/>> Acesso em: janeiro de 2014.

CORRÊA JUNIOR, C.; MING, L. C. ; SCHEFFER, M. C.. Cultivo de plantas medicinais, condimentares e aromáticas. 2 ed. Jaboticabal: FUNEP, 162 p. 1994.

COSTA, L. C. B. ; CORRÊA, R. M. ; CARDOSO, J. C. W. ; PINTO, J. E. B. P. ; BERTOLUCCI, S. K. V.; FERRI, P. H.. Secagem e fragmentação da matéria seca no rendimento e composição do óleo essencial de capim-limão. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 23, n.4, 2005.

COSTA, L.C.B.; ROSAL, L.F.; PINTO, J.E.B.P.; BERTOLUCCI, S.K.V.. Efeito da adubação química e orgânica na produção de biomassa e óleo essencial em capim-limão [*Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf.]. Revista Brasileira de Plantas Medicinais, Botucatu, v. 10, n. 1, p. 16-20, 2008.

CRAVEIRO, A. A.; FERNANDES, A. G.; ANDRADE, C. H. S. ; MATOS, F. J. A. ; ALENCAR, J. W. ; MACHADO, M. I. L. ; Óleos essenciais de Plantas do Nordeste, Ed. UFC: Fortaleza, CE, 1981.

CRAVEIRO, A. A.; QUEIROZ, D. C.. Óleos essenciais e química fina. Química Nova, v. 16, 1993.

DA ROS, C. O.; AITA, C.; CERETTAM, C. A.; FRIES, M. R.. Lodo de esgoto: efeito imediato no milho e residual na associação aveia-ervilhaca. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 17, 1991.

ELPO, E. R. S.; NEGRELLE, R. R. B.; GOMES, E. C. Avaliação da qualidade microbiológica do gengibre "in natura" comercializado na região metropolitana de Curitiba , PR. Curitiba, PR, v. 5, n.2, p. 139 – 146, 2001.

ENGEL, V.L.; POGGIANI, F. Estudo da concentração de clorofila nas folhas e seu espectro de absorção de luz em função do sombreamento em mudas de quatro espécies florestais nativas. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, v.3, p.39-45, 1991.

FAQUIN, V.. Diagnose do estado nutricional das plantas. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002.

FARMACOPÉIA BRASILEIRA. 4ª edição, parte V, São Paulo: Atheneu, 2003.

FEDRIZZI, F.. Aproveitamento de lodo de esgoto na produção de artefatos de concreto. Tese de mestrado, UFSC, Santa Catarina, 2012.

FERREIRA, M.S.C. Estudo farmacológico do *Cymbopogon citratus* DC. Stapf. Tese (Mestrado) - Centro de Ciências, Departamento de Química Orgânica e Inorgânica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 104p., 1984.

FERREIRA, M.S.C., FONTELES, M.C. Aspectos etnobotânicos e farmacológicos do *Cymbopogon citratus* Stapf (capim-limão). Rev. Bras. Farm., Rio de Janeiro, v. 70, n. 4, p. 94-97, 1989

FIALHO, L. L.; SILVA, W. T. L.; MILORI, D. M. B. P.; SIMÕES, M. L.; MARTINETO, L. Characterization of organic matter from composting of different residues by physicochemical and spectroscopic methods. Bioresource Technology, v.101, p.1927-1934, 2010.

FIGUEIREDO, R. O.; DELACHIAVE, M. E. A.; MING, L. C.. Reguladores vegetais na produção de biomassa e teor de óleos essenciais em *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf, em diferentes épocas do ano. Rev. Bras. Pl. Med., Botucatu, v.8, n.3, p.31-35, 2006.

FREIRE, L. R.. Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro, Brasília, DF, Embrapa, Seropédica, RJ: Editora Universidade Rural, 2013.

FUJITA, A. T.. Impacto ambiental e agrônômico do uso de condicionadores orgânicos, no cultivo de *Cymbopogon citratus*. Araraquara: 2007.

GOMES, E. C.. Capim-limão - *Cymbopogon citratus* (D.C) Stapf: subsídios para melhoria de qualidade do cultivo, industrialização e comercialização no Estado do Paraná. Curitiba, xvii, 184f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2003.

GUIMARÃES, L. G. L.; CARDOSO, M. G.; ZACARONI, L. M.; LIMA, R. K.; PIMENTEL, F. A.; MORAIS, A. R.. Influência da luz e da temperatura sobre a oxidação do óleo essencial de capim-limão (*Cymbopogon citratus* (D.C.) STAPF). Química Nova, v. 31, n. 06, p. 1476-1480, 2008.

HAIR, Jr. J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. Análise Multivariada de Dados. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HANAA, A. R. M.; SALLAM, Y. I.; EL-LEITHY, A. S.; ALY, S. A.. Lemongrass (*Cymbopogon citrates*) essential oil as affected by drying methods. Annals of Agricultural Science, 2012.

HENDAWY, S. F.; KHALID, K. A.. Effect of chemical and organic fertilizers on yield and essential oil of chamomile flower heads. Medical and aromatic Plant Science and Biotechnology, 2011.

HISCOX, J.D.; ISRAELSTAM, G.F. A method for the extraction of chlorophyll from leaf tissue without maceration. *Canada Journal Botanic*, v.57, p.1332-1334, 1979.

JUNIO, G. R. Z.; SAMPAIO, R. A.; NASCIMENTO, A. L.; CARNEIRO, J. P.; SANTOS, L. D. T.; FERNANDES, L. A.. Produção de milho adubado residualmente com compost de lodo de esgoto e fosfato de Gafsa. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.16, n.12, p.1289–1297, 2012.

KIEHL, E. J.. Manual de compostagem – Maturação e qualidade do composto. Piracicaba, 1998.

LANÇAS, F. M.. Cromatografia em fase gasosa, São Carlos: Editora Acta, 254 p., 1993.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J.. Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade. Rio de Janeiro. CETEM/Petrobrás, 2009.

LEAL, T. C. A. B. Produção de óleo essencial de capim cidreira (*Cymbopogon citratus* (DC) Stapf) em função de fatores endógenos e exógenos. Campos dos Goytacazes, RJ. Dissertação (Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, 64 p., 1998.

LEAL, T. C. A. B.; FREITAS, S. P.; SILVA, J. F.; CARVALHO, A. J. C. Avaliação do efeito da variação estacional e horário de colheita sobre o teor foliar de óleo essencial de capim-cidreira (*Cymbopogon citratus*) (DC.) Stapf. *Revista Ceres*, v.278, p.445-453, 2001.

LOGAN, T. J.; LINDSAY, B. J.; GOINS, L. E.; RYAN, L. A. Field assessment of sludge metal bioavailability to crops: sludge rate response. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 26, p. 534-550, 1997.

LOPES, J.C.; RIBEIRO, L.G.; ARAÚJO, M.G.; BERALDO, M.R.B.S. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.23, n.1, p.143-147, jan.-mar. 2005.

LOPES, M.A.J. Incorporação de lodo de esgoto e seus efeitos sobre alguns atributos do solo cultivado com Rabanetes. 2008. 99 f. dissertação. Recife, Universidade Católica de Pernambuco, 2008.

LORENZETTI, B.B.; SOUZA, E.P.; SARTI, S.J., SANTOS FILHO, D.; FERREIRA, S.H.. Myrcene mimics the peripheral analgesic activity of lemon grass tea. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 34, n. 1, 1991.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. de A. Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002.

LUPE, F. A.. Estudo da composição química de óleos essenciais de plantas aromáticas da Amazônia. UNICAMP, Campinas, SP, 2007.

MALIK, A. A.; MIR, S. R., AHMAD, J.. *Ruta graveolens* L. Essential Oil Composition under Different Nutritional Treatments. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 13 (10): 1390-1395, 2013

MARTINS, P. M.; MELO, E. C.; BARBOSA, L. C. A.; SANTOS, H. S.; MACHADO, M. C.. Influência da temperatura e velocidade do ar de secagem no teor e composição química do óleo essencial de capim-limão. *Acta Hort.* 2002, 569, 155

MARTINAZZO, A. P.. Secagem, armazenamento e qualidade de folhas de *Cymbopogon citratos* (D.C.) Stapf. Tese de doutorado, UFV, Minas Gerais, 2006.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; SANTIAGO, G.; CHELLI, R.A.; LEITE, S.A.S. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.18, p.449-455, 1994.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; MELO, V. P. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M.T. et al. (Eds.). *Biossólidos na agricultura*. São Paulo: Sabesp, 2001.

MISHRA, A.K.; DUBEY, N.K.. Evaluation of some essential oils for their toxicity against fungi causing deterioration of stored food commodities. *Applied Environmental Microbiology*, v. 60, n. 4, 1994.

MORAIS, L. A. S.. Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. *Horticultura Brasileira*. 2009.

NASCIMENTO C. W. A. ; BARROS, D. A. S.; . MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B.. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após a aplicação de lodo de esgoto. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:385-392, 2004.

NOGUEIRA, T. A. et al. Cádmio, cromo chumbo e zinco em plantas de milhos e em latossolo, após aplicações anuais de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 32, p.2195-2207, 2008.

OLIVEIRA, F. C.; MARQUES, M. O.; BELLINGIERI, P. A.; PRERECIN, D.. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. *Sci. Agric.*, Piracicaba, p. 360-367, 1995.

ONAWUNMI, G.O.; YISAK, W.A.; OGUNLANA, O.E.. Antibacterial constituents in the essential oil of *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 12, n. 3, 1984.

ORRICO, A.C.A.; LUCAS JÚNIOR, J.; ORRICO JÚNIOR, M.A.P. Alterações físicas e microbiológicas durante a compostagem dos dejetos de cabras. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.27, n.3, p.764-772, 2007.

ORRICO JÚNIOR, M.A.P.; AMORIM, A.C.; LUCAS JÚNIOR, J. Compostagem e vermicompostagem de dejetos de vacas leiteiras. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*, 32., 2003, Goiânia. Anais Jaboticabal: SBEA, 2003.

ORTIZ, R. S.; MARRERO, G.V.; NAVARRO, A. L. T. Instructivo técnico para El cultivo de *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf (Caña santa) Revista cubana de plantas medicinales, v. 7, p. 89-95, 2002.

POVH, N.P. Obtenção do óleo essencial da camomila (*Matricaria recutita* [L.] Rauschert) por diferentes métodos: destilação por arraste a vapor, extração com solventes orgânicos e extração com CO₂ supercrítico. Campinas, 2000. 217 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. 2000.

PORTO, M. P.. Ação moduladora do citral e ugenol em eventos genéticos em macrógagos murinos *in vitro*. Tese de Mestrado: UNESP, Botucatu, 2012.

PRINS, C. L. et al. Efeitos de confinamento do sistema radicular sobre capim-limão (*Cymbopogon citratus*). Revista Ciência Agrônômica, v. 39, n. 03, p. 416-421, 2008.

RODRIGUES, M. R. A.. Estudo dos óleo essenciais presentes em manjerona e orégano. UFRS, Porto Alegre, 2002.

ROGERS, J.A. Encyclopedia of Chemical Technology. 3.ed. New York: Wiley, v.16, p.282-289, 1981.

SISVAR Sistema de análise de variância, Versão 4.3. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1999.

SAEG Sistema para Análises Estatísticas, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.

SANTOS, L. C.; BONOMO P.; REIS, G. H. C.; MARIA, N.; SILVA, V. B.; PIRES, A. J. V.. Número de perfilhos e número de folhas por perfilho de braquiárias submetidas a diferentes adubações. UESB, Itapetinga, BA, 2009.

SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; SANTOS, K. G. dos. Crescimento de mudas de *Prunus Brasiliensis* (Cham. & Schltld.) D. Dietr. Em substratos à base de lodo de esgoto compostado e fertilizante mineral. Ciência Florestal, Santa Maria, v.22, n. 4, p. 739-747, 2012.

SILVA, I.; FRANCO, S. L.; MOLINARI, S. L.; CONEGERO, C. I.; MIRANDA NETO, M. H. de; CARDOSO, M. L. C.; SANT'ANA, D. de M.; IWANKO, N. S.. Noções sobre o organismo humano e utilização de plantas medicinais. Cascavel: Assoeste, 1995.

SILVA, F.C. ; BOARETTO, A. E. ; BERTON, R. S. ; ZOTELLI, H. L. ; PEXE, C. A. ; BERNARDES, E. M.. Efeito de lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.36, n.5, 2001.

SILVA, M. C.. Avaliação da qualidade microbiológica de alimentos com a utilização de metodologias convencionais e do sistema simplate. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Piracicaba – SP, 87p., 2002.

SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D.. Alternativa agrônômica para o biofóssido produzido no Distrito Federal. I – Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em Latossolo no cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.26, n.2, 2002.

SILVA, F. C. da; BOARETTO, A. E.; ABREU JUNIOR, C. H.; BERTON, R. S.; BASSO, L. C.; BARBIERI, V.. Impactos da aplicação de lodo de esgoto na cultura da cana-de-açúcar e no ambiente. Holos Environment, v. 10, n.1, 2010.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; FERRAZ, A. V.; SIXEL, R. M. M.; BRITO, J. O.. Balanço nutricional, produção de óleo essencial em madeira de *Corymbia citriodora* Hill & Johnson com aplicação de lodo de esgoto e fertilizante mineral. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 821-831, out.-dez., 2012.

SIMÕES, C. M. O.; SCHENKEL, E. P.; GOSMANN, G.; MELLO, J. C. P.; MENTZ, L. A.; PETROVICK, P. R.. Farmocognosia: da planta ao medicamento. Porto Alegre, 2003.

SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. de C.; ANDRADE, C. A.; TEIXEIRA, C. F. A.. Efeito do lodo de esgoto em de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 38, n. 10, p. 1187-1195, out. 2003.

SOUSA, M. P. de; MATOS, M. E. O.; MATOS, F. J. de A.; MACHADO, M. I. L.; CRAVEIRO, A. A.. Constituintes químicos ativos de plantas medicinais brasileiras. Fortaleza: Edições UFC / Laboratório de Produtos Naturais, 1991.

STREIT, N. M.; CANTERLE, L. P.; CANTO, M. W.; HECKTHEUER, L. H. H.. As Clorofilas. Ciência Rural, v.35, n.3, mai-jun, 2005.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J.. Análise de solo, plantas e outros materiais. UFRS, Rio Grande do Sul, 1995.

TONIN, F. B.; KANO, C.; LIMA, C. P.; HERMÍNIO, D. B. C.; GRASSI FILHO, H.. Utilização de lodo de esgoto no cultivo de feijão-vagem. UNESP, São Paulo, 2005.

TRIGUEIRO, R. de M.; GUERRINI, I. A.. Uso de biofóssido como substrato para produção de mudas de eucalipto. Scientia Forestalis, n. 64, p. 150-162, 2003.

VITKARE, D. G.; PHASATE, S. N.; ZADE, K. B.; PAULKAR, K.S. Effect of nitrogen and phosphorus fertilization on the oil content and oil quality of lemongrass (*Cymbopogon flexuosus*). PKV Research Journal, v. 14, n. 1, p. 64-66, 1990.

VON SPERLING, M.. Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3ª edição, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental, UFMG, 2005.

WELLBURN, A.R. The spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. J. Plant Physiol., v.144, p.307-313, 1994.

ZHANG, H.; CHEN, F.; WANG, X.; YAO, H. Evaluation of antioxidant activity of parsley (*Petroselinum crispum*) essential oil and identification of its antioxidant constituents. *Food Research International*, v.39, p.833-839, 2006.

ZHU, N. Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice. *Bioresource Technology*, Oxford, v.98, n.1, p.9-13, 2007.