



LUCCAS ERICKSON DE OLIVEIRA MARINHO

**Condicionamento de lodo de tanque séptico e aplicação em  
uma cultura de roseira**

Campinas, SP

2015





**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E  
URBANISMO**

**Luccas Erickson de Oliveira Marinho**

**Condicionamento de lodo de tanque séptico e aplicação em  
uma cultura de roseira**

Tese apresentada a Faculdade de Engenharia Civil,  
Arquitetura e Urbanismo da Unicamp, como parte dos  
requisitos exigidos para obtenção do título de Doutor  
em Engenharia Civil na área de Saneamento e  
Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA TESE  
DEFENDIDA PELO ALUNO LUCCAS ERICKSON DE OLIVEIRA  
MARINHO E ORIENTADO PELO PROF. DR. BRUNO CORAUCCI  
FILHO.

---

**CAMPINAS  
2015**

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura  
Elizangela Aparecida dos Santos Souza - CRB 8/8098

M338c Marinho, Luccas Erickson de Oliveira, 1983-  
Condicionamento de lodo de tanque séptico e aplicação em uma cultura de roseira / Luccas Erickson de Oliveira Marinho. – Campinas, SP : [s.n.], 2015.

Orientador: Bruno Coraucci Filho.

Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Lodo de esgoto. 2. Nitrogênio. 3. Lixiviação. 4. Reciclagem. 5. Adubos e fertilizantes. I. Coraucci Filho, Bruno, 1948-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Título em outro idioma:** Septic tank sludge conditioning and application in rosebush culture

**Palavras-chave em inglês:**

Sewage sludge

Nitrogen

Leaching

Recycling

Fertilizers

**Área de concentração:** Saneamento e Ambiente

**Titulação:** Doutor em Engenharia Civil

**Banca examinadora:**

Bruno Coraucci Filho [Orientador]

Adriano Luiz Tonetti

Sérvio Túlio Alves Cassini

Marco Antonio Almeida de Souza

Miguel Mansur Aisse

**Data de defesa:** 25-02-2015

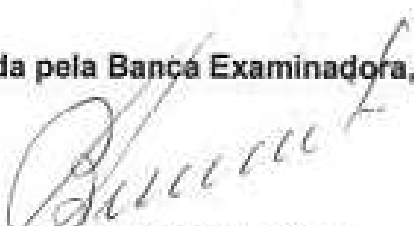
**Programa de Pós-Graduação:** Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E URBANISMO**

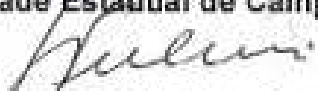
**Condicionamento de lodo de tanque séptico e aplicação em uma  
cultura de roseira**

Luccas Erickson de Oliveira Marinho

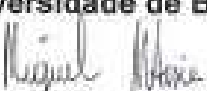
Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

  
Prof. Dr. Bruno Coraucci Filho  
Presidente e Orientador/Universidade Estadual de Campinas

  
Prof. Dr. Adriano Luiz Tonetti  
Universidade Estadual de Campinas

  
Prof. Dr. Sérgio Túlio Alves Cassini  
Universidade Federal do Espírito Santo

  
Prof. Dr. Marco Antonio Almeida de Souza  
Universidade de Brasília

  
Prof. Dr. Miguel Mansur Aisse  
Universidade Federal do Paraná

Campinas, 25 de fevereiro de 2015



MARINHO, L. E. d. O. Condicionamento de lodo de tanque séptico e aplicação em cultura de roseira. Tese (Doutorado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Universidade Estadual de Campinas, 131p, 2015.

## RESUMO

Apesar da baixa eficiência, em relação aos sistemas convencionais de tratamento de esgotos, aproximadamente 12 milhões de famílias utilizam tanque séptico, fazendo deste sistema o segundo método de tratamento de esgoto mais utilizado em nosso país. A destinação do lodo residual que é gerado nestas unidades de tratamento é um grande problema ambiental para as empresas de saneamento, públicas ou privadas. O gerenciamento destes resíduos interfere, direta e indiretamente, na vida de toda a sociedade, principalmente pela necessidade de se dar um destino mais nobre para este abundante resíduo. O presente estudo teve como premissa a geração de tecnologia de uso social de baixo custo, direcionado para ser utilizado em pequenas comunidades. Foi utilizado um lodo de tanque séptico, do tipo coletivo, que faz o tratamento de efluente de uma pequena comunidade no interior do estado de São Paulo. Para o desaguamento desse lodo foram utilizados contentores de geotêxtil de três aberturas aparentes diferentes, em que o processo de desaguamento ocorreu com três enchimentos desses contentores. A redução da massa de lodo foi avaliada em diferentes tempos e ao final de 60 dias não houve diferença estatística significativa quando comparado a eficiência na redução de massa. Essa redução foi de 62 a 64%. Após o deságue o lodo retido nos contentores foi homogeneizado e avaliado quanto ao seu potencial uso na agricultura. As análises laboratoriais demonstraram que o lodo poderia suprir toda a demanda de nitrogênio das roseiras, embora não fosse suficiente quanto ao fósforo e potássio. Foram utilizados cinco tratamentos distintos para a avaliação da aplicação do lodo séptico no solo em um período de 18 meses. Houve um aumento na produtividade de rosas em 31% nos canteiros em que o lodo séptico foi aplicado junto a uma adubação complementar contendo fósforo e potássio. O solo de cultivo avaliado não apresentou risco de acúmulo de metais potencialmente tóxicos e demais compostos que poderiam ser prejudiciais as culturas agrícolas. Os resultados demonstraram também que o manejo convencional da cultura de roseiras com o adubo mineral (NPK) apresenta maiores riscos de lixiviação de nitrato do que quando o lodo séptico é utilizado. As rosas colhidas que foram cultivadas com lodo e adubação complementar apresentaram ganhos na qualidade comercial e durabilidade do produto final o que representa um ganho econômico em escala real.

Palavras chaves: Lodo séptico, reciclagem de nutrientes, nitrogênio, contentores de geotêxtil, lixiviação de nitrato.

MARINHO, L. E. d. O. Septic tank sludge conditioning and application in rosebush culture. Thesis (Doctorate). Civil Engineering, Architecture and Urbanism. State University of Campinas, 131p, 2015.

## **ABSTRACT**

Despite the low efficiency compared to conventional wastewater treatment systems, approximately 12 million households use septic tank, making this system the second sewage treatment method most used in our country. The allocation of residual sludge that is generated in these treatment facilities is a major environmental problem for sanitation companies, both public or private. The management of these residues interferes, directly and indirectly, in the life of the whole society, especially for the need to give a nobler destiny for this abundant residue. This study was premised on the generation of social use of low-cost technology, targeted for use in small communities. For this study it was used a collective type septic tank, which provide the effluent treatment from a small community in the state of São Paulo. For sludge dewatering it were used geotextile containers with three apparent openings,. The reduction of sludge mass was evaluated at different times and at the end of 60 days there was no statistically significant difference when compared the efficiency of mass reduction. This reduction was 62-64%. After the outflow sludge retained in the container was homogenized and assessed for their potential use in agriculture. Laboratory tests showed that the sludge could supply all the nitrogen demand of roses, though not sufficient in phosphorus and potassium. Five different treatments were used for evaluating the implementation of septic sludge into the soil over a period of 18 months. There was an increase in productivity rose by 31% in the beds where the septic sludge was applied to a supplementary fertilizer containing phosphorus and potassium. The rated tillage showed no risk of potentially toxic metal accumulation and other compounds that could be harmful agricultural crops. The results also showed that the conventional management of the culture rose with mineral fertilizer (NPK) nitrate leaching presents greater risk than when the septic sludge is used. Roses were harvested and cultured with supplementary fertilization sludge showed gains in commercial quality and durability of the final product which is a full-scale economic gain.

Key words: septage, nutrients recycling, nitrogen, geotextile containers, nitrate leaching.



## Sumário

|                                                                                          |      |
|------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| RESUMO.....                                                                              | vii  |
| ABSTRACT .....                                                                           | viii |
| AGRADECIMENTOS .....                                                                     | xv   |
| LISTA DE FIGURAS.....                                                                    | xix  |
| LISTA DE TABELAS .....                                                                   | xxi  |
| LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....                                                      | xxv  |
| 1. INTRODUÇÃO .....                                                                      | 1    |
| 2. OBJETIVO.....                                                                         | 5    |
| 2.1. Objetivo geral.....                                                                 | 5    |
| 2.2. Objetivos específicos .....                                                         | 5    |
| 3. REVISÃO DA LITERATURA .....                                                           | 7    |
| 3.1. O tratamento de esgoto .....                                                        | 7    |
| 3.2. Saneamento no Brasil.....                                                           | 8    |
| 3.3 Tanques sépticos.....                                                                | 10   |
| 3.3.1 Aspectos construtivos.....                                                         | 12   |
| 3.3.2 Eficiência do processo.....                                                        | 14   |
| 3.4. Lodos de esgoto .....                                                               | 15   |
| 3.4.1 Lodos sépticos .....                                                               | 17   |
| 3.4.2. Tratamento de lodo .....                                                          | 20   |
| 3.5 Desaguamento de lodo de esgoto .....                                                 | 26   |
| 3.5.1 Secagem solar de lodo de esgoto .....                                              | 27   |
| 3.5.2 Utilização de contentores de geotêxtil (CG) no desaguamento de lodo de esgoto..... | 29   |
| 3.6 Uso de lodo de esgoto na agricultura .....                                           | 31   |

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.6.1. Aspectos limitantes do uso de lodo de esgoto na agricultura.....                               | 33 |
| 3.6.2. Lixiviação de nitrato.....                                                                     | 35 |
| 3.6.3. Mineralização do nitrogênio.....                                                               | 36 |
| 3.7 Cultura de rosas.....                                                                             | 37 |
| 3.8 Exigências nutricionais e absorção de nutrientes pelas plantas produtoras de flores de corte..... | 38 |
| 3.9 Comércio de flores.....                                                                           | 39 |
| 4. METODOLOGIA.....                                                                                   | 41 |
| 4.1 Desaguamento em contentores de geotêxtil (CG).....                                                | 41 |
| 4.2 Uso na agricultura.....                                                                           | 45 |
| 4.2.1 Local do experimento.....                                                                       | 45 |
| 4.2.2 Cultura.....                                                                                    | 48 |
| 4.2.3 Determinação da granulometria e da curva de retenção de água no solo.....                       | 48 |
| 4.2.4 Delineamento experimental.....                                                                  | 50 |
| 4.2.5 Correção da acidez do solo.....                                                                 | 51 |
| 4.2.6 Irrigação.....                                                                                  | 52 |
| 4.2.7 Controle de pragas.....                                                                         | 53 |
| 4.2.8 Caracterização das alterações químicas do solo e água lixiviada.....                            | 54 |
| 4.2.9 Parâmetros avaliados quanto a qualidade e produtividade da cultura.....                         | 56 |
| 4.2.10 Análise do pós-colheita.....                                                                   | 57 |
| 4.2.11 Ensaio de respirometria do lodo.....                                                           | 58 |
| 4.2.12 Mineralização de nitrogênio.....                                                               | 59 |
| 4.3 Análises estatísticas.....                                                                        | 60 |
| 5. Resultados e discussão.....                                                                        | 61 |

|                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1 Desaguamento em contentores de geotêxtil.....                                    | 61  |
| 5.1.2 Análise dos efluentes dos CGs .....                                            | 66  |
| 5.1.3 Análises parasitológicas .....                                                 | 69  |
| 5.4 Uso do lodo na agricultura .....                                                 | 70  |
| 5.4.1 Lodo séptico .....                                                             | 71  |
| 5.4.2 Caracterização do lodo para uso na agricultura e aporte de<br>nutrientes ..... | 73  |
| 5.4.3 Análise de fertilidade do solo.....                                            | 75  |
| 5.4.4 Análises dos metais potencialmente tóxicos .....                               | 84  |
| 5.4.5 Produtividade da cultura.....                                                  | 86  |
| 5.4.6 Plantas invasoras .....                                                        | 89  |
| 5.4.7 Fertilidade foliar .....                                                       | 90  |
| 5.4.8 Caracterização das rosas colhidas.....                                         | 93  |
| 5.4.9 Lixiviação de nitrato e nitrito .....                                          | 100 |
| 5.4.10 Condutividade elétrica da solução do solo .....                               | 102 |
| 5.4.11 Mineralização do nitrogênio.....                                              | 103 |
| 6. Conclusões e considerações finais .....                                           | 105 |
| Referências bibliográficas .....                                                     | 107 |



**Dedicatória**

A minha avó Maria Ferreira Marinho

*In memoriam*



## **AGRADECIMENTOS**

A Deus primeiramente;

Aos meus pais Geraldo Carlos Marinho e Maria Conceição de Oliveira Marinho por todos os incentivos e apoio em minha caminhada acadêmica;

A minha irmã Kesianne Christine de Oliveira Marinho, pela companhia na estrada em boa parte dessa caminhada acadêmica;

A minha esposa Camila Ferraz Marinho por estar do meu lado em todos os momentos importantes

Ao Professor Dr. Bruno Coraucci Filho, pela orientação, confiança, amizade e sábios ensinamentos;

Ao Sr. Gildo, incansável trabalhador que nos prestou auxílio e forneceu o Know-how para o cultivo e desenvolvimento das roseiras;

A todos os professores do departamento de Saneamento e Ambiente por todo conhecimento passado durante esses anos;

Aos amigos do Labreuso, Daniele Tonon Dominato, Noely Bochi Silva, Francisco Anaruma Filho pela ajuda prestada as quais foram essenciais para o desenvolvimento desse trabalho;

Ao Laboratório de Saneamento da FEAGRI por ter nos aberto as portas para realizações das análises referentes ao lodo séptico

Aos bolsistas que tanto auxiliaram nos trabalhos de campo;

A SABESP de Itapetininga, por ter cedido à área e prestado auxílio nas construções necessárias junto ao sistema de tratamento;

Ao Dr. Josué Tadeu Leite França por ter aberto as portas da SABESP e auxiliado na implantação do projeto de pesquisa

Ao CNPq pela bolsa de doutorado e a FINEP pelo financiamento do projeto;

E a todos que participaram de forma direta ou indireta contribuindo com o desenvolvimento desse trabalho.



"O início da sabedoria é a admissão da própria ignorância. Todo o meu saber consiste em saber que nada sei"

Sócrates - Filósofo Grego



## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Evolução percentual das principais variáveis do esgotamento sanitário no Brasil entre os anos 2000 a 2008 .....                                                                                               | 9  |
| Figura 2 - Tanque séptico de câmara única (corte longitudinal).....                                                                                                                                                      | 12 |
| Figura 3 - Quadro de descrição das etapas de tratamento de lodo até a disposição final.....                                                                                                                              | 21 |
| Figura 4 - Vista do tanque séptico de onde foi coletado o lodo para o experimento.....                                                                                                                                   | 42 |
| Figura 5 - a) retirada do lodo do tanque séptico; b) mistura do polímero catiônico junto ao lodo.....                                                                                                                    | 43 |
| Figura 6 - Medição da massa dos contentores de geotêxtil .....                                                                                                                                                           | 44 |
| Figura 7 - Disposição dos contentores de geotêxtil para desaguamento                                                                                                                                                     | 44 |
| Figura 8 - Estufa do tipo arco, onde foi realizado o cultivo das roseiras                                                                                                                                                | 46 |
| Figura 9 - Vista interna da estufa de cultivo .....                                                                                                                                                                      | 47 |
| Figura 10 - Vista dos canteiros utilizados no cultivo das roseiras .....                                                                                                                                                 | 47 |
| Figura 11 - Rosa Hybrida da variedade “Ambiance” que foi utilizada como modelo experimental para aplicação de lodo de tanque séptico.....                                                                                | 49 |
| Figura 12 - Curva característica de retenção da água no solo .....                                                                                                                                                       | 50 |
| Figura 13 - Implantação de sistema de irrigação por gotejamento (a) e detalhes dos tensiômetros (b), instalados nos canteiros que foram utilizados como modelo experimental de aplicação de lodo de tanque séptico. .... | 53 |
| Figura 14 - Pulverização de agrotóxico nas rosas para controle de pragas .....                                                                                                                                           | 54 |
| Figura 15 - Extrator de solução do solo.....                                                                                                                                                                             | 55 |
| Figura 16 - Perda de massa durante o desaguamento do lodo nos diferentes CGs na primeira campanha realizada na ETE do bairro Gramadão da cidade de São Miguel Arcanjo em 2012.....                                       | 62 |

|                                                                                                                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 17 -Perda de massa durante o desaguamento do lodo nos diferentes CGs na segunda campanha realizada na ETE do bairro Gramadão da cidade de São Miguel Arcanjo em 2012..... | 64 |
| Figura 18 - Contentores de geotêxtil utilizados para desaguamento do lodo séptico.....                                                                                           | 71 |
| Figura 19 - Gráfico da evolução da produção de CO <sub>2</sub> pelo teste respirométrico.....                                                                                    | 78 |
| Figura 20 - Número médio de hastes comercializáveis por canteiro ....                                                                                                            | 87 |
| Figura 21 - Gráfico de produtividade média de hastes comercializáveis por canteiro para cada tratamento.....                                                                     | 88 |
| Figura 22 - Crescimento de plantas invasoras (tomate) devido a presença de sementes no lodo séptico.....                                                                         | 90 |
| Figura 23 - Gráfico Boxplot para tamanho das hastes florais nos diferentes tratamentos .....                                                                                     | 95 |
| Figura 24 - Gráfico Boxplot para diâmetro das hastes florais nos diferentes tratamentos .....                                                                                    | 98 |
| Figura 25 - Gráfico de durabilidade das rosas no pós-colheita .....                                                                                                              | 99 |

## LISTA DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Eficiência dos tanques sépticos .....                                                                                                                                                                 | 15 |
| Tabela 2 - Total de lodo de esgoto doméstico produzido (em milhões de toneladas base seca) em alguns países europeus .....                                                                                       | 17 |
| Tabela 3 - Destino final para o lodo em alguns países europeus .....                                                                                                                                             | 22 |
| Tabela 4 - Limite máximo de metais potencialmente tóxicos presentes nos lodos de esgoto ou produtos derivados para uso na agricultura segundo a CONAMA 375 .....                                                 | 34 |
| Tabela 5 - Valores ideais para fertilidade foliar em roseiras segundo diversos autores .....                                                                                                                     | 39 |
| Tabela 6 - Análise granulométrica do solo da estufa onde foram cultivadas as roseiras .....                                                                                                                      | 49 |
| Tabela 7 - Valores referentes à calagem para início do experimento...                                                                                                                                            | 52 |
| Tabela 8 - Valores médios relativos à perda de massa dos CGs nos diferentes tempos (1ª campanha) realizada na ETE do bairro Gramadão da cidade de São Miguel Arcanjo em 2012 .....                               | 61 |
| Tabela 9 - Valores médios relativos a perda de volume dos CGs nos diferentes tempos (2ª campanha) realizada na ETE do bairro Gramadão da cidade de São Miguel Arcanjo em 2012 .....                              | 63 |
| Tabela 10 - Valores médios relativos a perda de volume dos CGs nos diferentes tempos (3ª campanha) realizada na ETE do bairro Gramadão da cidade de São Miguel Arcanjo em 2012 .....                             | 65 |
| Tabela 11 - Redução total de massa nos CG ao final das 3 campanhas                                                                                                                                               | 65 |
| Tabela 12 - Teor de umidade do lodo retido nos CGs (média ± desvio padrão) ao final das três campanhas realizadas .....                                                                                          | 66 |
| Tabela 13 - Análises de pH, alcalinidade e condutividade do efluente dos CGs (média ± desvio padrão) realizada na ETE do bairro Gramadão da cidade de São Miguel Arcanjo em 2012 durante as três campanhas ..... | 67 |

|                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 14 - Sólidos em suspensão no efluente (média $\pm$ desvio padrão) dos CGs realizada na ETE do bairro Gramadão da cidade de São Miguel Arcanjo em 2012 durante as três campanhas .....                    | 67 |
| Tabela 15 - Valores médios para fósforo e série nitrogenada (média $\pm$ desvio padrão) no efluente dos CGs realizada na ETE do bairro Gramadão da cidade de São Miguel Arcanjo durante as três campanhas ..... | 68 |
| Tabela 16 - Análises microbiológica realizada no efluente dos CGs realizada na ETE do bairro Gramadão da cidade de São Miguel Arcanjo em 2012 durante as três campanhas.....                                    | 69 |
| Tabela 17 - Resultado das análises de ovos de helmintos no lodo de tanque séptico retido nos contentores de geotêxtil ao final das três campanhas realizadas                                                    | 70 |
| Tabela 18 - Resultados quanto à presença de bactérias do grupo coliforme no lodo retido dentro dos contentores de geotêxtil ao final das três campanhas realizadas.....                                         | 70 |
| Tabela 19 - Valores médios da série de sólidos e série nitrogenada do lodo séptico utilizado para a aplicação no solo de cultivo das roseiras.....                                                              | 72 |
| Tabela 20 - Valores médios da fertilidade do lodo desaguado aplicado no solo para matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, soma de bases e capacidade de troca catiônica .....  | 74 |
| Tabela 21 - Valores médios para fertilidade do lodo desaguado aplicado no solo para saturação por bases, enxofre, sódio, ferro, manganês, cobre, zinco e boro .....                                             | 74 |
| Tabela 22 - Valores médios encontrados no solo de cultivo após a aplicação do lodo séptico correspondentes a pH, matéria orgânica, fósforo e potássio .....                                                     | 75 |
| Tabela 23 - Valores médios referentes aos teores de cálcio, magnésio, sódio, acidez potencial, soma de bases e capacidade de troca catiônica no solo de cultivo após aplicação do lodo séptico .....            | 80 |
| Tabela 24 - valores médios referentes a saturação por bases, sódio, porcentagem de sódio trocável boro e nitrogênio no solo de cultivo .....                                                                    | 82 |
| Tabela 25 - Valores médios encontrados no solo de cultivo para os metais potencialmente tóxicos.....                                                                                                            | 85 |

|                                                                                                                                                                                                                         |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 26 - Valores médios de produtividade de hastes de rosas (mil dúzias de rosas ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ) .....                                                                                          | 88  |
| Tabela 27 - Valores médios obtidos na fertilidade foliar para nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre.....                                                                                            | 90  |
| Tabela 28 - Valores médios obtidos na fertilidade foliar para ferro, manganês, cobre, zinco e boro.....                                                                                                                 | 91  |
| Tabela 29 - Valores médios encontrados para caracterização da qualidade do produto final colhido na estufa de cultivo quanto ao tamanho das hastes, diâmetro do caule, diâmetro do botão e altura do botão floral ..... | 94  |
| Tabela 30 - Frequência encontrada quanto aos diferentes tamanhos das hastes colhidas (em cm) nos tratamentos estudados .....                                                                                            | 96  |
| Tabela 31 - Frequência de hastes florais maiores ou iguais a 0,6 cm nos diferentes tratamentos.....                                                                                                                     | 98  |
| Tabela 32 - Concentração de nitrato nos extratores de solução do solo nas diferentes profundidades avaliadas.....                                                                                                       | 100 |
| Tabela 33 - Condutividade elétrica encontrada na solução do solo a 25 °C nos diferentes tratamentos após cultivo das roseiras com lodo séptico e adubação mineral .....                                                 | 102 |
| Tabela 34 - Determinação da fração de mineralização de nitrogênio do lodo séptico desaguado proveniente do tanque séptico de São Miguel arcanjo.....                                                                    | 103 |





## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                                                                                                     |                                                                        |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| B - Boro                                                                                            | EPA - Agência de proteção ambiental Americana                          |
| Ca - Cálcio                                                                                         | ETE - Estação de tratamento de esgoto                                  |
| CaCO <sub>3</sub> - Carbonato de cálcio                                                             | Fe - Ferro                                                             |
| Cd - Cádmi                                                                                          | FEC - Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo da Unicamp |
| CE - Condutividade elétrica                                                                         | FM - Fração de mineralização                                           |
| CE <sub>es</sub> - condutividade elétrica no extrato de saturação                                   | H+Al - Acidez potencial                                                |
| CEPAGRI - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura                   | HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> - íon bicarbonato                        |
| CE <sub>scp</sub> - condutividade elétrica da solução do solo obtida com extrator de cápsula porosa | IAC - Instituto Agrônomo de Campinas                                   |
| CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo                                                 | IBGE - Instituto Brasileiro de geografia e estatística                 |
| CG - Contentor de geotêxtil                                                                         | K - Potássio                                                           |
| CONAMA - Conselho nacional do meio ambiente                                                         | kPA - Quilo Pascal                                                     |
| Cr - Cromo                                                                                          | Mg - Magnésio                                                          |
| CTC - Capacidade de troca catiônica                                                                 | MgO - óxido de magnésio                                                |
| Cu - Cobre                                                                                          | MO - Matéria Orgânica                                                  |
| DBO - Demanda bioquímica de oxigênio                                                                | N - Nitrogênio                                                         |
| DQO - Demanda química de oxigênio                                                                   | Na - Sódio                                                             |
| <i>E. coli</i> - <i>Escherichia Coli</i>                                                            | Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> - Carbonato de sódio                   |
|                                                                                                     | NaOH - Hidróxido de sódio                                              |
|                                                                                                     | NBR - Norma técnica brasileira                                         |
|                                                                                                     | NC - Necessidade de calcário                                           |
|                                                                                                     | Ni - Níquel                                                            |

NMP - Número mais que provável

$\text{NO}_2^-$  - Nitrito

$\text{NO}_3^-$  - Nitrato

NPK - Adubo mineral contendo nitrogênio, fósforo e potássio

Ntotal - Nitrogênio total

OMS - Organização Mundial de Saúde

P - Fósforo

Pb - Chumbo

PEBD - polietileno de baixa densidade

PRNT - Poder relativo de Neutralização total

PST - Porcentagem de sódio trocável

RAS - Razão de Adsorção de sódio

S - Enxofre

SB - Soma de bases

T - toneladas

UNICAMP - universidade estadual de Campinas

$U_s$  - umidade do solo na pasta saturada

$U_{scp}$  - umidade do solo no momento da extração pelo extrator

uT - unidade de turbidez

V% - Saturação por bases

Zn - Zinco

# 1. INTRODUÇÃO

No mundo inteiro existe uma crescente preocupação com o meio ambiente. Ao mesmo tempo, as questões ligadas a ele têm sido gradualmente ampliadas com novos conceitos, como o desenvolvimento sustentável, o que implica não apenas nas responsabilidades ecológicas, mas também nas econômicas e sociais. Nesse ponto de vista, o tratamento de lodo de esgoto é um dos desafios mais significativos na gestão de águas residuais (FYTILI e ZABANIOTOU, 2008).

A destinação adequada do lodo de esgoto é assunto importante e tem grande importância na sociedade atual. Existe a necessidade de se promover um destino final nobre, ecologicamente correto e economicamente viável a esses resíduos visando a minimização da poluição ambiental. Além disso, é necessário buscar formas de reciclagem desse material sendo que dentre elas, a mais recomendada pelo estado da arte é a reciclagem dos seus nutrientes que ocorre pelo seu uso como condicionador de solo devido ao seu potencial como fertilizante agrícola. A reciclagem da matéria orgânica e dos nutrientes presentes neste resíduo é o principal benefício para o ambiente, que pode substituir parcialmente também o uso de adubos químicos (COSCIONE *et al.*, 2010).

Por essa razão no Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), em 2006, definiu através da Resolução nº 375 os critérios e procedimentos legais quanto ao uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto (ETE) e seus produtos derivados (BRASIL, 2006). Essa legislação visa promover o uso adequado deste resíduo que, sem os cuidados necessários, pode provocar contaminação do solo e de recursos hídricos além de afetar a saúde da população com a produção de alimentos contaminados por patógenos.

A Resolução CONAMA nº 375 de 2006 representa um ganho tanto para os geradores de lodo, uma vez que foi viabilizada um meio adequado e seguro de disposição final de lodos de esgoto, quanto para o ambiente e a sociedade em geral, pois promove a segurança ambiental e melhoria da saúde pública (COSCIONE *et al.*, 2010).

O Brasil gerava em 2012 cerca de 140 mil toneladas de lodo/base seca ao mês (BASTOS, 2012). É de consenso geral que todo lodo gerado deve ser tratado e destinado de forma ambientalmente segura. Os métodos mais comuns para a disposição final desses resíduos no Brasil são: I) disposição em aterros sanitários, II) aplicação na agricultura, III) incineração. Esses métodos de disposição final devem ser empregados de forma segura, uma vez que eles não estão isentos de inconvenientes. Como compostos tóxicos presentes no lodo podem inviabilizar o uso na agricultura e o processo de incineração é relativamente caro (gerando ainda emissões), a disposição de lodo em aterros sanitários segue como a forma mais comum de destinação desse resíduo no país (PEDROZA *et al.*, 2010). Porém essa prática tem como desvantagem a diminuição da vida útil dos aterros sanitários, os quais originalmente foram projetados para receber resíduos sólidos urbanos.

Dessa forma, o trabalho foi desenvolvido tendo como hipótese central que a aplicação do lodo séptico em cultura de roseiras favorece a reciclagem de nutrientes no solo, além de aumentar a produtividade de rosas, não trazendo prejuízos ao meio ambiente. Nesse sentido, com o desenvolvimento da pesquisa buscou-se a validação das seguintes hipóteses:

H1 – O lodo após ser retirado do tanque séptico pode ser desaguado *in situ* utilizando contentores de geotêxtil para posterior transporte até o sítio de aplicação na agricultura. Ainda assim, por se tratar de um lodo potencialmente digerido apenas o deságue do lodo é o suficiente para adequá-lo quanto às características necessárias para aplicação em cultura agrícola.

H2 – O lodo séptico desaguado possui todos os nutrientes necessários para o cultivo de roseiras, culminando na sua aplicação na economia com adubos minerais. Assim sendo, a disponibilidade desses nutrientes, junto à matéria orgânica presente no lodo é capaz de aumentar a produtividade de rosas em comparação ao cultivo convencional.

H3 – A aplicação de lodo séptico não traz prejuízos ao solo, quanto a concentração de metais potencialmente tóxicos e demais compostos fitotóxicos. A incorporação do lodo no solo, na demanda da planta por nitrogênio, não leva a lixiviação de nitrato e portanto não apresenta risco de contaminação das águas subterrâneas.

H4 – As rosas colhidas dos tratamentos em que o lodo séptico foi utilizado apresentam qualidades iguais ou superiores ao tratamento adubado com adubo mineral, devido ao teor de nutrientes presentes no lodo.

Para a verificação dessas hipóteses propostas, o presente estudo foi constituído de duas etapas distintas, a primeira delas, onde foi realizado o o desaguamento/estabilização do lodo séptico no próprio campo onde ele era produzido e a segunda etapa que correspondeu a destinação final do lodo através da sua utilização na agricultura na produção de rosas.



## **2. OBJETIVO**

### **2.1. Objetivo geral**

O objetivo desse trabalho foi avaliar o desaguamento do lodo de tanque séptico pela utilização de contentores de geotêxtil e avaliar sua utilização na cultura de roseiras, avaliando as alterações no sistema solo-planta e no lixiviado.

### **2.2. Objetivos específicos**

Os objetivos específicos foram:

- Avaliar o desaguamento do lodo séptico em contentores de geotêxtil com diferentes malhas
- Avaliar as características agronômicas e microbiológicas de lodos desaguados por contentores de geotêxtil;
- Avaliar no solo e na planta, as alterações ocasionadas pela aplicação do lodo séptico desaguado;
- Avaliar a qualidade e produtividade de rosas adubadas com lodo séptico desaguado;
- Avaliar a concentração no lixiviado de nitrato e nitrito





### **3. REVISÃO DA LITERATURA**

#### **3.1. O tratamento de esgoto**

Na constituição Brasileira de 1988, nos incisos VI e IX do artigo 23, estabelece que é de competência comum da União, dos estados, do Distrito Federal e dos municípios brasileiros proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer das suas formas, bem como promover programas de construção de moradias e a melhoria do saneamento básico. Já os incisos I e V do artigo 30 estabelecem como atribuição municipal legislar sobre assuntos de interesse local, especialmente quanto à organização de seus serviços público (BRASIL, 1988).

Dessa forma, dentre as diversas prioridades para uma administração municipal, encontra-se a de se ter um sistema de esgotamento sanitário contendo uma rede coletora, que possa atender na totalidade das residências, emissários e interceptores devidamente executados, e, um sistema de tratamento para águas residuárias domésticas. Tal planejamento e construção desse sistema, com eficiência, em uma cidade tanto de pequeno, médio ou grande porte é um desafio para os administradores e fundamental para que se consiga melhoria da qualidade de vida de uma população. O principal objetivo é o de se evitar o despejo doméstico ou mesmo industrial nos corpos d'água preservando a qualidade dos rios, córregos e outros (DE OLIVEIRA NETTO, 2007).

Os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água, sendo o restante constituído por compostos sólidos orgânicos e inorgânicos, em suspensão e dissolvidos e até mesmos os micro-organismos. A característica desses esgotos é dependente do uso na qual a água foi submetida sendo que esses variam com o clima, o nível social e econômico, bem como os hábitos populacionais (VON SPERLING, 2005).

O aumento populacional e da demanda de água, tem levado a uma necessidade de melhor gerenciamento dos recursos disponíveis. Dessa forma, aumenta a necessidade pelo tratamento dos esgotos visando a preservação das águas ou até mesmo a possibilidade de reciclagem de água e ou nutrientes. Entretanto, esses esforços têm falhado, sobretudo, nos países em desenvolvimento, uma vez que há falta de mão de obra qualificada, falta de recursos para operação, manutenção e novos investimentos. Consequentemente, para essas regiões, há uma necessidade do desenvolvimento de tecnologias simplificadas as quais não possuam equipamentos sofisticados e demandem baixo custo de implementação, operação e manutenção (AIYUK *et al.*, 2006).

O combate à poluição dos corpos d'água é de suma importância, uma vez que a água constitui ao elemento chave para o desenvolvimento sócio econômico e o conforto do ser humano. Assim como a distribuição da água não é homogênea no mundo, o seu consumo também não é. Na Europa, estima-se que o consumo per capita de água seja em torno de  $3.000 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$ , enquanto que nos Estados Unidos esse valor sobe para  $9.985 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$  e em países em desenvolvimento esse valor baixa para  $200 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$  ou mesmo chegam a valores extremos de  $20 \text{ L dia}^{-1}$  em Mali e Haiti (BENNAMOUN, 2012).

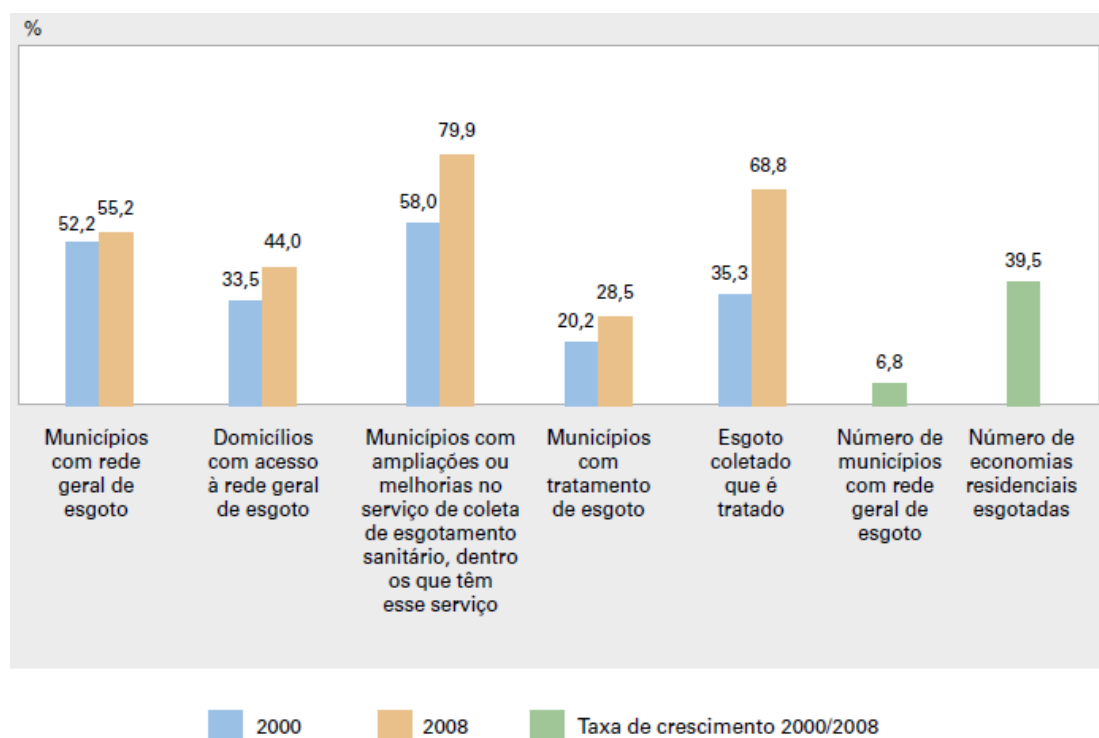
### **3.2. Saneamento no Brasil**

No mundo inteiro, cerca de 35% da população não tem nenhum tipo de serviço de saneamento básico (WHO, 2008). Estima-se que não será possível conseguir atingir a meta que foi proposta pelas Nações Unidas que estabelece que até 2015 deveria ocorrer uma redução em 50% do número de pessoas sem acesso a água de qualidade

No Brasil, cerca de 40% da população rural possui algum serviço de saneamento e quase 90% da população urbana tem esse serviço a sua disposição

(IBGE, 2010), embora muitas vezes seja feito apenas a coleta de esgoto. Segundo a Organização Mundial da Saúde nos países desenvolvidos, esse número pode chegar a 100% (WHO, 2011). A Figura 1 apresenta o aumento dos serviços de saneamento no Brasil entre os anos 2000 e 2008

**Figura 1 - Evolução percentual das principais variáveis do esgotamento sanitário no Brasil entre os anos 2000 a 2008**



Fonte: IBGE (2010)

Esses dados mostram que houve um aumento cerca de 7% do número de municípios com rede geral de esgoto e de quase 40% de residências com esgotamento sanitário.

Existe uma pressão sobre os órgãos públicos no sentido de ampliar o número de estações de tratamento de esgotos em cidades grandes, médias e pequenas, na tentativa de solucionar o problema de poluição das águas, da escassez de recursos hídricos e da saúde pública, o que poderia garantir o estado de completo

bem-estar físico, mental e social da população (MOTA e VON SPERLING, 2009; COSCIONE *et al.*, 2010).

### 3.3 Tanques sépticos

O sistema tanque séptico, seguido de uma vala de infiltração ou sumidouro, corresponde a um processo de tratamento simples localizado "*in situ*", que consiste no método mais comum de tratamento de efluente doméstico em área rural e locais afastados, onde a instalação de um sistema de esgotamento sanitário é tecnicamente e economicamente inviável (DIAK *et al.*, 2013). Esse sistema apresenta baixo requerimento técnico e energético, assim como pequeno espaço para montagem, e os detalhes do tanque séptico já são de conhecimento geral, desde 1881, tendo desde então havido poucas ou nenhuma alteração no seu projeto e funcionamento (LUOSTARINEN *et al.*, 2006).

O tanque séptico foi inventado em 1872, na França, por Jean Louis Mouras. Consistia em um tanque hermeticamente fechado na qual os esgotos passavam por meio de tubulações submersas na massa líquida. A matéria orgânica suspensa presente no esgoto era então retida, de forma que a água seguia até o sumidouro, podendo infiltrar no solo (ANDRADE NETO, 1997)

Em países em desenvolvimento, contexto na qual se encaixa o Brasil, o tratamento de esgoto sanitário é deficiente, mas visando a melhoria da qualidade de vida da população, deve ser proposta a universalização do tratamento do esgoto, uma vez que esse está intimamente ligada a saúde da população e preservação ambiental (VON SPERLING e CHERNICHARO, 2002). Nesse ponto de vista, a implantação de sistema de tanque séptico, seguido por filtro anaeróbio, pode ser utilizado como forma gradual, para alcançar a totalização da coleta e tratamento dos esgotos domésticos, para áreas isoladas (DA SILVA *et al.*, 2013).

Segundo levantamento do IBGE (2010), 42% dos domicílios brasileiros utilizam fossa/ tanque séptico como alternativa de tratamento dos seus efluentes, sendo

aproximadamente 23% de tanques sépticos e 19% de fossas rudimentares. Este percentual corresponde a uma população aproximada de 79 milhões de pessoas. Nos Estados Unidos da América, até o início dos anos 2000 existiam mais de 24 milhões de tanque sépticos que eram responsáveis pelo tratamento de aproximadamente um quarto dos domicílios norte americanos, o que corresponde a 60 milhões de pessoas (HARRISON e MOFFE, 2003).

O tanque séptico não proporciona qualidade suficiente ao esgoto tratado para lançamento em corpos receptores, mas produz um efluente que apresenta melhores condições para receber um pós-tratamento. O tratamento complementar para o tanque séptico geralmente é realizado em filtro anaeróbio, filtro de areia ou vala de filtração. O tanque séptico tem como vantagem a possibilidade de ser flexível quanto as variações na qualidade do efluente que recebe, sendo que suporta altas cargas orgânica ou concentração de substâncias tóxicas. Além disso, esse sistema de tratamento não requer inóculos para o seu start-up e possui uma necessidade de retirada de lodo em tempos esporádicos. (ANDRADE NETO, 1997).

Estudos realizados demonstraram algumas melhorias no sistema de tratamento pela utilização de reatores UASB, após a passagem do efluente pelo tanque séptico, e sugerem a necessidade de mais estudos comprobatórios em escala real (DA SILVA *et al.*, 2013). O sistema tanque séptico seguido de um reator anaeróbio de fluxo ascendente seria a forma mais eficaz de tratamento de efluente para comunidades isoladas, mas que a falta de infraestrutura do Brasil disseminou como forma mais comum a combinação tanque séptico seguido de filtro anaeróbio de fluxo horizontal para tratamentos de esgotos coletivos (OLIVEIRA *et al.*, 2006).

Tanque séptico é definido na NBR 7229 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1993), como “unidade cilíndrica ou prismática retangular de fluxo horizontal para tratamento de esgotos por processos de sedimentação, flotação e digestão”.

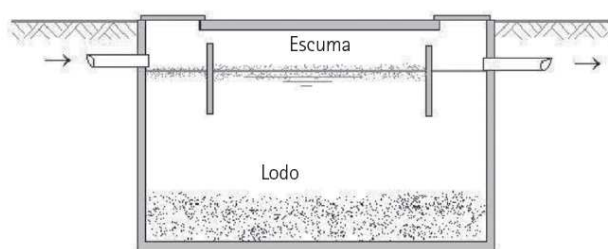
Segundo Andreoli (2009), o tanque séptico é uma unidade de tratamento de esgotos, onde o efluente final tem um destino final que pode ser pela infiltração no solo através de sumidouro ou valas de infiltração, enquanto que a fossa é uma unidade para disposição final de esgoto. Portanto, os dois sistemas são funcionalmente distintos.

### 3.3.1 Aspectos construtivos

Tanques sépticos (Figura 2) são, basicamente, tanques simples ou divididos em compartimentos horizontais ou verticais, utilizados com o objetivo de reter por sedimentação os sólidos suspensos contidos nos esgotos, propiciar a decomposição dos sólidos orgânicos sedimentados no seu próprio interior e acumular temporariamente os resíduos, com volume reduzido pela digestão anaeróbia, até que sejam removidos em períodos de meses ou anos.

Como o próprio nome sugere o tanque séptico de câmara única é constituído por um único compartimento, onde na sua porção superior ocorrem processos de sedimentação, flotação e digestão da espuma, enquanto na porção inferior ocorrem processos de acúmulo e digestão de lodo sedimentado.

**Figura 2 - Tanque séptico de câmara única (corte longitudinal)**



Fonte: Andrade Neto (1997)

Na superfície do tanque, fica acumulada a espuma, formada a partir de sólidos flotáveis, como óleos e graxas, enquanto o lodo sedimenta no fundo do tanque, compreendendo de 20 a 50% do volume total do tanque séptico quando esgotado. Um tanque séptico usualmente retém de 60 a 70% dos sólidos suspensos, óleos e graxas que passam pelo sistema. Uma parte dos sólidos é removida do esgoto e armazenada

no tanque enquanto outra parte é digerida. Acima de 50% dos sólidos retidos no tanque se decompõe, enquanto o remanescente se acumula como lodo no fundo do tanque e deve ser periodicamente removido por bombeamento (US EPA, 2000).

Comparado a outras tecnologias de tratamento, o tanque séptico ocupa uma área menor, não necessita de mão de obra qualificada na sua manutenção, tem pouco requerimento operacional e de manutenção, é de baixo custo de implantação e gera uma menor quantidade de lodo que os sistemas aeróbios (SABRY, 2010).

Embora tenham sido mais aplicados para pequenas vazões, os tanques sépticos prestam-se, também, para tratar vazões médias e grandes, principalmente quando construídos em módulos. O fato de continuar a ser utilizado há mais de cem anos e de ser a unidade de tratamento de esgotos mais utilizada ainda hoje, revela a aplicabilidade generalizada do tanque séptico.

Segundo Andreoli (2009) as grandes vantagens dos tanques sépticos, em comparação a outros reatores anaeróbios, e de resto com todas as opções de tratamento de esgotos, estão na construção muito simples, na operação extremamente simples e eventual e nos custos. Para vazões pequenas e médias, os custos e a simplicidade construtiva e operacional são incomparáveis.

Existem, na verdade, diversas alternativas de sistemas de tratamento de esgoto para pequenos municípios que podem ser utilizadas de forma individual ou coletiva. A NBR 7229/1993 da ABNT normaliza as questões de projeto, construção e operação dos tanques sépticos, enquanto a NBR 13969/1997 dispõe sobre projeto, construção e operação de unidades complementares de tratamento e de disposição final de efluentes líquidos. As várias alternativas disponíveis para tratamento complementar, ou seja, após o esgoto receber um pré-tratamento em tanque séptico, sugeridas pela Norma são: filtro anaeróbio de leito fixo com fluxo ascendente; filtro aeróbio submerso; valas de filtração e filtros de areia; lodo ativado por bateladas; e lagoa com plantas aquáticas. Já as alternativas para disposição final citada pela norma são: vala de infiltração; canteiro de infiltração e de evapotranspiração; sumidouro.

Segundo Panswad e Komolmethe (1997) o tempo de detenção hidráulico pode variar entre 22,5 a 90 horas, sendo que eles recomendam que não seja abaixo de 48 horas. Já a ABNT (1997) estipula tempo de detenção hidráulico em razão da temperatura média e da vazão de efluente, variando de 12 a 28 horas. É de grande importância determinar a profundidade da qual os sólidos devem ser removidos dos tanques sépticos, uma vez que pode impactar no tempo de detenção hidráulica influenciando todo o funcionamento e custos de manutenção envolvidos (LOSSING *et al.*, 2010).

### **3.3.2 Eficiência do processo**

Como o processo de tratamento de efluentes por tanque séptico de câmara única ocorre em um único compartimento onde ocorrem as etapas de retenção, decantação e digestão, pode-se dizer que o tanque séptico atua como um decanto-digestor, onde as etapas ocorrem simultaneamente. A retenção ocorre em um período que pode variar de 12 a 24 horas, de acordo com as características de seu efluente. Nessa etapa, cerca de 60 a 70% dos sólidos em suspensão são sedimentados formando o lodo. Óleos, graxas e gorduras forma a espuma que flota no líquido. Na digestão, tanto os sólidos decantados correspondentes ao lodo, quanto a espuma na superfície são digeridos pela ação das bactérias anaeróbias ou facultativas (FURTADO, 2012). Entretanto, pode ocorrer uma variação grande nesses números uma vez que a falha na manutenção do tanque pode ocasionar perdas na eficiência do tratamento.

A eficiência dos tanques sépticos depende de vários fatores: carga orgânica, carga hidráulica, geometria, compartimentos e arranjo das câmaras, dispositivos de entrada e saída, temperatura e condições de operação. Portanto, a eficiência varia bastante em função do projeto. Normalmente situa-se entre 40 e 70% na remoção da demanda bioquímica (DBO) ou química (DQO) de oxigênio e 50 a 80% na remoção dos sólidos suspensos. Logicamente, os reatores mais bem projetados e operados apresentam resultados melhores.



Várias pesquisas avaliaram a eficiência do tratamento de esgoto por meio de tanques sépticos e seus resultados estão apresentados na Tabela 1, a qual demonstra a grande variabilidade da eficiência do tratamento de esgotos domésticos pelos tanques sépticos.

**Tabela 1 - Eficiência dos tanques sépticos segundo diferentes autores da literatura**

| Parâmetros                   | Azevedo Netto e Hess (1970) | Macintyre (1996) | Von Sperling <i>et al.</i> (1996) | Andrade Neto <i>et al.</i> (1999) | Metcalf e Eddy (2003) | Jordão e Pessoa (2005) | Nascimento e Castro (2005) |
|------------------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------|
| DBO                          | 40 a 60%                    | 30 a 60%         |                                   | 40 a 70%                          | 33 a 63%              | 30%                    | 40 a 60%                   |
| DQO                          | 30 a 60%                    |                  |                                   | 50 a 80%                          |                       |                        | 30 a 60%                   |
| Sólidos em suspensão         | 50 a 70%                    | 50 a 70%         | 60 a 70%                          |                                   | 53 a 83%              | 50%                    | 50 a 70%                   |
| Sólidos sedimentáveis        | 85 a 95%                    |                  |                                   |                                   |                       |                        | 85 a 95%                   |
| Óleos e graxas               | 70 a 90%                    | 70 a 90%         |                                   |                                   |                       |                        | 70 a 90%                   |
| Nitrogênio amoniacal         |                             |                  |                                   |                                   |                       |                        | 0 a 10%                    |
| Nitrogênio total             |                             |                  |                                   |                                   |                       |                        | 0 a 10%                    |
| Micro-organismos patogênicos |                             |                  | 30 a 40%                          |                                   |                       |                        |                            |
| Coliformes totais            |                             |                  |                                   |                                   |                       |                        | 20 a 60%                   |

Fonte: Borges (2009)

### 3.4. Lodos de esgoto

O esgoto doméstico é composto de 99,9% de água e 0,1% de sólidos. Desses sólidos, 70% correspondem a substâncias orgânicas como proteínas, carboidratos e gorduras e os restantes 30% aos inorgânicos como partículas minerais (areia principalmente), sais e metais (FERNANDES *et al.*, 2000). O lodo de esgoto corresponde ao resíduo formado no tratamento de águas residuárias, quando ocorre essa separação das fases sólida e líquida. O líquido separado é descarregado no ambiente aquoso, enquanto que o lodo é removido para posterior tratamento e disposição final. Esse lodo, embora seja considerado um resíduo sólido, é usualmente

líquido ou semissólido e seu conteúdo de material seco varia de 0,25 a 12% em massa (METCALF e EDDY, 2002). O lodo primário corresponde ao lodo constituído pelos sólidos em suspensão removidos do esgoto bruto, enquanto que o lodo secundário é constituído principalmente pelos micro-organismos (biomassa\_ que se reproduzem às custas da matéria orgânica presente no esgoto. A quantidade de lodo produzida em um sistema de tratamento de esgoto varia de acordo com os diferentes tipos de tratamentos empregados. Na Europa, por exemplo, a produção de lodo resultante do tratamento de esgoto situa-se na média de 90 g de lodo por pessoa por dia (DAVIS, 1996), e o volume de lodo gerado em um sistema de tratamento de efluentes pode chegar a até 3% do volume total de esgoto tratado (WZOREK, 2012).

Dos constituintes removidos pelo tratamento de esgoto, o lodo é o de maior volume e, portanto, seus métodos de manejo e as técnicas de disposição final são de grande importância. A não aplicação de um método eficaz de disposição do lodo de esgoto culminaria na falha de qualquer conceito de proteção das águas (FYTILI e ZABANIOTOU, 2008). Além disso, nos últimos anos em diversos países expandiram de forma extensiva seus processos de coleta e tratamento de efluentes, o que culminará em uma maior produção de lodo nos próximos anos (WZOREK, 2012).

Com o aumento da preocupação de se combater a poluição ambiental, as legislações referentes ao lançamento de efluentes em diversos países tendem a se tornar cada vez mais restritivas necessitando na remoção de vários poluentes presentes nos efluentes. Em grande parte das vezes, isso leva a um acréscimo na produção de lodo pelas estações de tratamento de esgotos. A China, país com maior número de habitantes do mundo, no ano de 2009 foram produzidas mais que 9,18 milhões de toneladas de lodo de esgoto seco (DENG *et al.*, 2009). A Tabela 2 apresenta os dados com relação a quantidade de lodo produzido em países europeus ao longo da década de passada.

**Tabela 2 - Total de lodo de esgoto doméstico produzido (em milhões de toneladas base seca) em alguns países europeus ao longo dos anos**

| Países        | Anos |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|               | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Bélgica       | 101  | 112  | 118  | 109  | 116  | 113  | 128  | 129  | 140  | -    |
| Bulgária      | 48   | 45   | 40   | 43   | 58   | 42   | 38   | 40   | 43   | 39   |
| Rep. Tcheca   | 207  | 206  | 211  | 180  | 179  | 172  | 175  | 172  | 220  | -    |
| Alemanha      | -    | 2429 | -    | -    | -    | 2261 | 2170 | 2049 | -    | -    |
| Irlanda       | 34   | 38   | -    | -    | -    | 60   | -    | -    | -    | -    |
| Grécia        | -    | 68   | 78   | 80   | 83   | 117  | 126  | 134  | 136  | 152  |
| Espanha       | 853  | 892  | 987  | 1012 | 1092 | 1121 | 1065 | 1153 | 1156 | 1205 |
| França        | -    | 954  | -    | -    | 1060 | -    | -    | -    | 1087 | -    |
| Hungria       | 102  | 115  | 117  | 152  | 184  | -    | -    | 260  | -    | -    |
| Países Baixos | 346  | 358  | 365  | 353  | 354  | 359  | 373  | 353  | 353  | -    |
| Áustria       | 315  | -    | 323  | -    | 305  | -    | 255  | -    | 254  | -    |
| Polónia       | 360  | 397  | 436  | 447  | 476  | 486  | 501  | 533  | 567  | 563  |
| Reino Unido   | -    | 1527 | 2544 | 2656 | 1721 | 1771 | 1809 | 1825 | 1814 | 1761 |

Fonte: Chen *et al.* (2002)

### 3.4.1 Lodos sépticos

Em sistemas de tratamento de esgoto localizados, individualizados e pequenos como o caso dos tanques sépticos, a gestão do lodo corresponde a um fator crucial para o correto funcionamento do mesmo. O acúmulo, limpeza, tratamento e destino final do lodo podem corresponder a uma alta porcentagem dos custos envolvidos para esses sistemas de tratamento (LOSSING *et al.*, 2010).

Vários estudos foram desenvolvidos visando determinar o tempo necessário e o correto manejo na retirada do lodo de tanques sépticos. A limpeza do lodo deve ocorrer com a retirada da porção correspondente a profundidade de 33%, 48% e 50% respectivamente dos tanques sépticos (GRAY, 1995; KINSLEY *et al.*, 2005; MAUNOIR *et al.*, 2007). Por sua vez a USEPA (2002) recomenda que o lodo e a espuma não devem ultrapassar 30% do volume total do tanque e que a limpeza deve ocorrer quando houver perda de um dos dois no efluente do tanque séptico (US EPA, 2002).

Em um sistema de tratamento de esgoto doméstico descentralizado e coletivo realizado por tanque séptico é de grande importância uma avaliação individual para determinação da taxa de acúmulo de sólidos e produção de lodo e espuma nos tanques sépticos. Essas avaliações *in situ* permitem a tabulação de dados e análise estatística para determinar os tempos e fatores críticos da produção do lodo séptico. A falta da retirada do lodo na frequência demandada pelo sistema pode ocasionar uma falha no tratamento e pior qualidade de efluente final (LOSSING *et al.*, 2010). Em sistemas individualizados, a limpeza pode ocorrer por meio de caminhão com vácuo (caminhões limpa-fossa) ou mesmo de forma manual. Como é o proprietário do imóvel o responsável pela limpeza e pagamento dos custos envolvidos é comum a falha na frequência recomendada ou mesmo a limpeza manual. Muitos tanques sépticos contidos nesse contexto têm seus sólidos retirados apenas quando há transbordamento pelo acúmulo exagerado ou mesmo quando há a presença de odores muito fortes (YEN-PHI *et al.*, 2010). Normalmente, a retirada de lodo por caminhões limpa fossa promovem o revolvimento de todo o conteúdo do tanque séptico, sendo, portanto retirado uma mistura de esgoto e lodo. Dessa forma, as características do lodo de fossas e tanques sépticos podem ser similares à de um esgoto concentrado, porém com elevada concentração de sólidos grosseiros, areia e materiais graxos (INGUNZA *et al.*, 2009).

Alguns trabalhos realizados nos últimos anos (PALMER-FELGATE *et al.*, 2010; WITHERS *et al.*, 2011) têm apontado o sistema de tanque séptico como fator de contribuição para poluição difusa e aumento do risco de eutrofização em corpos hídricos, principalmente na zona rural. Muitas vezes isso ocorre pelo mau funcionamento do sistema. Na área rural da Austrália, dois terços dos tanques sépticos de Queensland, até o ano de 2005 necessitavam da remoção do lodo ou possuíam sumidouro deficiente (AHMED *et al.*, 2005), 80% dos tanques sépticos estavam também em má operação o que faziam desses tanques sépticos uma potencial fonte de contaminação de fósforo nos corpos d'água próximos (ARNSCHEIDT *et al.*, 2007).

Existe, portanto uma necessidade de intervenção do governo, por meio de campanhas educativas e auxílio à população mais carente para que ocorra a correta operação desses sistemas individualizados de tratamento de esgotos.

Além disso, no Brasil, muitas empresas que são responsáveis pela limpeza de fossas/tanque sépticos não possuem licenciamento no órgão ambiental competente e não fornecem a destinação final adequada que o resíduo esgotado de tanque séptico requer. Ainda assim, quando há fiscalização pelos órgãos competentes, esses lodos são geralmente encaminhados a estações de tratamento de esgoto sem que haja previamente um estudo dos possíveis impactos causados pelo material, pois promovem grandes variações nas cargas orgânicas e inorgânicas do esgoto a ser tratado o que pode comprometer o desempenho das Estações de Tratamento de Esgoto (SUNTTI *et al.*, 2011).

Segundo Philip (1993) a estimativa de acúmulo de lodo em tanque séptico é de 60 a 82 L pessoa<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>. Ainda segundo o autor, é possível determinar a eficiência do sistema pela taxa de acúmulo de lodo, sendo que um tanque em bom funcionamento possui taxa de acúmulo de lodo abaixo de 0,175 L pessoa<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> enquanto que um tanque séptico em operação deficiente acumulará uma quantidade maior que 0,225 L pessoa<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>.

Em média, um tanque séptico de 2,720 m<sup>3</sup>, é suficiente para atender a uma residência de quatro pessoas, requer limpeza de lodo a cada cinco anos para manter o tempo de detenção hidráulico próximo a dois dias (GRAY, 1995). Entretanto, esses valores bem como a taxa de produção de lodo pode variar muito de região para região e de acordo com a classe social uma vez que as características do esgoto bruto e o uso da água influenciam nesses valores (LOSSING *et al.*, 2010).

A composição química dos lodos sépticos é variável, de acordo com a sua origem. Cerca de 83% da matéria seca presente nesse lodo é de origem orgânica e possui grandes quantidades de fósforo, nitrogênio e potássio, que em sua maioria provem das excretas humanas (STRAUSS e HEINSS, 1995). Além disso, pequenas

concentrações de metais potencialmente tóxicos podem ser encontradas, uma vez que fazem parte de diversos produtos utilizados pelos seres humanos, como cosméticos, xampus, desinfetantes, combustíveis, medicamentos, pesticidas, entre outros (ANDREOLI, 2006)

Os organismos patogênicos podem também estar presentes, de acordo com o nível de contaminação da população. Esse fator é dependente das condições socioeconômicas e sanitárias da população. No Brasil, em geral, cinco grupos de organismos podem estar presentes no lodo: vírus, bactérias, fungos, protozoários e helmintos. Esses organismos são potenciais causadores de doenças como febre tifóide, cólera, hepatite-A e parasitoses em geral (SILVA *et al.*, 2001).

Os fatores que afetam as características dos lodos sépticos são: 1) clima; 2) quantidade de água utilizada por habitante; 3) tamanho do tanque séptico; 4) intervalos de limpeza do tanque séptico; 5) qualidade da água utilizada na residência; 6) material na qual as tubulações de esgotamento foram fabricadas; 7) destinação do lixo residencial; 8) uso de produtos químicos pelos habitantes (US EPA, 2002).

### **3.4.2. Tratamento de lodo**

O tratamento sustentável do lodo pode ser definido como um método que satisfaz os requisitos da reciclagem de recursos, sem que haja disponibilização de substâncias que podem ser prejudiciais aos seres humanos ou ao meio ambiente (COMMISSION OF EUROPEAN COMMUNITIES, 1991). O tratamento do lodo é realizado em várias etapas cujo principal objetivo é o de promover ou melhorar suas características físicas, químicas e biológicas. Na Figura 3 estão apresentadas as diferentes etapas e processos envolvidos. Essas etapas devem estar relacionadas ao destino final proposto para o resíduo sendo que se deve atender a questões técnicas, econômicas, ambientais e de saúde pública. Além disso, o tratamento possibilita a redução do teor de água presente no lodo gerando um material de menor volume e mais estável reduzindo os perigos para a saúde pública e facilitando seu transporte e custos envolvidos (LIMA, 2010).

Figura 3 - Quadro de descrição das etapas de tratamento de lodo até a disposição final

| Etapa            | Descrição                                                                                                                                                                                                                                           | Processo                                                                                                                                          |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Adensamento      | Processo físico que visa reduzir o teor de umidade do lodo, consequentemente, seu volume facilitando as etapas seguintes.                                                                                                                           | -Adensamento por gravidade;<br>-Flotação;<br>-Centrífuga;<br>-Filtro prensa de esteira.                                                           |
| Estabilização    | Remoção da matéria orgânica biodegradável (redução de sólidos voláteis). Visa atenuar os maus odores no tratamento e no manuseio do lodo.                                                                                                           | -Condicionamento químico;<br>-Condicionamento térmico.<br>-Condicionamento biológico                                                              |
| Desaguamento     | Pode ser processo natural ou mecânico. Objetiva reduzir ainda mais o volume com a remoção de água livre, produzindo lodo com comportamento próximo ao dos sólidos, facilitando o manuseio e diminuindo os custos com transporte e destinação final. | -Leito de secagem;<br>-Lagoa de lodo;<br>-Filtro prensa;<br>-Centrífuga;<br>-Filtro prensa de esteira;<br>-Filtro a vácuo;<br>-Secagem térmica.   |
| Higienização     | O seu principal objetivo é reduzir o nível de patógenos a valores aceitáveis.                                                                                                                                                                       | -Adição de cal (caleação);<br>-Tratamento térmico;<br>-Compostagem;<br>Oxidação úmida;<br>-Outros (radiação gama, solarização, etc.).             |
| Disposição Final | Etapa final do tratamento. Dependendo da alternativa escolhida para destinação final, algumas das etapas anteriores poderão ser suprimidas.                                                                                                         | -Reciclagem agrícola;<br>-Recuperação de áreas degradadas;<br>-Uso não agrícola (fabricação de lajotas, combustíveis, etc.);<br>Aterro sanitário. |

Fonte: US EPA (1995)

A Tabela 3 apresenta percentualmente qual o destino final do lodo de esgoto produzido em alguns países da Europa. Agricultura, incineração e disposição em aterro sanitário correspondem aos principais destinos do lodo produzido na Europa (CHEN *et al.*, 2002) No Brasil houve um aumento na produção do lodo nos últimos anos, acompanhando o aumento nos serviços de saneamento básico (VAN HAANDEL e ALEM SOBRINHO, 2006), entretanto, não existem dados consistentes na literatura com

relação à produção e destinação final do lodo produzido no país. Estima-se que do total produzido, cerca de 44,9% é disposto em aterro sanitário, 5,6% usado como biossólido na agricultura e que o restante (49,5%) tem destino indefinido (LEBRANC *et al.*, 2008).

**Tabela 3 - Destino final para o lodo em alguns países europeus**

| Destino       | Agricultura | Incineração | Aterro sanitário |
|---------------|-------------|-------------|------------------|
| Bélgica       | 12,87%      | 41,01%      | 6,52%            |
| Bulgária      | 10,81%      | 0,00%       | 30,74%           |
| Rep. Tcheca   | 33,33%      | 0,17%       | 12,08%           |
| Alemanha      | 32,68%      | 36,20%      | 2,89%            |
| Irlanda       | 54,19%      | 0,00%       | 39,77%           |
| Grécia        | 0,00%       | 2,13%       | 86,39%           |
| Espanha       | 68,61%      | 5,20%       | 12,25%           |
| França        | 47,13%      | 17,71%      | 17,78%           |
| Hungria       | 28,83%      | 0,13%       | 38,77%           |
| Países Baixos | 0,00%       | 73,62%      | 7,08%            |
| Áustria       | 13,46%      | 55,31%      | 10,54%           |
| Polônia       | 15,87%      | 1,17%       | 32,22%           |
| Reino Unido   | 61,64%      | 17,27%      | 6,13%            |

Fonte: Chen *et al.* (2002)

A composição físico-química do lodo de esgoto varia conforme sua fonte, os hábitos populacionais e o tipo de tratamento de efluentes empregado. Geralmente, há uma grande quantidade de elementos e minerais que são essenciais na agricultura e para a utilização no solo, mas existem ainda alguns elementos que precisam ser tratados ou eliminados como os metais pesados (BENNAMOUN, 2012). Os conteúdos de metais pesados, pesticidas e hidrocarbonetos precisam ser avaliados quando o lodo vier a ser destinado à incineração ou ao aterro sanitário. Da mesma forma, a energia termal contida no lodo é importante ser submetido ao tratamento por processos térmicos como gaseificação, pirólise, combustão ou oxidação úmida (HALL, 1995).

Para recuperação de energia dos lodos, uma etapa crucial corresponde a secagem do resíduo. Essa secagem pode ocorrer após o deságue, seja pela via mecânica, por centrifugação ou filtração. A secagem pode reduzir o conteúdo de água, reduzindo conseqüentemente a massa e o volume de resíduo, culminando em menores



custos de manuseio, estocagem, transporte e destino. Além disso, após seco, o lodo possui maior poder calorífico, podendo ser usado como combustível (LÉONARD *et al.*, 2003).

Estima-se um aumento na produção de lodo para os próximos anos, sobretudo nos países industrializados. Esse aumento culminará no aumento temporário da disposição em aterro sanitário para os próximos anos. Entretanto, até o ano de 2020 espera-se que a agricultura seja predominantemente o destino final dos lodos de esgoto, principalmente pelo baixo custo dessa disposição (KELESSIDIS e STASINAKIS, 2012). Outra saída será a incineração que sofreu nos últimos anos melhorias significativas do ponto de vista tecnológico pela redução dos custos e proteção ambiental, mas ainda tem como desvantagens o alto custo de tratamento dos gases de combustão e das cinzas, as emissões de dioxinas e furanos, e a liberação de metais pesados (FYTILI e ZABANIOTOU, 2008).

#### **3.4.2.1 Estabilização**

O lodo bruto pode gerar fortes odores, uma vez que é rico em organismos e substâncias facilmente putrescíveis. Então, o processo de estabilização visa o controle da decomposição da matéria orgânica presente, reduzindo o teor de sólidos voláteis, minimizando os efeitos acima descritos (BOROWSKI e SZOPA, 2007).

O processo de estabilização é pode ser realizado em: Estabilização biológica, estabilização química e estabilização térmica. Na estabilização biológica são utilizadas bactérias específicas na estabilização da fração biodegradável da matéria orgânica, enquanto que na estabilização química é adicionado um reagente químico para promover a oxidação da matéria orgânica e a estabilização térmica é obtida com ação do calor, que age sobre a porção volátil do lodo (US EPA, 2003).

Dentre esses processos, o mais comum corresponde a estabilização biológica por meio da digestão anaeróbia ou aeróbia em condições favoráveis. Essa digestão reduz o número de patógenos diminuindo os riscos de manipulação do material.

### 3.4.2.2 Higienização

A higienização corresponde à etapa que busca a redução da concentração de micro-organismos patogênicos, visando a diminuição dos riscos a saúde da população e dos trabalhadores que possam manusear o material bem como reduzir ou impedir os impactos ambientais negativos (PINTO, 2001). Embora a digestão possa reduzir os níveis de organismos patogênicos presentes no lodo, muitos parasitas intestinais e seus ovos não são destruídos ou inativados havendo necessidade dessa etapa. Devido ao baixo custo envolvido, para a higienização, os processos mais comumente utilizados são a compostagem, a caleação e o tratamento térmico. Outros processos podem também ser utilizados, como a hidrólise térmica e a digestão termofílica (ANDREOLI, 2001).

Na compostagem, a inativação dos micro-organismos patogênicos ocorre pela elevação da temperatura (entre 55 e 60 °C) decorrente da decomposição da matéria orgânica em condições favoráveis e do tempo de contato. Deve-se controlar a umidade e o nível de oxigênio o que favorece a ação de micro-organismos e evita a formação de anaerobiose impedindo a formação de maus odores. Para auxiliar o processo e desempenhar papel de agente estruturante, são utilizadas podas de árvores, folhas, cavacos de madeira, palha de arroz, serragem e outros materiais ricos em lignina. Esses materiais são capazes de reter a umidade, manter a porosidade para passagem de ar além de controlar a relação entre carbono e nitrogênio (PINTO, 2001).

Já o tratamento térmico consiste na aplicação de calor ao lodo, o que provoca a remoção da umidade e, conseqüentemente, leva a desnaturação e inativação dos micro-organismos presentes. Entretanto, é ressaltado que para que sejam minimizados os custos referentes ao tratamento o lodo deve estar estabilizado e com teor de umidade de 75 a 80%(PINTO, 2001).

Além desses, os processos avançados de higienização caracterizam-se por aumentar a destruição de sólidos voláteis, aumentar a produção de biogás, melhorar a estabilidade operacional, melhorar o desaguamento do lodo e aumentar a redução de patógenos (JOLLY *et al.*, 2005). Embora apresentem maior eficiência, esses processos

requerem maiores custos de operação, sendo que a hidrólise térmica, segundo AKERLUND (2008), utiliza temperatura em torno de 160°C a 180°C, o que possibilita a destruição da parede celular e libera substâncias intracelulares as quais são biodegradadas.

### **3.4.2.3 Tratamento térmico**

O tratamento térmico consiste na aplicação de uma fonte de calor junto ao lodo a ser tratado. Esse processo envolve desde etapas mais simples como a secagem do lodo ao ar livre ou mesmo a exposição do resíduo a temperaturas elevadas, o que pode ocasionar desinfecção do lodo pela inativação e desnaturação dos patógenos presentes. A vantagem desse processo é que há uma grande redução do volume do lodo pela perda de água reduzindo os custos com transporte, armazenamento e destino final do lodo. Além disso, o produto final, além de possuir grande potencial de utilização na agricultura poderá estar praticamente livre de patógeno (FERNANDES *et al.*, 2001).

Os leitos de secagem correspondem ao sistema de tratamento térmico mais simples. Neles o lodo de esgoto pode ser estabilizado e desaguado até atingir uma concentração de sólidos em torno de 20 a 35% (PINTO, 2001). Essa redução do volume além de facilitar e diminuir os custos com transportes pode também viabilizar alguns requisitos técnicos para etapas posteriores, como a disposição final de lodos em aterro sanitário, o qual exige uma concentração de sólidos mínima acima de 30% ou até mesmo a incineração do resíduo, que necessita que o lodo contenha um teor de sólido entre 30 e 35%. Dessa forma, com uma secagem prévia do lodo antes da incineração é possível reduzir o seu poder calorífico inferior aumentando o seu potencial como combustível (BENNAMOUN, 2012). O poder calorífico da fração volátil do lodo pode chegar a 3,3 kWh kg<sup>-1</sup> (ANDREOLI, 2006), o que pode sugerir o uso do lodo como combustível uma vez que esse valor é bem próximo à lenha.

Em vários países adotaram a prática da incineração de seus lodos (ANDREOLI, 2001), sendo que nos Estados Unidos essa prática era utilizada para cerca de 16% do lodo total produzido (BENNAMOUN, 2012). A principal vantagem da incineração é a grande redução do volume, podendo o produto final incinerado atingir

proporções na faixa de 10 a 20% do volume inicial o que é muito vantajoso, sobretudo para países com área reduzida. Nesse processo, os sólidos voláteis são convertidos em gás carbônico e água (na presença de oxigênio) e os sólidos fixos são transformados em cinza. O tratamento térmico é o único método capaz de eliminar totalmente os vírus presentes no lodo de esgoto (BLUMENTHAL *et al.*, 2000). Embora haja a eliminação de micro-organismos e vírus e até mesmo compostos orgânicos tóxicos, os metais potencialmente tóxicos continuam presentes nas cinzas, o que faz com que seja necessária uma destinação final adequada para esse subproduto (TSUTIYA *et al.*, 2001).

Alguns autores relacionam essas cinzas com alto potencial tóxico como o maior impacto ambiental resultante da técnica. Assim sendo, muitas são as pesquisas encontradas na literatura objetivando a viabilização do aproveitamento e destino final desse subproduto. Estudos de Montero (2009) mostraram a possibilidade do uso das cinzas de lodo de esgoto na manufatura de produtos de aplicação na construção civil.

Outro aspecto que também deve ser levado em conta no processo de incineração é a emissão de gases atmosféricos. Dessa forma, qualquer que seja o tipo de incinerador empregado, devem estar instalados dispositivos de controle das emissões atmosféricas, uma vez que as emissões podem ser consideradas como o principal fator de impacto da técnica (ANDREOLI, 2001)

### **3.5 Desaguamento de lodo de esgoto**

Agricultura, incineração e disposição em aterros sanitários correspondem às práticas mais comuns de destino final de lodo de esgoto. Independentemente de qual o destino final, a desidratação e secagem do lodo podem ser essenciais, pois culminam em uma diminuição da massa de lodo, reduzindo o custo de transporte, manuseio e estocagem do lodo (LÉONARD *et al.*, 2008). Diversas são as técnicas de secagem e desaguamento de lodo, sendo que algumas delas utilizam processos naturais como a percolação e evaporação e outras podem acelerar o processo, com introdução de energia externa, na utilização de dispositivos mecânicos.

O comportamento do lodo durante ao desaguamento se dá em cinco passos. Primeiramente é removida a água livre. Em seguida ocorre a eliminação da água intersticial e logo após a água de superfície. Por último ocorre a eliminação da água ligada até que atinja um equilíbrio (DENG *et al.*, 2009). O processo de secagem do lodo é fortemente influenciado pela temperatura do ar e em menor proporção pela sua velocidade superficial. Em geral, se aumentam a temperatura de ar e sua velocidade superficial, aumenta-se a velocidade de secagem do lodo (BENNAMOUN, 2012).

Vários pesquisadores (LÉONARD *et al.*, 2003; LÉONARD *et al.*, 2005; TAO *et al.*, 2005) observaram a ocorrência de dois fenômenos, durante a secagem do lodo, a retração e a quebra. A retração consiste na redução do volume devido a perda de água durante o processo de secagem. Essa perda de água gera mudanças nas características físicas do produto, como observado na secagem de frutas. Essa retração começa no momento em que começa o processo de secagem e continua até atingir um valor entre 40 a 20% do volume inicial, dependendo da origem do lodo.

### **3.5.1 Secagem solar de lodo de esgoto**

A aplicação de energia solar pode ser uma alternativa viável e de baixo custo para o processo de secagem do lodo. Essa secagem não apresenta uma cinética constante e está sujeita as alterações operacionais, uma vez que alterações climáticas podem ocorrer durante o processo.

Na Turquia foi desenvolvido um experimento utilizando lodo de uma estação de tratamento de efluentes da cidade. Os pesquisadores construíram dois sistemas, um aberto e um fechado, contendo ambos 10 m<sup>2</sup> de área onde era espalhada no chão uma camada de 25 cm de lodo (KAMIL SALIHOGLU *et al.*, 2007).

O experimento coberto foi realizado em uma estufa agrícola com 2,5 m de altura, completamente fechada com plástico transparente de 10 mm cuja transmissão era de 80%. Havia ainda um ventilador no teto da estufa o qual aerava a superfície do lodo. A turbulência causada pela aeração causava a remoção do lodo seco. Ademais, o

ar saturado era eliminado por 2 ventiladores montados acima das portas da estufa, promovendo a renovação do ar. O chão da estufa era aquecido usando água quente encanada obtida através de duas placas de aquecimento solar. Abaixo da camada de solo havia uma cama de pedra compostas de pedras de 16 a 48 mm de diâmetro e 50 cm de profundidade. A camada inferior e lateral da cama de pedra era revestida com concreto impermeável e material isolante. Duas vezes ao dia o lodo era revolvido manualmente.

O outro experimento ocorreu em solo impermeável de concreto de forma aberta. A aeração do solo ocorria pela ação do vento e o lodo recebia diretamente a irradiação solar. Da mesma forma o lodo era revolvido duas vezes ao dia.

No lodo seco a céu aberto, em 55 dias o conteúdo da mistura era de 60% de umidade enquanto que no lodo do interior da estufa esse valor chegou a 20%. Houve também uma maior redução de micro-organismos no sistema fechado com aquecimento, porém, com relação as bactérias do grupo coliforme foi constatado uma redução na ordem de um log, o que não foi suficiente para enquadrar o lodo segundo a EPA como classe A. A avaliação financeira realizada pelos pesquisadores mostrou que o investimento era compensatório sendo retornado após um período de quatro anos.

Outro experimento semelhante desenvolvido na Grécia alcançou redução do conteúdo de umidade do lodo de 85% para 6% em torno de 12 dias no verão e no outono redução para 10% de umidade na mistura final ao total de 33 dias (MATHIOUDAKIS *et al.*, 2009).

Lei *et al.* (2009) desenvolveram uma estufa experimental feita de vidro. Nessa estufa, uma chaminé de 1,8 m foi colocada no topo e foram feitas seis passagens de ar nas paredes da frente e atrás da estufa. A camada de lodo adicionada era de 25 mm e o fundo da estufa foi pintado de preto para aumentar a absorção da radiação solar. O processo de secagem se deu em 125 horas no verão e 550 horas no inverno.

Há a necessidade de estudos mais detalhados sob a secagem utilizando a energia solar com relação ao ar, temperatura e umidade, pois existe ainda uma lacuna de informações para que possa ser construído um sistema seguro e eficaz. Ademais, são necessários maiores estudos econômicos para os diferentes métodos existentes na literatura, para que seja possível a elaboração de uma análise de custos de cada sistema e a determinação do tempo de retorno do investimento inicial (BENNAMOUN, 2012).

### **3.5.2 Utilização de contentores de geotêxtil (CG) no desaguamento de lodo de esgoto**

Qualquer que seja o sistema de tratamento de esgoto adotado, a produção de lodo, que ocorrerá ao longo do tempo, culminará em uma redução da eficácia do processo. Portanto, é necessária a constante limpeza do lodo no sistema de tratamento empregado, pela sua retirada para evitar falhas e perda da qualidade do sistema de tratamento (MUKHTAR *et al.*, 2004). Entretanto, poucas são as técnicas viáveis e com custos acessíveis envolvidos para a retirada do lodo e seu acondicionamento até o seu destino final, seja na aplicação na agricultura ou aterro sanitário (CANTRELL *et al.*, 2008).

Uma das alternativas quanto ao desaguamento dos lodos de esgoto corresponde a sua filtração em contentores de geotêxtil comumente conhecidos como BAG. O contentor de geotêxtil é fabricado utilizando-se uma ou mais camadas de costura, as quais são apertadas de acordo com a abertura aparente que se objetiva, de acordo com a característica do material a ser desaguado. Dessa forma, o tubo de geotêxtil é permeável fazendo com que a água possa sair do tubo pela pressão e o material saturado seja retido em seu interior. Esse tubo é preenchido com o lodo fazendo com que a mistura de lodo e água seja pressurizada dentro do contentor, permitindo a descarga do líquido através dos poros da costura, mas retendo as partículas sólidas. O resultado no interior é um lodo com menor teor de umidade, e maior teor de sólidos percentual (PILARCZYK, 2000).

Esses contentores são produzidos com tecido formado por fibras de alta tenacidade, que podem ser tanto em poliéster como em polipropileno. Consequentemente a redução do volume inicial do contentor possibilita um novo enchimento no mesmo após um tempo de deságue (MOO-YOUNG *et al.*, 2002). Em escala real pode haver uma retenção de 93,5% com relação a sólidos totais, retenção de fósforo solúvel e fósforo total de 85% e 96% respectivamente (MUKHTAR *et al.*, 2007) e redução de volume para 20% do inicial (CANTRELL *et al.*, 2008). Após algum tempo, em torno de quatro semanas, é possível novamente encher o contentor de geotêxtil, o que aumenta a pressão interna podendo melhorar o processo de desaguamento. (WORLEY *et al.*, 2004).

Os contentores geotêxteis são amplamente utilizados em diversos projetos de engenharia em todo o mundo. Suas principais funções podem ser resumidas em: 1) a filtragem, com a passagem de fluidos e perda limitada de solo; 2) a drenagem com passagem livre de fluidos e separação de materiais dissimilares evitando que se misturem; 3) o reforço pela promoção de aumento da resistência do solo reforçado pela inclusão de elementos de elevada resistência á tração evitando a passagem de fluidos; 4) encapsulamento, com uso de materiais como brita, concreto e areia; 5) proteção, pois permitem a redistribuição de tensões transmitidas ao material a ser protegido; 6) deságue de lodo de estações de tratamento de água e esgoto (PIEPER, 2008).

Uma forma de aumentar a capacidade de desaguamento e captura de sólidos do lodo nos contentores de geotêxtil corresponde ao seu condicionamento pela adição de polímeros, o qual favorece a agregação das partículas de sólidos do lodo. Os polímeros utilizados nesse processo são compostos orgânicos sintéticos de alto peso molecular que servem como aditivo químico para o espessamento do lodo. (GONÇALVES *et al.*, 2001)

A aplicação do polímero antes do desaguamento do lodo além de promover um aumento na aptidão do lodo ao desaguamento apresenta como vantagem também o baixo acréscimo de massa produzida, não diminuem o poder calorífico do lodo, e



podem ser biodegradáveis e portanto não prejudiciais ao ambiente (GONÇALVES *et al.*, 2001).

Nos últimos anos, no estado de São Paulo, a SABESP tem promovido a remoção de lodo de suas lagoas de tratamento de esgoto, e para tanto a companhia tem utilizado os contentores de geotêxtil no acondicionamento e desidratação de seus lodos. (PIM, 2012).

### **3.6 Uso de lodo de esgoto na agricultura**

O lodo de esgoto é uma fonte de matéria orgânica com grande potencial de uso na agricultura. Além da matéria orgânica, o lodo é rico também em nutrientes e minerais que podem trazer benefícios às culturas agrícolas. A aplicação de lodo no solo pode ser realizada com incorporação em vala profunda que corresponde a um método de aplicação capaz de prover os nutrientes necessários para um ciclo de cultura (FELIX *et al.*, 2008).

No Brasil, a aplicação de lodo de esgoto em culturas agrícolas é regulamentada pela Resolução CONAMA 375 (BRASIL, 2006). Essa lei apresenta todos os procedimentos necessários para viabilização da aplicação do lodo na agricultura bem como todas as análises e caracterizações necessárias. Segundo a legislação citada, é proibida a aplicação de lodo em culturas de pastagens, plantas olerícolas, tubérculos, raízes e culturas inundadas. Dessa forma, a utilização do lodo no condicionamento de solo no cultivo de plantas ornamentais é, portanto, uma vantagem, uma vez que o produto final não entrará na cadeia alimentar humana. Da mesma forma, a legislação apresenta também algumas restrições quanto às localidades e a topografia do solo, sendo que para áreas de proteção ambiental e proteção permanente a aplicação do lodo também é vetada. A análise da declividade do solo a ser cultivado é essencial, visto que caso a declividade do solo ultrapasse 15% é necessária a incorporação do lodo ao solo e em caso de declividade maior que 25% é necessária a aplicação em covas.

Quando o lodo é incorporado no solo, a baixa concentração de oxigênio reduz no bio-sólido a taxa de nitrificação e mineralização, reduzindo a perda dos nutrientes ou lixiviação, sobretudo de nitrato, uma vez que o nitrogênio corresponde ao nutriente de maior interesse no lodo de esgoto. A matéria orgânica presente no lodo incorporado junto ao solo sofre um processo de mineralização, o qual libera o nitrogênio orgânico nas formas de nitrato e amônio (FELIX *et al.*, 2008). Dessa forma, deve-se atentar para a quantidade de lodo a ser aplicada, que deve corresponder à necessidade da cultura quanto ao nitrogênio, uma vez que o excesso não utilizado pela planta tende a lixiviar, podendo alcançar os corpos d'água subterrâneos ocasionando a contaminação desses (CAMARGO e BETTIOL, 2000).

Embora presente em menores quantidades que o nitrogênio, o fósforo corresponde a outro elemento presente no lodo de esgoto que traz benefícios às culturas, estando correlacionado a processos fundamentais para o desenvolvimento vegetal. Sua presença no lodo varia de acordo com o tratamento de esgoto empregado e as concentrações de elementos em que o fósforo se liga (ELLIOTT e O'CONNOR, 2007). Com relação ao fósforo, a preocupação existente é menor, uma vez que os solos brasileiros são carentes desse nutriente e sua mobilidade é muito baixa ficando retido no solo, sem grandes riscos de contaminação das águas subterrâneas (CAMARGO e BETTIOL, 2000). Entretanto, alguns autores citam que a aplicação de lodo de esgoto pode ocasionar um aumento na lixiviação de fósforo e perda do nutriente (KIDD *et al.*, 2007), mas ainda assim, esse problema pode ser controlado com a incorporação junto ao lodo de sais de alumínio e ferro bem como com aplicação de cal. O potencial de lixiviação do fósforo decai com tempo quando o lodo é incorporado ao solo em camadas profundas (KOSTYANOVSKY *et al.*, 2011). Dessa forma, a utilização de lodo de esgoto na agricultura é potencialmente benéfica uma vez que existe a escassez de jazidas para a produção do fertilizante mineral fosfatado. Além disso, essa reciclagem de fósforo evita sua deposição nos corpos d'água receptores, evitando a eutrofização que tem como principal agente o fósforo (MAGUIRRE *et al.*, 2005).

Em alguns países do mundo, como Estados Unidos, Dinamarca, Espanha, Finlândia, Irlanda, Luxemburgo e Reino Unido, 50% ou mais do lodo total produzido é

aplicado no solo na adubação de culturas agrícolas (LANGENKAMP e PART, 2001; CHEN *et al.*, 2002; NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2002). Já no Brasil, os dados quanto ao uso de lodo na agricultura ainda são imprecisos (BARBOSA e TAVARES FILHO, 2006). A aplicação de lodo na agricultura é um processo em ascensão, devido a uma série de fatores como a limitação de espaço e capacidade dos aterros sanitários existentes, os altos custos associados ao transporte do lodo e à sua deposição nos aterros sanitários, a adoção de legislações que promovem a proteção ao ambiente e reciclagem de materiais e a diminuição do uso de fertilizantes minerais (HARGREAVES *et al.*, 2008).

Com relação à fertilidade do solo, a aplicação do lodo de esgoto pode resultar em uma redução de pH pela liberação dos ácidos orgânicos presentes no lodo em seu processo de mineralização (GALDOS *et al.*, 2004). Essa diminuição de pH pode ser contornada com a aplicação de lodos estabilizados com cal, que pode resultar em um aumento da CTC.

### **3.6.1. Aspectos limitantes do uso de lodo de esgoto na agricultura**

O lodo fresco é instável sob as condições ambientais, sendo biodegradável, contendo um forte odor desagradável devido à liberação de gases corrosivos como amônia e ácido sulfídrico. Dessa forma, o lodo pode precisar de estabilização antes da sua deposição no ambiente. A compostagem é uma forma de controlar todos esses problemas. Nesse processo, os subprodutos indesejáveis presentes no lodo podem ser reduzidos até a níveis aceitáveis (ZBYTNIIEWSKI e BUSZEWSKI, 2005).

Em alguns processos de tratamento de efluentes, como o de lodo ativado, o lodo gerado tende a acumular os metais potencialmente tóxicos presentes nas águas residuárias (HARRISON e MOFFE, 2003). Zinco, cobre, níquel, cádmio, chumbo, mercúrio e cromo são os principais metais potencialmente tóxicos e correspondem aos elementos restritivos com relação ao uso de lodo na agricultura (FYTILI e ZABANIOTOU, 2008). Quando se trata de lodo de tanque séptico, é esperada uma menor concentração de metais que no lodo de esgoto de sistemas de tratamentos mais

complexos, embora nem sempre quantidade menor seja encontrada. O cobre e o zinco correspondem aos dois metais potencialmente tóxicos mais comumente presentes nos lodos sépticos, podendo ser fator limitante para aplicação desses lodos na agricultura. Uma grande preocupação com relação a esses metais potencialmente tóxicos está na sua característica de se bioacumular pela cadeia alimentar, tornando-se um problema não somente ambiental como para a saúde humana (KROGMANN *et al.*, 1997). A legislação brasileira através da CONAMA 375 (BRASIL, 2006) apresenta uma série de metais potencialmente tóxicos e seus limites máximos em lodos para uso na agricultura (Tabela 4).

**Tabela 4 - Limite máximo de metais potencialmente tóxicos presentes nos lodos de esgoto ou produtos derivados para uso na agricultura segundo a CONAMA 375**

| Metal      | Concentração máxima permitida (mg kg <sup>-1</sup> base seca) |
|------------|---------------------------------------------------------------|
| Arsênio    | 41                                                            |
| Bário      | 130000                                                        |
| Cádmio     | 39                                                            |
| Chumbo     | 3000                                                          |
| Cobre      | 1500                                                          |
| Cromo      | 1000                                                          |
| Mercúrio   | 17                                                            |
| Molibdênio | 50                                                            |
| Níquel     | 420                                                           |
| Selênio    | 100                                                           |
| Zinco      | 2800                                                          |

Fonte: BRASIL (2006)

É importante ressaltar que os metais potencialmente tóxicos encontrados nos lodos de esgoto estão, em sua maior parte, ligados à matéria orgânica, o que os tornam pouco disponíveis para absorção vegetal, diferentemente dos metais presentes em fertilizantes e defensivos agrícolas, onde eles estão na forma livre ou ligados aos minerais, estando portanto mais facilmente disponíveis as plantas. Entretanto, em se tratando dos metais potencialmente tóxicos, existe uma grande dificuldade de se estabelecer um limite geral para o uso de lodo de esgoto no solo, uma vez que a biodisponibilidade desses pode ser bem complexa, variando de acordo com a natureza

do metal em questão, com as características físico-químicas do solo ou do lodo, bem como das características da planta (MCBRIDE, 2003).

Os metais são retidos no solo em um pH acima de 6,5 e/ou com grande conteúdo de matéria orgânica. Se o pH estiver abaixo desse valor, a matéria orgânica será consumida ou todos os sítios de adsorção possíveis estarão saturados, fazendo com que os metais tornem-se móveis, podendo ser absorvidos pela colheita e contaminar águas superficiais. Porém, a raiz da planta age como uma eficiente barreira contra a absorção de metais não essenciais. Além disso, os impactos por metais pesados são usualmente notados na microbiota do solo antes que eles sejam observados nas plantas e em animais (ou humanos). Deve-se também levar em consideração que os impactos desses metais nas colheitas são complexos, pois poderá haver interações antagonistas que afetam a sua retenção pelas plantas (DRAKATOS *et al.*, 2002). Estudos realizados por Kidd *et al.* (2007) em *Z. mays* demonstraram que, embora na zona da raiz das plantas houvesse acúmulo sobretudo de cobre e zinco, a planta possui mecanismos que restringem o transporte dos metais até suas regiões aéreas. Mas ainda assim os metais potencialmente tóxicos podem ocasionar problemas, uma vez que foi verificada lixiviação de cobre, podendo haver contaminação das águas subterrâneas.

Os micro-organismos e parasitos correspondem a outro parâmetro a ser avaliado. Patógenos e micro-organismos indicadores estão presentes em alta concentração nos lodos sépticos, independente do tempo de detenção hidráulico do tanque séptico. Os ovos de helmintos podem estar presentes em concentrações maiores nos lodos sépticos que em outros sistemas convencionais de tratamento, indicando a necessidade de higienização desse lodo (YEN-PHI *et al.*, 2010).

### **3.6.2. Lixiviação de nitrato**

A aplicação de lodo na agricultura é realizada tendo como fator limitante a quantidade de nitrogênio presente no lodo. Do ponto de vista da adubação, o nitrogênio pode ser adicionado ao solo sob duas formas químicas, a forma de amônio, ou a forma

de nitrato. O amônio é um íon positivo, o qual é adsorvido pelas cargas negativas do solo, permanecendo no mesmo em sua forma trocável. O nitrato por sua vez é um íon negativo que é repelido pelas cargas negativas do solo, permanecendo na solução, e pode ser lixiviado além da zona radicular, se não for absorvido pela planta, o que causa contaminação da água subsuperficial (RAIJ, 1991). O nitrato é um composto tóxico ao homem e aos animais em geral, sendo adotado em vários países do mundo um limite máximo tolerável para água potável de  $10 \text{ mg L}^{-1} \text{ N-NO}_3^-$ .

Embora o nitrogênio na forma de amônio fique retido no solo, o processo de nitrificação ocorre convertendo todo o nitrogênio dessa forma a nitrato, o que pode ocorrer em até 20 dias após aplicação e pode ser acelerado conforme aumenta-se a quantidade de amônio disponível (ROSOLEM *et al.*, 2003; AITA *et al.*, 2007). Dessa forma, é importante o monitoramento da solução do solo para a determinação da concentração de nitrato no lixiviado de solos que receberam lodos de esgoto.

Entretanto, essa problemática de lixiviação de nitrato não é exclusiva de processos agrícolas onde resíduos são utilizados na adubação. Da mesma forma que ocorre com a aplicação de lodo na agricultura, a aplicação de nitrogênio na forma mineral também apresenta riscos de contaminação ambiental. O uso inadequado dos fertilizantes nitrogenados de forma indiscriminada também pode levar a contaminação das águas por nitrato (VANDERLEI *et al.*, 2003).

### **3.6.3. Mineralização do nitrogênio**

A maior parte do nitrogênio presente nos lodos de esgoto corresponde à porção orgânica e dessa forma não está disponível para absorção pela planta. Entretanto, a aplicação de lodo no solo ainda assim pode fornecer à solução do solo grandes quantidades de nitrogênio mineral logo nos primeiros dias após a aplicação, se houver condições propícias no solo de mineralização da matéria orgânica (BOEIRA, 2004). Nesse processo, o nitrogênio é disponibilizado ao solo na forma de amônio, que é posteriormente convertida a nitrato. A análise que determina o percentual mineralizável do lodo ao longo do tempo é chamada de fração de mineralização (BENBI

e RICHTER, 2002) e é importante sua determinação, uma vez que após o processo de mineralização, o nitrato não absorvido pela planta pode ser lixiviado, causando contaminação ambiental. (BOEIRA e MAXIMILANO, 2006)

A fração de mineralização pode ser estimada pela incubação aeróbia ou anaeróbia do lodo no solo avaliando-se a produção de nitrogênio mineral ao longo do tempo. Os resultados obtidos dessa incubação devem ser considerados para a determinação da dose máxima do resíduo a ser aplicado na agricultura e são dependentes do lodo, das condições ambientais e das características do solo. (BOEIRA *et al.*, 2002)

A legislação Brasileira, através da Resolução CONAMA 375, (BRASIL, 2006) padronizou os valores da fração de mineralização (FM) do nitrogênio no lodo em quatro categorias, conforme o processo de tratamento sofrido: a) FM 40% - lodo de esgoto não digerido; b) FM 30% - lodo de esgoto digerido aerobiamente; c) FM 20% - lodo de esgoto digerido anaerobiamente; d) FM 10% - lodo de esgoto compostado.

Entretanto, vários estudos conduzidos no Brasil utilizando lodo de esgoto na adubação de culturas agrícolas apresentaram valores de FM superiores aos preconizados na legislação o que culmina na aplicação ao solo de cargas de nitrogênio maiores aos da necessidade da cultura (CORRÊA *et al.*, 2006; BOEIRA, 2009; MORETTI *et al.*, 2013), evidenciando a necessidade de realização do ensaio antes da aplicação do lodo.

### **3.7 Cultura de rosas**

O gênero Rosa sp pertence à Classe das Angiospermas, Subclasse Dicotiledônea, Ordem Rosales e Família Rosaceae. Acredita-se que ela tenha surgido na Pérsia e conquistadores árabes a tenham levado para outras partes do mundo.

Os primeiros registros sobre o cultivo de rosas surgem no Mediterrâneo, Pérsia, China e Japão e muitas descrições sobre prováveis híbridos espontâneos

remontam há muitos séculos antes do início da Era Cristã. Sabe-se que os egípcios e romanos dominavam certas técnicas de cultivo que permitiam a obtenção de rosas fora da estação, para isso eles faziam uso de estufas aquecidas pelo sistema de vapor, como nas saunas e termas. Os romanos foram os responsáveis pela introdução de muitas das mais antigas espécies de rosas trazidas do Oriente para as colônias situadas na Europa, de onde se espalharam pelo mundo. No Brasil, foram introduzidas pelos jesuítas entre 1.560 e 1.570. As primeiras roseiras foram plantadas ao lado da Vila de Piratininga e suas flores utilizadas em solenidades religiosas.

A roseira é uma planta arbustiva, perene, com hábito de crescimento ereto, caule lenhoso e normalmente espinhoso. As folhas são pinadas, caducas e compostas de cinco a sete folíolos ovalados. Os ramos basais são mais grossos, permitindo a formação do esqueleto da planta e a produção de hastes florais. As flores se desenvolvem no ápice das hastes contendo normalmente cinco sépalas com lóbulos laterais e fruto tipo carnososo (CASARINI, 2004; OLIVEIRA *et al.*, 2014). Ao todo, 126 espécies silvestres deram origem a mais de 30 mil híbridos espalhados pelo mundo. Calcula-se que no Brasil existam aproximadamente mil híbridos.

### **3.8 Exigências nutricionais e absorção de nutrientes pelas plantas produtoras de flores de corte.**

As plantas, em um sistema agrícola de produção, necessitam de ar, água e nutrientes para seu adequado desenvolvimento. Em geral, uma haste floral é composta por 85% água e 15% matéria seca, sendo essa constituída por 17 elementos principais. Desses, o carbono, hidrogênio e oxigênio podem ser obtidos da atmosfera e da água, sendo que os demais compostos devem necessariamente ser absorvidos da solução do solo. Dessa forma, à medida que a planta vai retirando esses nutrientes do solo, os mesmos devem ser repostos, pela utilização de compostos orgânicos ou minerais sempre que suas concentrações encontrarem-se abaixo das quantidades exigidas pela cultura (ALMEIDA NETO, 2001)



A absorção de nutrientes do solo ocorre em todas as épocas do ano e variam conforme as etapas de desenvolvimento da planta, bem como das condições climáticas, umidade e manejo de irrigação. Como as roseiras são plantas de colheita contínua através do corte, que muitas vezes ocorrem semanalmente, a necessidade de nutrientes por essa planta é grande (BARBOSA, 2003).

As análises de fertilidade foliar correspondem à verificação da condição nutricional da planta e corresponde aos teores adequados de nutrientes nas folhas. Essas análises devem ser feitas com regularidade, da mesma forma que as análises do solo (ALMEIDA NETO, 2001). A Tabela 5 apresenta os valores ideais para a presença de alguns nutrientes nas folhas das roseiras.

**Tabela 5 - Valores ideais para fertilidade foliar em roseiras segundo diversos autores**

| Nutriente<br>Autores        | N                               | P         | K       | Ca      | Mg        | Fe                             | Mn)     | Zn    | Cu    | B     |
|-----------------------------|---------------------------------|-----------|---------|---------|-----------|--------------------------------|---------|-------|-------|-------|
|                             | -----dag kg <sup>-1</sup> ----- |           |         |         |           | -----mg kg <sup>-1</sup> ----- |         |       |       |       |
| Oertli (1996)               | 4-6                             | >0,2      | >1,0    | 1,0-3,5 | >0,2      | >60                            | -       | -     | >20   | >0,1  |
| Carlson (1996)              | 3,0-4,0                         | 0,2-0,3   | 1,5-1,8 | 1,0-1,9 | 0,28-0,34 | 80-100                         | 300-900 | 40    | 10-14 | 20-40 |
| Boodley e With (1969)       | 3,0-5,0                         | 0,2-0,3   | 1,8-3,0 | 1,0-1,5 | 0,25-0,35 | 50-150                         | 30-250  | 15-50 | 5-15  | 30-60 |
| Sadasivaiah e Holley (1973) | 3,0-3,5                         | 0,28-0,32 | 2,0-2,5 | 1,0-1,6 | 0,28-0,32 | 80-120                         | 70-120  | 20-40 | 7-15  | 40-60 |

Fonte: Almeida Neto (2001)

### 3.9 Comércio de flores

Os maiores produtores de flores de corte são Holanda, Alemanha, Bélgica, França, Estados Unidos, Itália e Israel. Entretanto, esses países apresentam limitações para o crescimento da produção em razão de suas condições climáticas, custos de mão-de-obra e de energia e o elevado custo de produção final. O Brasil apresenta condições edafoclimáticas favoráveis para produzir durante todos os meses do ano, especialmente nas épocas de escassez nos principais mercados do exterior. Além das vantagens climáticas para uma floricultura diversificada, existem as econômicas, tais

como a grande rentabilidade por área, o rápido retorno do capital e a utilização de pequenas propriedades e áreas marginais (CAMARGO, 2001).

O fluxo de comércio internacional dos produtos da floricultura está estimado em US\$ 9,4 bilhões anuais, sendo que, desse total, uma parcela de 49,5% advém do comércio de flores e botões cortados frescos (JUNQUEIRA e PEETZ, 2008). No ano de 2010, as exportações brasileiras de flores e plantas ornamentais somaram o total de US\$ 28,68 milhões, tendo-se uma redução de cerca de 8% sobre os anos anteriores. Com relação às rosas, os maiores importadores do Brasil são Holanda (65,25%), Portugal (34,00%) e Paraguai (0,75%) (JUNQUEIRA e PEETZ, 2010).

O consumo interno brasileiro de flores está estimado em US\$ 6,50 *per capita* por ano, valor ainda muito abaixo se comparado com outros países como Suíça, Noruega, Alemanha e Estados Unidos, que são os maiores consumidores *per capita*. Estima-se que o potencial de consumo brasileiro seja de pelo menos o dobro do atual, desde que sejam superadas restrições geradas por aspectos econômicos e culturais, entre os quais o da concentração da demanda apenas em datas festivas e comemorativas, como o dia das mães, dos namorados, das mulheres. A produção de flores e plantas ornamentais gera uma receita entre R\$ 50 mil a R\$ 100 mil por hectare, sendo responsável pela criação e manutenção de 3,8 empregos diretos ha<sup>-1</sup>, o que representaria um total de 14 empregos gerados em uma fazenda dedicada à floricultura, visto que no Brasil as mesmas possuem uma área de 3,5 hectares.

## **4. METODOLOGIA**

Para o desenvolvimento da pesquisa, foi utilizado o lodo proveniente do Tanque Séptico da Cidade de São Miguel Arcanjo, no interior de São Paulo, correspondente ao sistema de tratamento coletivo do bairro de Gramadão, operado pela Sabesp. O tanque séptico utilizado era do tipo coletivo e foi projetado para receber em torno de 300 ligações familiares e estava operando com 500 ligações (Figura 4). Durante todo o período de funcionamento do tanque séptico, o mesmo nunca recebeu um processo de limpeza e retirada de lodo. O tanque encontra-se hoje em funcionamento por um período de 15 anos.

A cidade de São Miguel Arcanjo situa-se a uma altitude de 656 m e seu clima é classificado como subtropical úmido, sujeito a ventos sul e sudeste, com geadas fracas. O clima é classificado em Cwa pela classificação Köppen-Geige, cujas temperaturas no inverno são amenas e bem distintas das do verão que apresenta precipitações maiores e as temperaturas médias para esse período são maiores que 22 °C.

O lodo foi coletado do tanque séptico, na altura correspondente a 1/3 de do fundo do tanque e foi submetido a duas avaliações: quanto ao seu desaguamento, e, quanto ao seu potencial como condicionador de solo em uma cultura de roseira.

### **4.1 Desaguamento em contentores de geotêxtil (CG)**

Três contentores de geotêxtil distintos, de fabricação nacional foram utilizados no experimento em escala reduzida. Os contentores diferenciam entre si pela densidade de fios na trama de tecido gerando diferentes aberturas aparentes, correspondentes a 0,57 mm, 0,48 mm e 0,44 mm. Foram utilizados 12 contentores de geotêxtil diferente, totalizando três tratamentos distintos (de acordo com as aberturas

aparentes citadas) com quatro repetições. O preenchimento realizado durante as campanhas foram cumulativos, ou seja, o CG era preenchido até sua capacidade máxima, ocorrendo o desaguamento nos tempos pré-definidos e posteriormente o mesmo contentor era novamente preenchido com o lodo séptico.

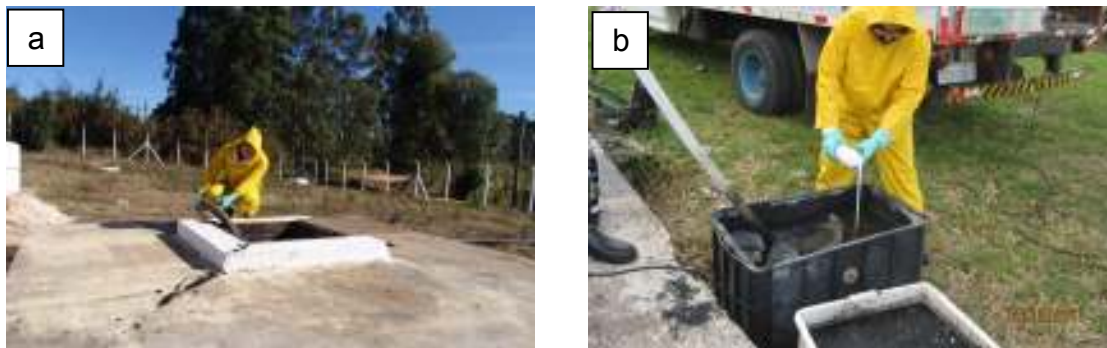
**Figura 4 - Vista do tanque séptico de onde foi coletado o lodo para o experimento**



Os contentores utilizados possuíam 0,36 m<sup>2</sup> de área em contato com o solo e volume médio interno de 60 L sendo que esses possuíam uma abertura central por onde era introduzido o lodo e retiradas alíquotas para análises laboratoriais. O sítio de instalação e repouso dos contentores recebeu terraplenagem, o solo foi compactado, impermeabilizado, recoberto com brita tipo 2 e o líquido percolado era retornado ao tanque.

O lodo era retirado do tanque séptico, armazenado em uma caixa recipiente e misturado com polímero orgânico sintético catiônico em emulsão a base de poliacrilamida, viscoso e isento de substâncias potencialmente tóxicas ao consumo humano. O polímero foi diluído com água destilada a 1% antes de ser misturado ao lodo retirado do tanque. Após introdução do polímero, foi realizada a agitação da mistura até a aglutinação das partículas e formação de estrias na camada superficial. A aplicação aconteceu com 2 mg de polímero para 6 kg de sólidos presentes no lodo conforme prévio estudo realizado por França *et al.* (2013).

Figura 5 - a) retirada do lodo do tanque séptico; b) mistura do polímero catiônico junto ao lodo



O experimento foi realizado em três diferentes campanhas, sendo que em cada uma foi medida a massa dos contentores em três períodos diferentes. Sempre no início de cada campanha estudada, os contentores eram preenchidos até sua máxima capacidade. Na primeira campanha, o lodo após a mistura com o polímero foi adicionado nos contentores de geotêxtil vazios. A partir desse momento ( $T_0$ ), a massa era aferida (Figura 6). Em seguida foram realizadas outras medições de massa após 30 minutos ( $T_1$ ), 24 horas ( $T_2$ ) e 15 dias ( $T_3$ ). Após este procedimento, ao final de 15 dias, iniciou-se uma segunda (respeitando os mesmos tempos de medição) com um novo preenchimento do contentor de geotêxtil e terceira campanha (onde foi avaliado o  $T_0$  e a massa ao final de 15 dias) onde os contentores foram preenchidos pela última vez. O líquido filtrado de cada contentor foi coletado para determinação dos teores de sólido. Para a coleta do líquido, os contentores foram colocados após cada preenchimento em formas de plástico, onde o líquido desaguado permanecia e era coletado para as análises laboratoriais. Após a realização da coleta do líquido, os contentores eram colocados nos leitos de brita construídos (Figura 7). Para a medida da massa dos contentores foi utilizado uma balança de campo, com precisão de 0,5 kg.

**Figura 6 - Medição da massa dos contentores de geotêxtil**



**Figura 7 - Disposição dos contentores de geotêxtil para desaguamento**



Os CG utilizados possuíam aberturas centrais por onde o lodo séptico era colocado para a secagem e também por onde foi promovido a retirada de amostragens. Após o tempo de 45 dias, foi realizada uma coleta do lodo remanescente no interior dos contentores para avaliação do lodo quanto ao teor de umidade e para caracterização

microbiológica e patogênica do lodo, pela quantificação de bactérias do grupo coliforme pela técnica de substrato cromogênico (APHA, 1995), ovos de helmintos viáveis (EPA/625/R-92/013, 2003) e presença de *salmonella spp* (EPA/625/R-92/013, 2003). A coleta foi realizada utilizando-se um frasco plástico adaptado unido a uma haste de ferro. Foram coletadas 15 amostras de cada contentor, em diversos pontos diferentes a fim de conseguir uma amostra composta por todas as regiões dos CG. Após a coleta, foi realizado o quarteamento das amostras no laboratório antes das análises laboratoriais.

O experimento foi inteiramente casualizado, composto de três tratamentos (um para cada abertura aparente estudada) e quatro repetições para cada tratamento identificados a seguir:

- CG 1 – Lodo de tanque séptico + polímero catiônico (CG de abertura aparente correspondente a 0,57 mm)
- CG 2 – Lodo de tanque séptico + polímero catiônico (CG de abertura aparente correspondente a 0,48 mm)
- CG 3 – Lodo de tanque séptico + polímero catiônico (CG de abertura aparente correspondente a 0,44 mm)

## **4.2 Uso na agricultura**

### **4.2.1 Local do experimento**

O experimento foi instalado em ambiente protegido (estufa) localizado nas proximidades do hospital das clínicas da UNICAMP, em área experimental do Departamento de Saneamento e Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, no campus da Unicamp, no município de Campinas-SP, cujas coordenadas geográficas são 22° 49' latitude sul, 47° 03' longitude oeste e altitude de

617 m. O clima, de acordo com a classificação de Koppen é Cwa – tropical de altitude com chuvas no verão e secas no inverno e temperatura média do mês mais quente superior a 22°C. De acordo com a CEPAGRI (Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura), a temperatura anual média do ar é de 22,4°C, com média de precipitação de 1424,5 mm ano<sup>-1</sup> e umidade relativa do ar de 73 a 47%.

**Figura 8 - Estufa do tipo arco, onde foi realizado o cultivo das roseiras**



Foram utilizadas estufas do tipo Arco, com cobertura de polietileno de baixa densidade (PEBD) transparente, com espessura de 0,15 mm, aditivada contra raios ultravioleta e difusor de luz (Figura 8 e Figura 9). As laterais da estufa eram fechadas com telas de sombreamento (sombrite) e cortinas de plástico transparente com dispositivo de levantamento durante o dia para manejo da temperatura e umidade relativa do ar. A estufa foi equipada com dispositivo de controle de umidade e temperatura. As dimensões das estufas eram de 16,0m (8,0+8,0m) de largura; 36,0m de comprimento e 4,5m de altura máxima do pé-direito. A área total da estufa era de 576 m<sup>2</sup>.



**Figura 9 - Vista interna da estufa de cultivo**



**Figura 10 - Vista dos canteiros utilizados no cultivo das roseiras**



As roseiras utilizadas no experimento estavam plantadas no solo em canteiros com as seguintes dimensões: 0,4m de largura por 0,2m de altura e 3,0m de comprimento (Figura 10), sendo que, para este estudo, já estavam em processo produtivo. Foi realizada análise física (SILVA, 2009) e química do solo (RAIJ, 1991), além da correção da acidez pela aplicação de calcário no processo de calagem.

#### **4.2.2 Cultura**

A cultura escolhida para o desenvolvimento da pesquisa foi a *Rosa hybrida* variedade “Ambiance” (Figura 11). Os canteiros utilizados (parcelas) possuíam 0,4m de altura, o espaçamento entre plantas era de 0,15m e entre linhas 1,25m (conforme plantio realizado em fazendas produtoras na cidade de Holambra - SP), totalizando 21 plantas por linha. Cada canteiro era composto por 3 linhas de plantas, sendo que as duas linhas laterais assim como a primeira e a última roseira de cada linha foram consideradas bordadura. As rosas utilizadas já se encontravam em estado produtivo, tendo três anos de idade.

#### **4.2.3 Determinação da granulometria e da curva de retenção de água no solo.**

O ensaio de granulometria é o processo utilizado para a determinação da percentagem em peso que cada faixa especificada de tamanho de partículas representa na massa total ensaiada. Através dos resultados obtidos desse ensaio é possível a construção da curva de distribuição granulométrica, importante para a classificação textural dos solos.

Foi realizada análise granulométrica do solo por meio de uma amostra composta, coletada dos canteiros de plantio para o conhecimento da textura. Então, antes do plantio foram colhidas amostras de todos os canteiros, misturadas e quarteadas para realização da análise. A análise granulométrica foi feita em triplicata e os resultados estão representados na Tabela 6.

**Figura 11 - Rosa Hybrida da variedade “Ambiance” que foi utilizada como modelo experimental para aplicação de lodo de tanque séptico.**



**Tabela 6 - Análise granulométrica do solo da estufa onde foram cultivadas as roseiras**

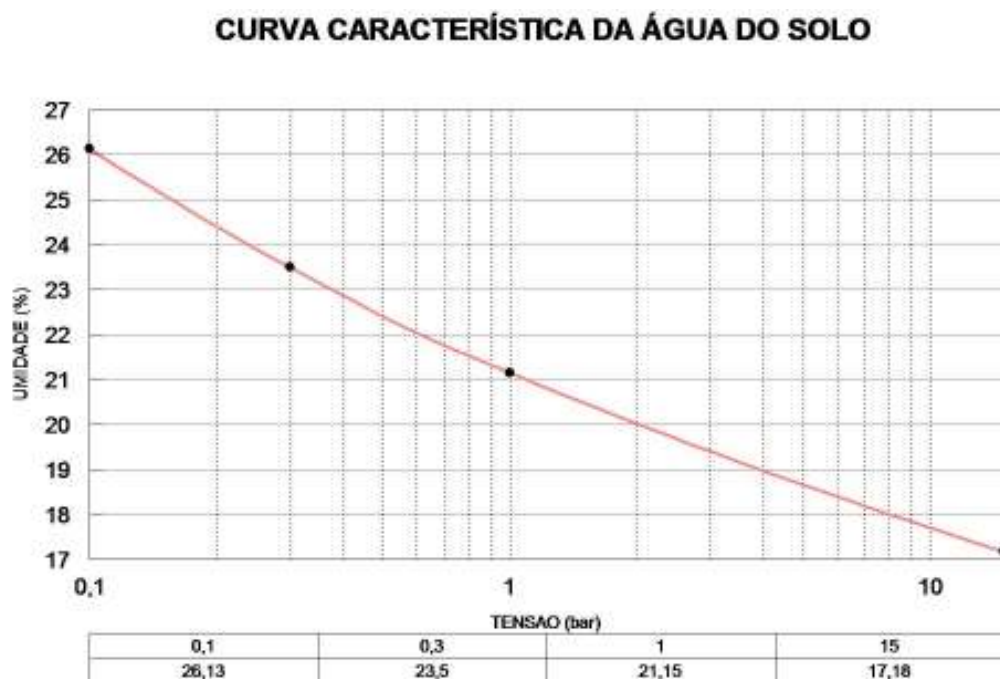
| Amostras  | Argila | Silte  | Areia  |
|-----------|--------|--------|--------|
| Amostra 1 | 31,97% | 13,83% | 54,20% |
| Amostra 2 | 34,94% | 13,86% | 52,20% |
| Amostra 3 | 34,19% | 14,51% | 52,30% |
| Média     | 33,70% | 14,07% | 52,90% |

De acordo com as análises realizadas no laboratório de Hidrologia da FEC (Unicamp), o solo foi classificado como Argilo Arenoso. A densidade do solo era de  $1,3 \text{ g cm}^{-3}$  e a densidade de partículas de  $2,78 \text{ g cm}^{-3}$ .

Para determinação da curva de retenção de água no solo, foram coletadas de cada canteiro amostras de oito pontos diferentes e posteriormente misturadas, formando uma amostra composta. A amostra foi quarteada e submetida ao ensaio de retenção de água no solo, no laboratório de Hidrologia da Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp. O gráfico da curva está representado pela Figura 12.

A partir do gráfico traçado, foi determinada a capacidade de campo do solo cuja umidade é de 26,13% e o ponto de murcha 17,18%.

Figura 12 - Curva característica de retenção da água no solo



#### 4.2.4 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado. No interior da estufa foram utilizados 16 canteiros em alvenaria com dimensões de 3,0 m x 3,0 m de comprimento e 0,4 m de profundidade. A disposição de cada canteiro para cada tratamento foi determinado através de um sorteio realizado previamente. O solo foi analisado quanto as suas características originais, antes da aplicação do lodo séptico (Co). Os tratamentos utilizados foram:

1 - Manejo convencional (NPK) - Adubação com NPK na proporção 10:10:10, visando fornecer a necessidade anual da planta quanto ao Nitrogênio;

2 - Lodo Séptico 1N (1N) - Adubação com lodo de tanque séptico após deságue e condicionamento em contentores de geotêxtil visando fornecer a necessidade anual da planta quanto ao Nitrogênio disponível no lodo;

3 - Lodo Séptico 1,5N (1,5N) - Adubação com lodo de tanque séptico após deságue e condicionamento em contentores de geotêxtil fornecendo a planta 50% a mais da necessidade da planta quanto ao Nitrogênio disponível no lodo;

4 - Lodo séptico 1N com adubação complementar com fósforo e potássio (1N + Ac.) - Adubação com lodo de tanque séptico após deságue e condicionamento em contentores de geotêxtil fornecendo a planta 100% da sua necessidade de nitrogênio. Além disso, os canteiros eram adubados com fósforo (superfosfato simples) e potássio (cloreto de potássio).

5 - Testemunho (B) - Grupo controle na qual não foi utilizado adubo no manejo da cultura.

#### 4.2.5 Correção da acidez do solo

Antes do começo do experimento, foi realizada a correção da acidez com calcário dolomítico de PRNT 71. A saturação por bases foi elevada a 80% (MALAVOLTA *et al.*, 2002). Os cálculos da quantidade de calcário utilizado estão descritos na Equação 1. Nesse processo de calagem o calcário foi revolvido junto ao solo numa profundidade de 0,2m, de acordo com a recomendação da Embrapa (SILVA, 2009). Os dados referentes a calagem, soma de bases e capacidade de troca catiônica do solo utilizados estão apresentados na Tabela 7.

$$NC = \frac{(V\%_2 - V\%_1) \times CTC}{PRNT \times 10}$$

Equação 1 - Cálculo da Necessidade de Calcário

Onde:

NC - Quantidade de Calcário

V% - Saturação de bases inicial e final

CTC - Capacidade de troca catiônica

PRNT - Poder relativo de Neutralização total

**Tabela 7 - Valores referentes à calagem para início do experimento**

| Tratamento | v%   | CTC<br>mmolc dm <sup>-3</sup> | NC<br>ton ha <sup>-1</sup> |
|------------|------|-------------------------------|----------------------------|
| NPK a      | 42,2 | 90,1                          | 4,80                       |
| NPK b      | 53,2 | 81,3                          | 3,07                       |
| NPK c      | 79   | 85,7                          | 0,12                       |
| NPK d      | 54,7 | 84                            | 2,99                       |
| 1N a       | 36,9 | 92                            | 5,58                       |
| 1N b       | 61,7 | 88,9                          | 2,29                       |
| 1N c       | 62,7 | 75,2                          | 1,83                       |
| 1Nd        | 65,6 | 81,4                          | 1,65                       |
| 1,5N a     | 65,6 | 90,1                          | 1,83                       |
| 1,5N b     | 65,6 | 81,5                          | 1,65                       |
| 1,5N c     | 67,6 | 77,1                          | 1,35                       |
| 1,5N d     | 62,9 | 83,6                          | 2,01                       |
| 1N + Aca   | 54,6 | 90,9                          | 2,89                       |
| 1N + Acb   | 47,7 | 76,5                          | 3,09                       |
| 1N + Acc   | 71,5 | 83,8                          | 0,89                       |
| 1N + Acd   | 68   | 89,6                          | 1,34                       |
| Branco a   | 28,9 | 90,1                          | 6,48                       |
| Branco b   | 70,6 | 105,7                         | 1,40                       |
| Branco c   | 79,7 | 98,8                          | 0,04                       |
| Branco d   | 62,9 | 83,6                          | 2,01                       |

#### 4.2.6 Irrigação

O sistema de irrigação era composto por motobombas, independentes para cada parcela, acopladas aos reservatórios com água. O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento (Figura 13a) e a água era fornecida a planta de acordo com a necessidade hídrica da cultura calculado pela leitura de tensiômetros espalhados pela estufa de cultivo (Figura 13b). Os tanques de armazenamento possuíam volume para 320 L e a água de irrigação era bombeada para os canteiros por bombas de 1/3 cv de potência. Os tubos gotejadores são compostos de polietileno, com diâmetro externo de 1,6 mm e diâmetro interno de 1,3 mm possuindo um emissário a cada 0,15 mm cuja vazão por emissário é de 1 L h<sup>-1</sup>. O sistema de irrigação era monitorado para acionamento procurando-se manter as leituras tensiométricas em 10 KPA conforme recomendado pela literatura (CASARINI, 2004). Em cada parcela foram instalados dois

tensiômetros na parte central do canteiro a profundidade de 0,10 m e 0,30 m. Além disso, micro-aspersores espalhados pela estufa garantiam a umidade e temperatura ideais para a cultura as quais eram monitoras por um termohigrometro instalado no interior da estufa.

**Figura 13 - Implantação de sistema de irrigação por gotejamento (a) e detalhes dos tensiômetros (b), instalados nos canteiros que foram utilizados como modelo experimental de aplicação de lodo de tanque séptico.**



O controle da irrigação foi mensalmente realizado pela análise do coeficiente de uniformidade da irrigação. Nesse ensaio foi medido o volume de água na saída de 15 emissários dos tubos gotejadores escolhidos ao acaso cada canteiro e medida a pressão no final da linha. Os dados foram comparados aos dados originais do fabricante para vazão dos emissários gotejadores e os valores foram considerados satisfatórios quando maiores ou iguais a 90%. Quando os resultados apresentaram valores menores, foi realizada limpeza no sistema de irrigação com hipoclorito de sódio em meio ácido.

#### **4.2.7 Controle de pragas**

A variedade de rosa utilizada no experimento era bastante susceptível a ataque de fungos. Durante todo o tempo de produção das rosas notou-se a presença de oídio (fungo que ataca as rosas causando perdas drásticas na produtividade) nas folhas. Para o controle dos fungos foram utilizados dois fungicidas diferentes, Cabrio®top e Collis. Os fungicidas eram aplicados por pulverização, semanal, alternando-se o princípio ativo de cada operação, até o controle total da doença. A

indicação dos fungicidas se deu por meio dos produtores da região que os utilizam nas fazendas de plantio.

Para o combate de pulgões foram pulverizados Fastac, e Confidor e Malathion, sempre que houvesse sinais de aparecimento dos mesmos. As pulverizações (Figura 14) eram realizadas com o pulverizador costal motorizado com capacidade de 13 L.

**Figura 14 - Pulverização de agrotóxico nas rosas para controle de pragas**



#### **4.2.8 Caracterização das alterações químicas do solo e água lixiviada**

O solo cultivado foi monitorado quanto ao pH, condutividade elétrica, Na, Ca, Mg, K, N-total, e P com coletas trimestrais durante o experimento. Foram coletadas amostras de solo em 15 pontos escolhidos ao acaso próximos as rosas para cada parcela, sendo posteriormente feito o quarteamento em laboratório e o solo enviado ao Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). Os metais analisados junto ao solo foram Cd, Cr, Cu, Ni e Zi no início e aos 12 e 18 meses de experimento. A coleta do solo foi realizada utilizando-se um trado holandês, na profundidade de 0,00 a 0,20 m. Foram coletadas amostras de todos os canteiros utilizados na pesquisa, em 15 pontos escolhidos ao acaso. Após a coleta de e o armazenamento do solo em um saco



plástico, o solo era transportado até o laboratório onde era feito o quarteamento da amostra. Após esse procedimento o solo foi encaminhado para o IAC onde foi avaliado conforme as metodologias propostas pelo boletim técnico 106 (CAMARGO *et al.*, 2009).

Em todos os canteiros foram instalados extratores de solução de solo de ponta porosa (Figura 15) em duas diferentes profundidades, 0,10 e 0,30 m para coleta do lixiviado. Para extração do líquido foi utilizada uma bomba de vácuo manual e uma seringa na qual foi acoplada uma fina mangueira.

**Figura 15 - Extrator de solução do solo**



O líquido coletado foi enviado ao laboratório para análise de Nitrato e Nitrito, com a utilização do reagente Nitrato NitraVer<sup>®</sup> e leitura em espectrofotômetro de acordo com Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (EATON *et al.*, 2005) e condutividade elétrica.

Foi determinada a concentração elétrica da solução extraída dos extratores após as duas primeiras adubações, após um ano de experimento e aos 18 meses de experimento.

Os dados obtidos da condutividade da solução foram ajustados de acordo com a formula (DIAS *et al.*, 2004):

**Equação 2 - Determinação da condutividade elétrica no extrato de saturação do solo**

$$CEes = \frac{CEscp \times Uscp}{Us}$$

Onde:

CEes= condutividade elétrica no extrato de saturação (dS m<sup>1</sup>)

CEscp = condutividade elétrica da solução do solo obtida com extrator de cápsula porosa (dS m<sup>1</sup>)

Uscp = umidade do solo no momento da extração pelo extrator (g/g)

Us= umidade do solo na pasta saturada (g/g)

A umidade do solo na pasta de saturação foi determinada por três amostras de solo. Foi adicionada água destilada gradualmente a 400g de solo seco ao ar até que a pasta saturada apresentasse as características desejadas, como superfície brilhosa, movimento lento em posição inclinada e fácil deslizamento sobre a espátula (DIAS *et al.*, 2004).

#### **4.2.9 Parâmetros avaliados quanto a qualidade e produtividade da cultura**

As rosas foram colhidas semanalmente dos canteiros por 18 meses sempre que os botões florais atingiam a rigidez necessária para a colheita. Houve interrupção na colheita após 10 meses de cultivo, retornando o corte de flores dois meses posteriormente. A poda era realizada sempre na terceira brotação e ocorreu de acordo com as recomendações dos produtores de rosas da cidade de Holambra/SP, os quais prestaram assessoria no manejo da cultura. Para evitar a abertura prematura dos botões, logo no início da formação dos mesmos, eram colocadas nos botões jovens redinhas específicas as quais comumente recebem o nome de capuz. Após a colheita,

todas as rosas eram quantificadas e acondicionadas para o transporte até o laboratório onde eram realizadas as análises quanto à qualidade do produto colhido.

#### **4.2.10.1 Produção de hastes comerciais**

Para a produtividade, foram consideradas todas as rosas colhidas consideradas aptas para a comercialização, as quais eram quantificadas. Apenas hastes de tamanho maior que 30 cm foram consideradas, uma vez que esse corresponde ao limite mínimo de tamanho para venda no leilão de flores que acontece na cidade de Holambra/SP.

#### **4.2.10.2 Dimensões das hastes comerciais**

O comprimento das hastes foi mensurado entre o ponto de corte até o final do botão através de uma mesa graduada em centímetros. O corte foi realizado sempre realizado na altura da 3ª folha de cinco folíolos da haste comercial. O diâmetro do caule foi medido a partir de 5 cm do corte com um paquímetro.

#### **4.2.10.3 Dimensões dos botões florais**

A medida do comprimento dos botões florais foi determinada após a leitura do comprimento e diâmetro das hastes comerciais colhidas em cada parcela. O comprimento foi determinado à partir da base do botão e o diâmetro mensurado na parte mediana do botão com um paquímetro.

#### **4.2.10 Análise do pós-colheita**

Após a medida dos parâmetros referentes à qualidade do produto colhido, as hastes florais foram acondicionadas em potes de vidro com água e tampa fechada para determinação da durabilidade das rosas. As hastes foram cortadas na porção inferior a cada dois dias para favorecer a absorção da água pelas rosas. As rosas foram consideradas não sadias e descartadas quando observado a queda e/ou manchas nas pétalas.

#### **4.2.11 Ensaio de respirometria do lodo**

Para a determinação do potencial biodegradável do lodo séptico, foi realizado o ensaio de respirometria, no qual o solo da pesquisa foi incubado com o lodo em três taxas de aplicação,  $10 \text{ ton ha}^{-1}$ ,  $37,2 \text{ ton ha}^{-1}$  (correspondente a taxa de aplicação 1N) e  $55,8 \text{ ton ha}^{-1}$  (correspondente a taxa de aplicação 1,5N).

O solo da estufa foi coletado e preparado de acordo com a norma NBR 14283 (ABNT, 1999), e após aplicação do lodo, a mistura foi incubada nos respirômetros de Bartha. As análises foram realizadas em triplicata e foi realizado também um grupo de controle, na qual não foi adicionado o lodo junto ao solo. O experimento seguiu-se por 90 dias e foi utilizada uma solução de hidróxido de sódio para captura do  $\text{CO}_2$  produzido.

A determinação da quantidade de  $\text{CO}_2$  liberada foi realizada através da medida da condutividade elétrica da solução de hidróxido de sódio incubada junto aos respirômetros conforme Rodella e Saboya (1999). Sendo assim a solução de NaOH era retirada dos frascos e foram submetidos a leitura de um condutivímetro para a determinação da condutividade elétrica (CE). Determinou-se também os valores de CE da solução de NaOH utilizada (0,5 N) e de uma solução padronizada de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  de mesma Normalidade (0,5 N).

O cálculo da quantidade em miligramas de  $\text{CO}_2$  liberado foi efetuado segundo a Equação 3.

$$C_{CO_2} = V_{NaOH} \times C_{NaOH} \times 22 \times \frac{(CE_{NaOH} - CE_{Amostra})}{(CE_{NaOH} - CE_{Na_2CO_3})}$$

**Equação 3 - Determinação da quantidade de gás carbônico liberado**

Sendo:  $C_{CO_2}$  a massa de  $CO_2$  em mg,  $V_{NaOH}$  o volume de hidróxido de sódio em mL,  $C_{NaOH}$  a concentração de hidróxido de sódio em mmol mL<sup>-1</sup>, CE a condutividade elétrica do hidróxido de sódio em mS cm<sup>-1</sup>,  $CE_{Amostra}$  a condutividade elétrica da amostra em mS cm<sup>-1</sup> e  $CE_{Na_2CO_3}$  a condutividade elétrica do carbonato de sódio em mS cm<sup>-1</sup>.

#### 4.2.12 Mineralização de nitrogênio

A análise de mineralização de nitrogênio foi realizada pela incubação sem lixiviação segundo a Norma Técnica da Cetesb P4.230 (CETESB, 1999). Para tanto, foi recolhido solo da estufa, na camada de 0,0 a 0,2 m de profundidade. O solo foi seco ao ar e passado em peneira de malha 0,2 cm. O solo foi então incubado junto ao lodo em frascos de vidro e foi adicionada água deionizada, de forma a promover o preenchimento de cerca de 70% da capacidade de campo do solo e o pH foi ajustado para 6,5. Os frascos foram então colocados em estufa de ambiente controlado a uma temperatura de 25,5±1,5 °C tampados com folha de papel alumínio com pequeno orifício para permitir a troca gasosa e minimizar a perda de umidade, a qual foi controlada pela passagem periódica dos frascos. As taxas de aplicação corresponderam as doses de nitrogênio equivalente a 150 kg ha<sup>-1</sup> e 200 kg ha<sup>-1</sup>.

As amostras de cada tratamento em duplicata foram coletadas após 0, 7, 14, 28, 42, 56, 70, 84, 98, 112 e 126 dias de incubação. As amostras foram coletadas semanalmente no primeiro mês, quinzenalmente no segundo mês e mensalmente no terceiro e quarto mês.

O nitrogênio mineralizado foi calculado pela soma do nitrogênio amoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) e do nitrogênio nítrico (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> + NO<sub>2</sub><sup>-</sup>). As avaliações foram realizadas pela extração do solo com destilação a vapor com MgO e liga de Devarda (BREMNER, 1966)

### **4.3 Análises estatísticas**

Os resultados foram submetidos a um tratamento estatístico utilizando-se o programa Action. Os dados foram avaliados quanto a variância, onde a partir do qual foi determinado o uso do teste não paramétrico (Kruskal-Wallis) ou paramétrico (Tukey) ambos realizados ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ). Para as análises de comparação de proporção foi utilizado o teste de proporções para duas amostras (95% de confiabilidade) e para a avaliação da durabilidade das rosas foi empregado o teste de confiabilidade log rank.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Desaguamento em contentores de geotêxtil

#### 5.1.1 Redução de massa

A Tabela 8 e a Figura 16 apresentam os dados referentes à medida de volume da primeira campanha.

**Tabela 8 - Valores médios relativos à perda de massa dos CGs nos diferentes tempos (1ª campanha) realizada na ETE do bairro Gramadão da cidade de São Miguel Arcanjo em 2012**

| Contentor | Massa T0 | Massa T1  | Massa T2  | Massa T3  | Perda Total |
|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
|           |          |           |           |           |             |
|           |          |           | kg        |           | %           |
| CG 1      | 62,0±3,7 | 36,9±10,7 | 22,6±15,3 | 17,5±8,7  | 72%*        |
| CG 2      | 62,1±8,7 | 33,6±15,8 | 28,1±14,6 | 21,8±9,1  | 65%*        |
| CG 3      | 59,9±2,1 | 34,3±13,1 | 25,1±13,1 | 18,2±10,2 | 70%*        |

\*Sem diferença estatística significativa estatística (Kruskal-Wallis 5%).

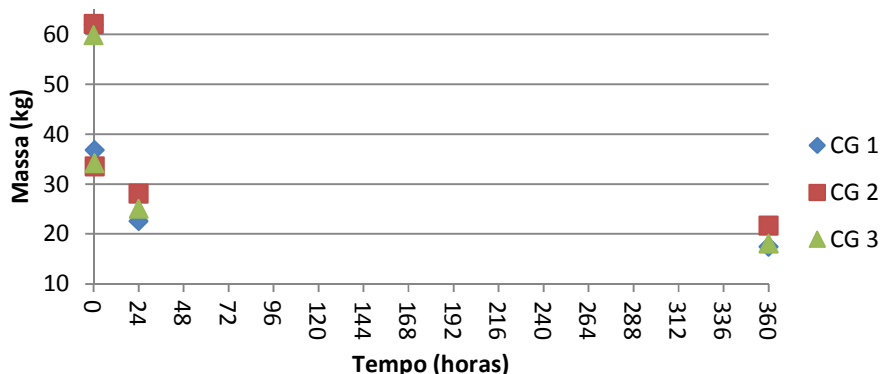
T0 - logo após preenchimento total; T1 - após 30 minutos, T2 - após 24 horas; T3 - após 15 dias.

Pela análise da Tabela 8 é possível verificar que de uma maneira geral, na primeira campanha, os resultados obtidos foram similares. O contentor que apresentou uma maior redução na massa total foi o de número 1, correspondente à abertura aparente de 0,57 mm, sendo o contentor de maior abertura aparente. Entretanto, não foi verificada diferença estatística significativa na perda percentual de massa nos contentores avaliados na primeira campanha.

Pela análise da Figura 16 é possível verificar que o CG 1 apresentou uma perda de massa de maneira mais uniforme, enquanto que os outros dois contentores, apresentaram uma leve diminuição na perda de massa entre a segunda medida (T<sub>1</sub>) e terceira medida (T<sub>2</sub>).

**Figura 16 - Perda de massa durante o desaguamento do lodo nos diferentes CGs na primeira campanha realizada na ETE do bairro Gramadão da cidade de São Miguel Arcanjo em 2012**

### Retenção de sólidos nos CG ao longo do tempo (1ª campanha)



É esperado que, com o CG cheio, o desaguamento ocorra de forma mais acelerada, uma vez que a pressão interfere no processo de saída de água (MOO-YOUNG *et al.*, 2002). Assim, quando o CG é totalmente preenchido, a pressão interna causada pelo excesso da mistura água + lodo acelera o processo de desaguamento, conforme foi observado na primeira campanha. À medida que o CG foi se esvaziando pela saída da água, a queda na pressão interna faz com que o processo de desaguamento aconteça em menor velocidade. Portanto, um novo preenchimento desse contentor pode acelerar o processo.

Para a segunda campanha, os valores coletados estão apresentados na Tabela 9 e na Figura 17. É possível verificar que a eficiência de desaguamento dos CGs foi menor em relação à primeira campanha, uma vez que a quantidade de sólidos presentes nos CGs eram maiores pela retenção de sólidos ocorrida na primeira campanha. Além disso, ocorre a colmatção dos poros dos CGs, dificultando a saída de água do interior dos contentores.



**Tabela 9 - Valores médios relativos a perda de volume dos CGs nos diferentes tempos (2ª campanha) realizada na ETE do bairro Gramadão da cidade de São Miguel Arcanjo em 2012**

| Amostra | T <sub>0</sub> | T <sub>1</sub> | T <sub>2</sub> | T <sub>3</sub> | Perda Total |
|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|
|         |                |                | kg             |                | %           |
| CG 1    | 62,6±3,7       | 59,5±0,4       | 55,8±2,8       | 40,5,3±4,0     | 35*         |
| CG 2    | 65,5±8,5       | 61,0±2,4       | 56,3±3,0       | 43,3±2,2       | 34*         |
| CG 3    | 60,8±2,3       | 59,0±0,8       | 54,9±3,7       | 42,0±3,7       | 31*         |

\*Sem diferença estatística significativa (Kruskal-Wallis 5%).

T0 - logo após preenchimento total; T1 - após 30 minutos, T2 - após 24 horas; T3 - após 15 dias.

A colmatção que ocorre na utilização dos CGs é uma das principais questões relacionadas ao uso de contentores de geotêxtil como filtrantes para concentração de sólidos (PALMEIRA e GARDONI, 2000). Essa colmatção pode ser física, química ou biológica. Na colmatção física, as partículas do material a ser filtrado são retidas nos poros, causando bloqueio dos poros dos CGs. A colmatção química ocorre pela sedimentação de elementos ou compostos químicos no geotêxtil, o que ocasiona a redução da condutividade hidráulica (ROLLIN e LOMBARD, 1988). Por sua vez, a colmatção biológica ocorre pelo crescimento bacteriano que ocorre dentro dos CGs (BAGCHI, 2004). Segundo Silva (2013), essa redução na condutividade hidráulica causada pela colmatção é maior já nos primeiros dez dias, sendo que após esse período a redução é menos acentuada e constante.

Novamente os resultados foram bem similares entre os diferentes CG, sendo que a diferença máxima era de 4% na perda total quando comparado o CG 1 com o CG 3. Da mesma forma que ocorreu na primeira campanha, não foi encontrada diferença estatística significativa entre os tratamentos empregados. De acordo com a Figura 17 foi possível verificar que diferente do ocorrido na primeira campanha, o desaguamento foi mais lento nos primeiros intervalos de medição e ocorreu de forma mais acentuada entre o tempo T2 e T3 no qual decorreram mais dias, demonstrando que mesmo com a elevada pressão interna ocasionada pelo completo preenchimento completo do CG, a velocidade de deságue não era mais a mesma pela colmatção dos poros. Além disso, como no interior dos CGs já havia o lodo anterior em que foi concentrado o seu teor de

sólido, era esperado que houvesse menor redução de volume, visto que a relação água/sólidos totais era menor que na primeira campanha, em que o CG foi cheio pela primeira vez.

**Figura 17 -Perda de massa durante o desaguamento do lodo nos diferentes CGs na segunda campanha realizada na ETE do bairro Gramadão da cidade de São Miguel Arcanjo em 2012**



A Tabela 10 apresenta os dados da terceira campanha realizada. Similar ao que foi observado nas campanhas anteriores, não houve diferença estatística significativa entre os CGs estudados. Entretanto, nessa campanha houve um maior espaçamento na medida, sendo que após a medida inicial da massa dos CG, a primeira medição ( $T_1$ ) foi realizada aos 15 dias e a medição final ( $T_2$ ) foi realizada aos 30 dias. Ainda assim, o percentual de perda total foi menor que nas campanhas anteriores. Dessa forma, somando-se a massa total de lodo bruto adicionado em cada contentor de geotêxtil nessa campanha e considerando a massa final alcançada nos CG 1, 2 e 3, o percentual de redução de volume total foi de 26%, 25% e 26% respectivamente, demonstrando que os três contentores, apresentaram um mesmo potencial de redução de volume para o lodo utilizado nesse estudo, tendo portanto a mesma eficiência. Os resultados demonstram uma grande perda de eficiência dos contentores de geotêxtil ao longo do tempo no desaguamento do lodo de tanque séptico o que sugere a necessidade na troca dos contentores para fins de desaguamento do lodo séptico.

**Tabela 10 - Valores médios relativos a perda de volume dos CGs nos diferentes tempos (3ª campanha) realizada na ETE do bairro Gramadão da cidade de São Miguel Arcanjo em 2012**

| Amostra | T <sub>0</sub> | T1'      | T2'      | Perda Total |
|---------|----------------|----------|----------|-------------|
|         |                | kg       |          | %           |
| CG 1    | 61,8±3,3       | 53,7±4,2 | 45,6±2,9 | 26*         |
| CG 2    | 64,1±6,9       | 50,3±2,2 | 47,4±3,5 | 25*         |
| CG 3    | 62,8±7,1       | 54,0±1,1 | 45,6±6,1 | 26*         |

\*Sem diferença estatística significativa (Kruskal-Wallis 5%).

T0 - logo após total preenchimento; T1 - após 15 dias; após 30 dias

Após a análise final nas três campanhas estudadas, foi determinada a perda de massa total dos CG no campo de pesquisa. Não foi encontrada diferença estatística significativa (Tabela 11) para os três CGs utilizados, sendo então a perda de massa média no CG 1, CG 2 e CG 3 correspondente a 64%, 62% e 63% respectivamente.

**Tabela 11 - Redução total de massa nos CG ao final das 3 campanhas**

| Amostra | Massa total | Massa final retida | Perda de massa total |
|---------|-------------|--------------------|----------------------|
|         | kg          | kg                 |                      |
| CG 1    | 128         | 45                 | 64%*                 |
| CG 2    | 126         | 47                 | 62%*                 |
| CG 3    | 123         | 45                 | 63%*                 |

\*Sem diferença estatística significativa (Kruskal-Wallis 5%).

O custo de transporte do lodo da fonte geradora até o sítio de aplicação agrícola tem sido o fator limitante para viabilizar economicamente o uso de lodo na agricultura (ANDREOLI *et al.*, 1999; BETTIOL e DE CAMARGO, 2006). Portanto, esse desaguamento é essencial, uma vez que representa menor volume e massa de lodo transportado. Com o desaguamento em contentores de geotêxtil, é possível uma redução nos custos de transporte desse lodo em 60 dias e preenchimento dos CGs em até três vezes.

Ao final de cada campanha, lodo desaguado foi avaliado quanto ao teor de umidade. Os dados obtidos estão apresentados na Tabela 12. O teor de umidade do lodo ao final da terceira campanha foi o mesmo para todos os contentores de geotêxtil

avaliados, demonstrando que todos os contentores utilizados apresentaram mesma eficiência de retenção de sólidos.

**Tabela 12 - Teor de umidade do lodo retido nos CGs (média  $\pm$  desvio padrão) ao final das três campanhas realizadas**

| Amostra | Umidade (%)     |                 |                 |
|---------|-----------------|-----------------|-----------------|
|         | Campanha 1      | Campanha 2      | Campanha 3      |
| CG 1    | 45,7 $\pm$ 8,6a | 28,9 $\pm$ 4,9a | 36,2 $\pm$ 6,9a |
| CG 2    | 48,1 $\pm$ 4,6a | 29,5 $\pm$ 5,3a | 38,1 $\pm$ 2,7a |
| CG 3    | 52,8 $\pm$ 5,7a | 36,0 $\pm$ 7,5b | 40,4 $\pm$ 6,9a |

\*Médias seguidas por letras iguais não apresentam diferença estatística significativa (Kruskal-Wallis 5%).

### 5.1.2 Análise dos efluentes dos CGs

As análises físico-químicas e biológicas dos filtrados de cada um dos CGs foi realizada a fim de se verificar a sua qualidade. Essas análises são importantes, pois a partir delas é possível efetuar o destino final do líquido filtrado. Dessa forma, de posse desses resultados é possível decidir se o líquido deve retornar ao tanque séptico logo em sua entrada ou se pode ser misturado ao efluente final do tanque. Além disso, essa análises determinam a captura de sólidos do sistema de desaguamento. Os resultados com relação ao pH, alcalinidade e condutividade elétrica estão apresentados na Tabela 13.

Com relação ao valor do pH, não houve variação entre os tratamentos empregados. Todos apresentavam pH dentro dos limites preconizados pelo CONAMA 430 (BRASIL, 2011a) para lançamento de efluentes, que corresponde ao pH entre 5 e 9.

**Tabela 13 - Análises de pH, alcalinidade e condutividade do efluente dos CGs (média  $\pm$  desvio padrão) realizada na ETE do bairro Gramadão da cidade de São Miguel Arcanjo em 2012 durante as três campanhas**

| Amostra | pH             | Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> ) |                    | Condutividade (μS cm <sup>-1</sup> ) |
|---------|----------------|------------------------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|
|         |                | PARCIAL                                              | TOTAL              |                                      |
| CG 1    | 7,8 $\pm$ 0,3* | 418,2 $\pm$ 220,8*                                   | 527,4 $\pm$ 279,7* | 2615,3 $\pm$ 1123,6*                 |
| CG 2    | 7,8 $\pm$ 0,2* | 392,4 $\pm$ 208,0*                                   | 492,6 $\pm$ 253,6* | 2549,3 $\pm$ 1074,4*                 |
| CG 3    | 7,7 $\pm$ 0,3* | 342,6 $\pm$ 155,4*                                   | 429,0 $\pm$ 202,2* | 2284,7 $\pm$ 845,6*                  |

\*Sem diferença estatística significativa (Kruskal-Wallis 5%).

Para alcalinidade, o efluente do CG 1 foi o que apresentou maior valor de alcalinidade, sendo que em todos os efluentes coletados, os valores estiveram acima dos encontrados no esgoto doméstico que varia entre 110 a 170 mg CaCO<sub>3</sub> L<sup>-1</sup>. Não houve diferença estatística significativa entre os três CG utilizados.

**Tabela 14 - Sólidos em suspensão no efluente (média  $\pm$  desvio padrão) dos CGs realizada na ETE do bairro Gramadão da cidade de São Miguel Arcanjo em 2012 durante as três campanhas**

|      | Turbidez             |                              | Sólidos Suspensos |   |          |
|------|----------------------|------------------------------|-------------------|---|----------|
|      | uT                   | totais<br>mg L <sup>-1</sup> | fixos             | % | voláteis |
| Lodo | 7527,3 $\pm$ 1552,9a | 3990,0 $\pm$ 1446,6a         | 13,5              |   | 86,5     |
| CG 1 | 594,4 $\pm$ 261,3b   | 517,1 $\pm$ 376,0b           | 37,8              |   | 62,2     |
| CG 2 | 499,7 $\pm$ 322,1b   | 289,1 $\pm$ 283,3c           | 32,5              |   | 67,5     |
| CG 3 | 371,0 $\pm$ 244,7c   | 268,4 $\pm$ 181,1c           | 30,8              |   | 69,2     |

\*Médias seguidas por letras iguais não apresentam diferença estatística significativa (Kruskal-Wallis 5%).

Da mesma forma, a condutividade elétrica dos efluentes foi semelhante estatisticamente. Em todos os casos, os efluentes apresentaram valores maiores que 700 μS cm<sup>-1</sup> correspondendo aos limites preconizados pela AYERS e WESTCOT (1994) para uso de efluentes para irrigação de culturas sem nenhum grau de restrição. Entretanto, os valores estão abaixo do limite de 3000 μS cm<sup>-1</sup> para uso da água em sistemas agrícolas sem grau de restrição severo, desde que o solo possua boa drenagem e que a cultura tenha boa tolerância quanto a concentração de sais.

Com relação à turbidez, (Tabela 14) os dados encontrados foram maiores para os contentores que apresentavam maiores aberturas aparentes. No tecido de menor abertura aparente, (0,44 mm) foi encontrado menor valor de turbidez. Porém todos os valores foram superiores aos limites máximos exigidos para corpos receptores classe 3 que é de 100 uT, demonstrando que o filtrado dos contentores de geotêxtil devem ser encaminhados ao início do tanque séptico.

Para a série de nitrogênio (Tabela 15), também não foi verificado variação entre os diversos efluentes estudados. Comparando-se os valores obtidos no filtrado com os valores do lodo bruto, é possível verificar que a maior parte do nitrogênio que havia encontrava-se na fase líquida, e, portanto houve um aumento na concentração desse elemento no efluente dos CG, entretanto, não foi encontrada diferença estatística significativa entre os tratamentos. Em se tratando do nitrogênio amoniacal, em todos os casos, os valores estiveram acima dos limites preconizados pela CONAMA 430 (BRASIL, 2011b) para lançamento de efluentes.

**Tabela 15 - Valores médios para fósforo e série nitrogenada (média  $\pm$  desvio padrão) no efluente dos CGs realizada na ETE do bairro Gramadão da cidade de São Miguel Arcaño durante as três campanhas**

|      | Fósforo            | N amoniacal          | Ntk                 | Nitrato            | N orgânico        |
|------|--------------------|----------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
|      | mg L <sup>-1</sup> |                      |                     |                    |                   |
| Lodo | -                  | 60,48 $\pm$ 1,33*    | 82,32 $\pm$ 1,62*   | 6,00 $\pm$ 5,22*   | 21,84 $\pm$ 0,29* |
| CG 1 | 10,90 $\pm$ 0,86*  | 198,66 $\pm$ 64,03*  | 213,61 $\pm$ 57,59* | 9,70 $\pm$ 3,96*   | 22,26 $\pm$ 8,12* |
| CG 2 | 10,55 $\pm$ 0,84*  | 223,93 $\pm$ 105,70* | 234,27 $\pm$ 99,97* | 16,40 $\pm$ 16,83* | 16,80 $\pm$ 3,96* |
| CG 3 | 10,45 $\pm$ 2,60*  | 187,69 $\pm$ 73,98*  | 206,30 $\pm$ 92,82* | 11,30 $\pm$ 7,92*  | 15,68 $\pm$ 1,58* |

\*Sem diferença estatística significativa (Kruskal-Wallis 5%) comparando-se os tratamentos nas linhas verticais.

Quanto aos micro-organismos indicadores de contaminação fecal nos efluentes (Tabela 16), os valores encontrados bem próximos em todos os tratamentos, tanto para *Escherichia coli* quanto para os coliformes totais.

**Tabela 16 - Análises microbiológica realizada no efluente dos CGs realizada na ETE do bairro Gramadão da cidade de São Miguel Arcanjo em 2012 durante as três campanhas**

| Amostra                          | Coliformes Totais | <i>E. coli</i> |
|----------------------------------|-------------------|----------------|
| Lodo (NMP 100 g <sup>-1</sup> )  | 2,5E+06           | 1,1E+06        |
| CG 1 (NMP 100 mL <sup>-1</sup> ) | 6,93E+07*         | 2,43E+06*      |
| CG 2 (NMP 100 mL <sup>-1</sup> ) | 4,80E+07*         | 2,07E+06*      |
| CG 3 (NMP 100 mL <sup>-1</sup> ) | 2,50E+07*         | 5,10E+05*      |

\*Sem diferença estatística significativa (Kruskal-Wallis 5%).

### 5.1.3 Análises parasitológicas

Segundo a metodologia utilizada, o lodo proveniente dos diversos CGs não apresentou ovos de helmintos viáveis acima do valor permitido pela legislação Brasileira (BRASIL, 2006). A Tabela 17 apresenta os valores encontrados para ovos de *Ascaris*. Embora não tenham sido encontrados ovos viáveis, foram encontrados alguns ovos não viáveis, demonstrando que a população atendida pelo tanque séptico possuía o verme, demonstrando a necessidade do estabelecimento de alguma estratégia de controle. Outra constatação foi a presença de ovos de outros helmintos (embora em concentrações mínimas) não menos importantes que *Ascaris*. Destaca-se a ocorrência de ovos de *Toxocara*, gênero de helminto causador da Síndrome da Larva Migrans Visceral e Ocular, doença grave que pode acometer o ser humano, especialmente crianças de tenra idade e imunodeprimidos.

Para as bactérias do grupo coliforme, os valores obtidos do lodo estão apresentados na Tabela 18. As análises foram realizadas após 30 dias do primeiro preenchimento dos contentores de geotêxtil (15 dias após o tempo T3). Não houve diferença no valor obtido entre os diferentes CGs utilizados na pesquisa sendo que em todos eles, os valores estiveram dentro do limite preconizado pela legislação Brasileira CONAMA (BRASIL, 2006), a qual estabelece como lodo classe A aquele em que a concentração de coliformes termotolerantes é menor que 10<sup>3</sup> NMP. O lodo bruto por sua vez já era enquadrado como classe B de acordo com a mesma legislação, porém a partir de 2011, ficou estabelecido que esse lodo classe B não mais poderia ser utilizado na agricultura.

**Tabela 17 - Resultado das análises de ovos de helmintos no lodo de tanque séptico retido nos contentores de geotêxtil ao final das três campanhas realizadas**

| Amostra     | Ovos Helmintos       | Ovos Helmintos |
|-------------|----------------------|----------------|
|             | Viáveis              | Não viáveis    |
| <b>CG 1</b> | < 0,25 ovo / g de ST | 0,09 / g de ST |
| <b>CG 2</b> | < 0,25 ovo / g de ST | 0,05 / g de ST |
| <b>CG 3</b> | < 0,25 ovo / g de ST | 0,43 / g de ST |

**Tabela 18 - Resultados quanto à presença de bactérias do grupo coliforme no lodo retido dentro dos contentores de geotêxtil ao final das três campanhas realizadas**

|            | Coliformes totais (NMP) | <i>E. Coli</i> (NMP) |
|------------|-------------------------|----------------------|
| Lodo bruto | $2,5 \cdot 10^6$        | $1,1 \cdot 10^6$     |
| CG 1       | 9,7E+02                 | <2,0E2               |
| CG 2       | 2,0E+02                 | <2,0E2               |
| CG 3       | 8,9E+02                 | <2,0E2               |

Com relação a *Salmonella*, organismo patogênico na qual legislação CONAMA 375 exige verificação antes da aplicação na agricultura, já se encontrava ausente no lodo bruto coletado do tanque séptico. Da mesma forma, após o deságue nos contentores, as análises laboratoriais demonstraram ausência dessa bactéria no lodo de todos os CGs estudados nessa pesquisa.

#### **5.4 Uso do lodo na agricultura**

Como, de uma maneira geral, não houve diferença estatística significativa entre os contentores de geotêxtil utilizados na pesquisa, foi utilizado um contentor maior, de abertura aparente 0,57 mm, de volume total de 200 L (Figura 18). O lodo foi, portanto, bombeado do tanque séptico para uma caixa de mistura onde era adicionado o polímero catiônico, e, em seguida, o lodo era bombeado para quatro contentores utilizados. A cada 15 dias, os contentores eram novamente enchidos até seu volume máximo, sendo que após 60 dias, os mesmos foram transportados até o laboratório para análises quanto ao seu potencial para aplicação na cultura de rosas.



**Figura 18 - Contentores de geotêxtil utilizados para desaguoamento do lodo séptico**



#### **5.4.1 Lodo séptico**

O lodo retirado do tanque séptico foi desaguoado em contentor geotêxtil por um período de três meses. Foram utilizados quatro contentores de geotêxtil, os quais, ao final de cada mês, foram novamente preenchidos, a fim de acumular o lodo para aplicação na agricultura. Após esse período, o lodo foi colocado em uma caixa plástica e foi homogeneizado, formando uma única amostra de lodo. Para as análises laboratoriais, o lodo foi coletado em diversos pontos dentro da caixa, sendo posteriormente feito o quarteamento da amostra. Os dados referentes à análise do lodo utilizado estão apresentados na Tabela 19.

A aplicação do lodo foi realizada de acordo com a concentração de nitrogênio disponível. Para o cálculo do nitrogênio disponível foi utilizado o valor de fração de mineralização (FM) igual a 20% e foi calculado de acordo com a Equação 4. A quantidade de Nitrogênio disponível no lodo correspondia a  $4,026 \text{ kg t}^{-1}$ . O lodo foi aplicado superficialmente com incorporação junto ao solo das roseiras.

**Tabela 19 - Valores médios da série de sólidos e série nitrogenada do lodo séptico utilizado para a aplicação no solo de cultivo das roseiras**

| Parâmetro                 | Unidade                | Resultados (base seca) |
|---------------------------|------------------------|------------------------|
| Sólidos voláteis          | %                      | 18,99                  |
| Sólidos totais            | %                      | 56,3                   |
| Teor de umidade           | %                      | 43,7                   |
| Nitrogênio amoniacal      | mg kg <sup>-1</sup>    | 1033,6                 |
| Nitrito+Nitrato           | mg kg <sup>-1</sup>    | 36,14                  |
| Nitrogênio Total Kjeldahl | g kg <sup>-1</sup>     | 18,4                   |
| <b>Bactérias</b>          |                        |                        |
| Coliformes totais         | NMP 100g <sup>-1</sup> | 6,1 x 10 <sup>3</sup>  |
| <i>E. Coli</i>            | NMP 100g <sup>-1</sup> | 1,0 x 10 <sup>1</sup>  |
| <i>Salmonella spp</i>     | -                      | ausente                |

$$N_{disp} = \left( \frac{FM}{100} \right) \times (N_{kj} - N_{NH_3}) + 0,5 \times (N_{NH_3}) + (N_{NO_3} + N_{NO_2})$$

**Equação 4**

Onde:

$N_{disp}$  - Nitrogênio disponível (mg kg<sup>-1</sup>);

$FM$  - Fator de mineralização do lodo (%)

$N_{kj}$  - Nitrogênio Kjeldahl (mg kg<sup>-1</sup>)

$N_{NO_3} + N_{NO_2}$  - Soma de nitrato e nitrito (mg kg<sup>-1</sup>)

$N_{NH_3}$  - Nitrogênio amoniacal (mg kg<sup>-1</sup>)

Para os anos produtivos da cultura de rosa, a taxa de aplicação de nitrogênio é de 150 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (MALAVOLTA *et al.*, 2002). O cálculo da taxa de aplicação de lodo foi realizado conforme recomendação da resolução CONAMA (BRASIL, 2006), cuja fórmula é apresentada na Equação 5.

$$Taxa\ de\ aplicação\ (t\ ha^{-1}) = \frac{N\ recomendado\ (Kg\ ha^{-1})}{N\ disponível\ (Kg\ t^{-1})}$$

**Equação 5**

Pela utilização da fórmula foi determinada uma taxa de aplicação correspondente a 37,2 t ha<sup>-1</sup> do lodo séptico (base seca) que foi utilizada na pesquisa. As adubações foram distribuídas em quatro aplicações anuais, visando fornecer o nitrogênio à planta em sua fase produtiva (MALAVOLTA *et al.*, 2002) por um período de 18 meses.

#### **5.4.2 Caracterização do lodo para uso na agricultura e aporte de nutrientes**

Os resultados alcançados na análise do lodo desaguado para utilização na agricultura estão apresentados na Tabela 20 e Tabela 21.

A taxa de aplicação calculada para a pesquisa foi de 37,20 t ha<sup>-1</sup> de lodo em base seca. Dessa forma, os canteiros (cada um com área total de 9 m<sup>2</sup>) que corresponderam ao tratamento que recebeu apenas a recomendação da legislação foram adubados com o equivalente a 33,48 kg ano<sup>-1</sup> de lodo em base seca. Dessa forma, de acordo com a densidade do lodo seco (1,02 kg dm<sup>-3</sup>), foi possível calcular o aporte dos demais macronutrientes durante a realização da pesquisa. Foi aplicado o equivalente a 4,30 kg de matéria orgânica por canteiro (equivalente a taxa de aplicação de 4,78 t ha<sup>-1</sup>). Em se tratando dos demais macronutrientes, fósforo e potássio, a aplicação anual correspondeu a 2,31 g P canteiro<sup>-1</sup> (equivalente a 2,31 kg ha<sup>-1</sup>) e 6,68 g K canteiro<sup>-1</sup> (equivalente a 7,42 kg ha<sup>-1</sup>). Comparando-se esses valores aos valores de adubação recomendados para rosa, o lodo séptico estudado forneceu para a cultura utilizada 7,06% e 7,45% do recomendado de fósforo e potássio, respectivamente, para o tipo de solo utilizado.

**Tabela 20 - Valores médios da fertilidade do lodo desaguado aplicado no solo para matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, soma de bases e capacidade de troca catiônica**

| pH      | MO                 | P                   | K       | Ca       | Mg       | H+Al                               | SB         | CTC        |
|---------|--------------------|---------------------|---------|----------|----------|------------------------------------|------------|------------|
|         | g dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup> |         |          |          | mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |            |            |
| 6,4±0,3 | 125,8±6,9          | 61,0±7,3            | 5,0±0,3 | 99,6±9,6 | 16,7±1,5 | 14,2±1,7                           | 136,1±10,8 | 150,3±12,4 |

**Tabela 21 - Valores médios para fertilidade do lodo desaguado aplicado no solo para saturação por bases, enxofre, sódio, ferro, manganês, cobre, zinco e boro**

| V%       | S          | Na         | Fe         | Mn                  | Cu      | Zn       | B       |
|----------|------------|------------|------------|---------------------|---------|----------|---------|
| %        |            |            |            | mg dm <sup>-3</sup> |         |          |         |
| 90,6±0,5 | 131,7±11,7 | 306,7±20,7 | 417,0±18,3 | 17,6±1,7            | 3,3±0,2 | 48,7±6,5 | 1,3±0,2 |

Por sua vez, com relação ao enxofre, um micronutriente necessário para maximizar a produtividade de rosas, o lodo séptico aplicado foi suficiente para fornecer 4,5 g S canteiro<sup>-1</sup> (equivalente a 5 kg ha<sup>-1</sup>) o que corresponde a 25% da necessidade da cultura.

Dessa forma, embora o lodo séptico seja capaz de fornecer todo o nitrogênio e matéria orgânica necessários para o cultivo de roseiras, ele pode não ser suficiente com relação aos outros macro e micronutrientes, sendo que, embora forneça uma parcela deles, ainda pode ser necessária a aplicação de adubação de cobertura para esses componentes. Ainda assim, a quantidade de fósforo fornecido pela aplicação do lodo séptico pode ser considerada inexpressiva, uma vez que apenas o fósforo mineral está disponível à planta, enquanto que o fósforo orgânico ainda precisa ser mineralizado no solo para posterior absorção (SARKAR e O'CONNOR, 2004). De uma forma geral, os lodos de esgoto e lodos digeridos são classificados como moderados quanto ao fósforo fitodisponível, classe essa que apresenta cerca de 25 a 75% da absorção quando comparados ao fertilizante mineral utilizado para fornecimento de fósforo, o superfosfato. Quando o lodo sofre processo de estabilização alcalina, ele pode ser classificado como fraco quanto ao fósforo fitodisponível, chegando a valores menores que 25% (O'CONNOR *et al.*, 2004). Dessa forma, essa estabilização só deve

ser recomendada caso seja necessária. Como o lodo utilizado já apresentava as características para a aplicação, a mesma não foi realizada.

### 5.4.3 Análise de fertilidade do solo

Os dados com relação a pH, matéria orgânica, fósforo e potássio estão apresentados na Tabela 22. Com relação ao pH, em todos os tratamentos, é possível verificar um aumento no valor de pH comparado-se às condições iniciais do solo. Esse aumento ocorreu pela calagem realizada no solo ao início do experimento, que foi realizada para todos os tratamentos estudados. Comparando-se o solo dos diferentes tratamentos ao final do experimento, é possível verificar que os tratamentos que utilizaram o lodo séptico para adubação apresentaram valores maiores de pH do solo.

**Tabela 22 - Valores médios encontrados no solo de cultivo após a aplicação do lodo séptico correspondentes a pH, matéria orgânica, fósforo e potássio**

| Tratamento | pH        | Matéria Orgânica   | P                   | K                                  |
|------------|-----------|--------------------|---------------------|------------------------------------|
|            |           | g dm <sup>-3</sup> | mg dm <sup>-3</sup> | mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |
| Co         | 4,5       | 20,7               | 19,0                | 1,3                                |
| 1N         | 6,0±0,3ac | 22,3±2,6a          | 26,7±10,9a          | 1,3±0,4a                           |
| 1,5N       | 6,0±0,3ac | 21,3±2,8a          | 21,1±4,1a           | 1,3±0,7a                           |
| 1N + Ac.   | 6,1±0,4a  | 20,2±1,6a          | 49,0±3,0b           | 2,5±0,4b                           |
| B          | 5,1±0,4b  | 19,5±1,4a          | 16,8±12,2a          | 1,1±0,4a                           |
| NPK        | 5,6±0,5c  | 19,8±1,5a          | 45,9±19,9b          | 2,9±0,2b                           |

Letras iguais representam não haver significância estatística entre os tratamentos pelo teste de Tukey 5% nas linhas verticais

Os solos brasileiros são comumente classificados como ácidos e a faixa ideal de pH para prática da agricultura encontra-se entre 5,5 e 6,0. Quando o solo apresenta esse pH, seus nutrientes encontram-se na solução do solo, estando disponíveis para a planta (MEDEIROS *et al.*, 2005). Por sua vez, a roseira apresenta a faixa ideal de pH entre 6,0 e 6,5. Valores muito elevados de pH além de dificultarem a absorção de nutrientes pela roseira podem também causar injúrias a raízes dessas plantas, quando o pH apresenta-se em torno de 7,6 (ZIESLIN e ABOLITZ, 1994)

O aumento dos valores de pH em solo cultivado com lodo de esgoto é esperado quando o lodo no processo de tratamento recebe elevadas quantidades de cal (CaO), que é uma base forte capaz de eliminar os patógenos presentes no lodo e ainda favorece o processo de desidratação do lodo. Embora o lodo séptico aplicado à cultura de rosa não tenha sofrido o processo de adição do CaO, o aumento do pH está condizente com trabalhos de Epstein *et al.* (1976), Stark e Clapp (1980) e Logan *et al.* (1997) que também utilizaram o lodo sem a calagem e obtiveram aumentos nos valores de pH. Esse aumento pode ser atribuído às reações envolvidas na degradação da carga orgânica do resíduo. Entretanto, em alguns casos pode haver acidificação do solo, quando ocorrerem reações de nitrificação ou produção de ácidos orgânicos pela oxidação de sulfitos (DOWDY *et al.*, 1991).

Para a matéria orgânica, não foi encontrada diferença estatística significativa entre os tratamentos (Tabela 22). Esses valores encontrados são considerados baixos para os solos argilosos (SILVA *et al.*, 1999). Era esperado encontrar valores maiores desse parâmetro nos canteiros em que o lodo de esgoto foi aplicado, uma vez que ele é rico em matéria orgânica e apresentava teor de carbono de  $435 \text{ g kg}^{-1}$  em base seca.

Entretanto, a análise da respirometria (Figura 19) do lodo no solo estudado demonstrou que o lodo séptico aplicado apresentava uma rápida degradação da matéria orgânica, sendo que, no ensaio em bancada, para a taxa de aplicação de 1N, 50% da matéria orgânica facilmente biodegradável era consumida em 12 dias, enquanto que para 1,5N o tempo necessário para consumo de 50% da mesma era de 13 dias. A respirometria foi realizada com três tratamentos distintos onde foram aplicados  $10 \text{ t ha}^{-1}$ ,  $37,2 \text{ t ha}^{-1}$  (correspondente a taxa de aplicação de 1N para as roseiras) e  $55,8 \text{ t ha}^{-1}$  (correspondente a taxa de aplicação de 1,5N). O percentual de degradação da matéria orgânica alcançado para os três tratamentos foram respectivamente 80%, 63% e 43%.

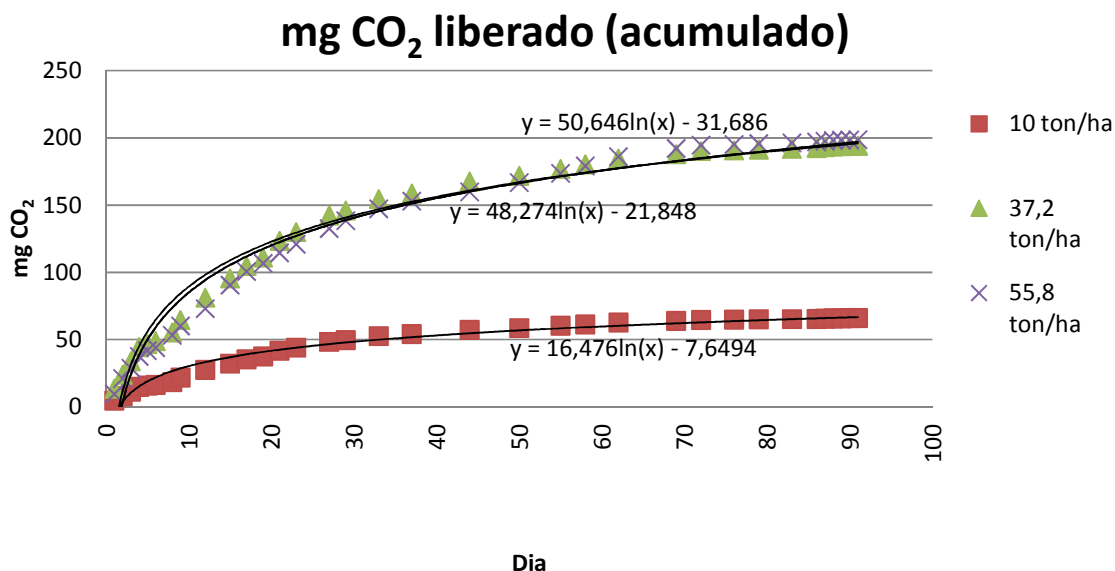
O percentual de degradação da matéria orgânica portanto decresce a medida em que aumenta-se a taxa de aplicação do lodo no solo. Entretanto, na realização da respirometria, a aplicação junto aos frascos incubados ocorreu em uma única vez,

enquanto que na aplicação real no solo agrícola foi dividida em quatro incorporações anuais sendo, portanto, menor a quantidade de lodo aplicada, o que indica maiores valores de degradação da matéria orgânica no solo de cultivo.

Os valores obtidos na respirometria classificaram o lodo como tratável no solo por apresentar porcentagem de degradação maior que 30%, valor esse recomendado pela NBR 14283 (ABNT, 1999). Outros estudos respirométricos de lodo de esgoto demonstraram também que o processo de degradação da matéria orgânica ocorre em duas etapas, uma de curta duração, que pode ocorrer nos primeiros sete dias, onde ocorre a oxidação das substâncias facilmente degradáveis, e outra etapa mais lenta, de longa duração (ANDRADE *et al.*, 2005).

O aumento da concentração de matéria orgânica no solo cultivado com lodo de esgoto na taxa de aplicação utilizada pelo presente estudo ocorre após várias aplicações anuais ou sob altas taxas de aplicação (OLIVEIRA *et al.*, 2002). Korboulewsky *et al.* (2002) avaliaram os teores de matéria orgânica no solo utilizando três taxas de aplicação, sendo que, após dois meses, houve um aumento na concentração de carbono no solo. Entretanto, após um período de 18 meses, houve uma estabilização nesses valores, pois todos os tratamentos estudados obtiveram o mesmo valor para esse parâmetro, independente da taxa de aplicação de lodo. Dessa forma, a aplicação de lodo séptico no solo da estufa de cultivo por 18 meses não foi suficiente para levar a incrementos desse parâmetro nos canteiros.

Figura 19 - Gráfico da evolução da produção de CO<sub>2</sub> pelo teste respirométrico



A concentração de fósforo no solo em todos os tratamentos adubados foi classificada como boa de acordo com o solo estudado (Tabela 22). Apenas no tratamento que não foi adubado nem com o lodo nem com o adubo mineral essa classificação era diferente, sendo que para esse, o solo foi classificado como médio com relação ao teor de fósforo (CAMARGOS, 2005). Conforme previsto, a adubação apenas com o lodo séptico não forneceu ao solo o teor de fósforo disponível que é fornecido pela adubação mineral. Dessa forma, os tratamentos que receberam adubação mineral apresentaram uma concentração maior de fósforo na faixa de 71 a 130%.

Assim, embora o lodo séptico tenha demonstrado em análises laboratoriais que era capaz de fornecer em torno de 7% do fósforo necessário para a máxima produtividade da cultura, essa quantidade de fósforo incorporada junto a cultura ao longo dos 18 meses não foi suficiente para aumentar a concentração desse elemento no solo. A carência de fósforo na planta pode causar amarelamento nas folhas mais velhas e posterior queda das mesmas. A falta do nutriente leva a não formação do botão floral (HAAG *et al.*, 1974).



Como os teores de potássio eram baixos no lodo séptico, os níveis de potássio trocável no solo foram menores nos tratamentos que não receberam adubação mineral. Comparando-se ao controle, em que nenhuma forma de adubação foi utilizada, os tratamentos que utilizaram 1N ou 1,5N da necessidade da cultura por nitrogênio, sem receber adubação complementar, os valores foram estatisticamente similares, indicando que o lodo não tem potencial de fornecer ao solo o potássio trocável (Tabela 22). Já o tratamento que além do lodo recebeu adubação complementar se assemelhou estatisticamente com o tratamento adubado com o adubo mineral. Dessa forma, há indícios que para a máxima produtividade da cultura de rosas, é necessário o fornecido também o adubo mineral, que no caso do potássio pode ser na forma de cloreto de potássio.

A adubação complementar contendo potássio é necessária, uma vez que esse elemento corresponde ao cátion mais abundante no citoplasma das células e os seus sais desempenham importante papel na regulação do potencial osmótico em quase todas as espécies vivas. No solo, o potássio é absorvido pela planta na forma de íon  $K^+$  que está envolvido a regulação da turgescência das células de acordo com sua concentração dentro dos vacúolos (MARSCHNER e RIMMINGTTON, 1996). Nas rosas, a deficiência de potássio pode causar um crescimento atrofiado, hastes florais menores que o normal, botões florais deformados, amarelamento e posterior necrose das folhas. Além disso, roseiras com deficiência de potássio apresentam maior incidência de ramos cegos (HORST e CLOYD, 2007).

O cálcio foi incorporado ao solo antes da aplicação do lodo e/ou adubo mineral no processo de calagem que foi realizada com calcário. Dessa forma, os valores aumentaram em todos os tratamentos em comparação com o solo no momento inicial (Tabela 23). Entretanto, o lodo aplicado nas roseiras, possuía uma concentração de cálcio relativamente elevada, sendo que sua aplicação correspondia a taxa de  $302 \text{ kg ha}^{-1}$ , o que fez que o tratamento 1,5N apresentasse maior valor médio para o cálcio em relação aos demais. O cálcio auxilia nas roseiras, a absorção de nitrogênio na forma de nitrato, sendo que a falta desse elemento pode prejudicar a absorção de nitrogênio e interromper o ciclo sem a formação de botões florais (HAAG *et al.*, 1974).

**Tabela 23 - Valores médios referentes aos teores de cálcio, magnésio, sódio, acidez potencial, soma de bases e capacidade de troca catiônica no solo de cultivo após aplicação do lodo séptico**

| Tratamento | Ca                                 | Mg        | H+Al      | SB          | CTC         |
|------------|------------------------------------|-----------|-----------|-------------|-------------|
|            | mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |           |           |             |             |
| Co         | 27,0                               | 18,0      | 58,0      | 20,0        | 34,0        |
| 1N         | 56,4±11,1ab                        | 21,8±9,3a | 23,6±5,3a | 74±10,4ac   | 90,0±15,5a  |
| 1,5N       | 59,1±11,3a                         | 17,8±6,6a | 22,0±5,4a | 70,9±20,3ac | 102,9±18,7a |
| 1N + Ac.   | 57,8±8,4ab                         | 19,3±2,5a | 16,3±1,4a | 75,4±11,1ac | 97,3±11,0a  |
| B          | 52,2±8,1ab                         | 17,1±4,6a | 21,5±6,3a | 53,3±14,8b  | 69,6±11,3b  |
| NPK        | 50,0±6,5b                          | 17,6±5,1a | 21,6±5,7a | 60,7±13,5bc | 74,8±10,0b  |

Médias seguidas por mesma letra na vertical não diferem entre si (Tukey 5%)

O lodo séptico utilizado apresentava uma concentração média de magnésio que para o tratamento 1N fornecia o equivalente a 30 kg mg ha<sup>-1</sup>. Ao final do experimento, o teor de magnésio não variou nos diferentes tratamentos, uma vez que os valores encontrados para todos foram estatisticamente semelhantes (Tabela 23). A carência de magnésio no cultivo de roseiras pode acarretar em uma alteração na coloração das folhas com posterior queda (HAAG *et al.*, 1974), pode reduzir o número de raízes e afeta a coloração das flores (LAURIE e RIES, 1950).

A acidez potencial (H+Al) do solo era muito alta no início do experimento. Embora ela tenha diminuído no processo de manejo do solo, em especial após a calagem do solo, ela ainda manteve-se alta (CAMARGOS, 2005) e foi estatisticamente similar para todos os tratamentos empregados (Tabela 23).

Como o solo inicial era classificado como altamente ácido (Tabela 23), a soma de bases (SB) correspondia a um valor baixo. A calagem aumentou o valor para esse parâmetro. Foi encontrada diferença estatística comparando-se os tratamentos que receberam o lodo com o tratamento não adubado (B). Esse aumento se dá, pela presença de cálcio, potássio e magnésio no lodo séptico (SIMONETE *et al.*, 2003), sendo que a aplicação do lodo na necessidade da cultura de rosas pelo nitrogênio, correspondeu a um aumento de 121,3 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. Para o solo inicial, a classificação com relação a SB era muito baixo, e ao fim do experimento, para todos os tratamentos o solo foi classificado como muito bom (CAMARGOS, 2005).

A CTC (Capacidade de troca catiônica) corresponde à quantidade total de cátions que um solo pode adsorver e trocar em um pH específico, sendo esse geralmente 7,0. O solo antes do cultivo apresentava baixa CTC, a qual foi elevada na calagem e na aplicação de lodo/adubo. O lodo séptico utilizado apresentava alta CTC a pH7 (Tabela 20) e levando-se em conta a taxa de aplicação de lodo para o tratamento 1N na faixa de 0,20 m de solo, era esperado um aumento na CTC de  $112 \text{ mmol}_c \text{ kg}_{\text{solo}}^{-1}$ .

O aumento da CTC a pH 7 já foi verificado em diversos estudos utilizando lodo na adubação de culturas agrícolas. (EPSTEIN *et al.*, 1976; SIMEONI *et al.*, 1984; CAVALLARO *et al.*, 1993). No solo, a matéria orgânica, embora represente baixo valor (cerca de 5%), é responsável por 80% da sua CTC (RAIJ, 1969), o que demonstra que esse incremento na CTC do solo pela aplicação do lodo séptico pode ocorrer não somente pelo incremento da CTC presente no mesmo, mas como também da matéria orgânica adicionada ao solo. De fato, foi observado que a utilização do lodo séptico ocasionou um aumento da CTC no solo estudado (Tabela 23).

A saturação por bases (V%) ideal para o cultivo de roseiras é de 80% (MALAVOLTA *et al.*, 2002). Como o solo inicial apresentava um valor abaixo para esse parâmetro, a calagem foi realizada com a finalidade de aumentá-lo. O valor da V% corresponde à razão das bases com a CTC do solo e é expresso em porcentagem. Não foi verificada diferença significativa entre as médias alcançadas em todos os tratamentos (Tabela 24). Isso ocorre porque a adição do lodo, como constatado, aumenta o valor da CTC pelo aumento nos teores de Ca, Mg, K e H+Al, mas de forma proporcional e portanto não altera os valores de V%. Assim, em todos os tratamentos, os valores encontrados estavam bem próximos aos valores ideais para a produção de rosas.

**Tabela 24 - valores médios referentes a saturação por bases, sódio, porcentagem de sódio trocável boro e nitrogênio no solo de cultivo**

| Tratamento | V%     | Na                  | PST   | B                   | N                   |
|------------|--------|---------------------|-------|---------------------|---------------------|
|            | %      | mg dm <sup>-3</sup> | %     | mg dm <sup>-3</sup> | mg kg <sup>-1</sup> |
| Co         | 60     | 17,0                | 2,2   | 0,4                 | -                   |
| 1N         | 83±29a | 45,8±10,7a          | 2,2a  | 14,9±7,6a           | 1,5±0,8a            |
| 1,5N       | 86±36a | 47,8±10,3a          | 2,0a  | 17,4±7,9a           | 1,6±0,8a            |
| 1N + Ac    | 82±3a  | 45,0±15,5a          | 2,0a  | 15,5±4,8a           | 2,0±0,7a            |
| B          | 79±16a | 16,7±2,0b           | 1,0b  | 0,2±0,1b            | 0,7±0,4b            |
| NPK        | 81±18a | 29,3±13,9c          | 1,7ab | 6,0±0,5c            | 1,9±0,7a            |

Médias seguidas por mesma letra na vertical não diferem entre si (Tukey 5%)

O lodo séptico utilizado na pesquisa possuía 306 mg dm<sup>-3</sup> de sódio (Tabela 21). Para a taxa de aplicação 1N, o incremento de sódio pela aplicação do lodo séptico equivaleu a 11,6 kg ha<sup>-1</sup>, o que é o responsável pelo aumento nos teores de sódio em comparação ao início do experimento. Dessa forma, pela análise da Tabela 24, é possível verificar que os tratamentos em que o lodo séptico foi utilizado apresentaram maiores valores na concentração do elemento no solo. O sódio por ser um elemento fitotóxico, pode ocasionar prejuízos as plantas, e portanto, sempre que presente no lodo, deve ser monitorado no solo de cultivo.

De uma forma geral, os tratamentos que foram adubados com lodo séptico apresentaram concentração de sódio de 170 a 186% maior que o tratamento em que nenhum tipo de adubo foi utilizado. Os mesmos tratamentos comparados com a adubação convencional com NPK demonstraram que a concentração no solo de sódio pode ser 63% maior utilizando o lodo séptico no solo.

Outro parâmetro com relação ao sódio importante de ser monitorado é a porcentagem de sódio trocável (PST) que corresponde à razão entre a concentração milimolar das cargas de sódio e a CTC. Os resultados expressos na Tabela 24 mostram também que os valores obtidos para os tratamentos adubados com o lodo foram significativamente maiores que no controle sem adubação. Porém para esse parâmetro não foi encontrada diferença estatística significativa comparando-se o adubo com a

adubação convencional. No solo no início do experimento esse valor era elevado, pois a CTC em questão era baixa.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2006) em uma de suas diretrizes para uso de efluente tratado na agricultura apresenta o valor limitante da PST no solo como 6%. Segundo Pizarro Cabello (1996), os solos classificados como normais apresentam PST menor que 7%, enquanto que Rengasamy e Olsson (1991) classificam o solo como sódico quando a PST ultrapassa 13%. Entretanto, esses valores são teóricos, uma vez que a textura do solo pode influenciar nos valores da PST (FREIRE e FREIRE, 2007). Da mesma forma, cultivos em ambiente protegido (estufa) devem ser constantemente avaliados uma vez que não há influência das chuvas.

O boro é um micronutriente muito importante para as culturas agrícolas. É importante observar esse elemento uma vez que a diferença entre a sua concentração adequada e aquela que pode ser tóxica é bem pequena (HAVLIN *et al.*, 2005). A toxidez das rosas por causa do boro pode ocorrer quando a concentração do elemento no substrato é maior que  $4 \text{ mg kg}^{-1}$ , e é caracterizada por manchas nas folhas que evoluem para clorose e posterior necrose.

Na concentração ideal, a adubação com boro aumenta a produtividade das rosas e diminui os dias necessários para o seu florescimento quando na concentração máxima de  $2 \text{ mg kg}^{-1}$  no substrato de adubação (ZANÃO JÚNIOR *et al.*, 2014). O lodo séptico estudado apresentava  $1,27 \text{ mg kg}^{-1}$  de boro (Tabela 21) e portanto tem potencial de ser benéfico, podendo aumentar a produtividade das rosas. Os valores alcançados na fertilidade do solo para o boro foram maiores estatisticamente nos tratamentos em que o lodo séptico foi empregado (Tabela 24) demonstrando que o boro presente no lodo aumenta a sua concentração no solo, o que pode ser benéfico à cultura se mantido nos valores ideais.

O nitrogênio é um macronutriente essencial para o desenvolvimento de todas as culturas agrícolas. Nas rosas, a adubação com nitrogênio proporciona um aumento nas suas hastes e no comprimento dos botões florais (CASARINI, 2004). Os valores

apresentados na Tabela 24 mostram que todos os tratamentos adubados apresentaram teores de nitrogênio maiores se comparados ao grupo controle. Nos tratamentos adubados com lodo ou NPK não houve diferença estatística significativa entre os valores encontrados para o nitrogênio.

#### **5.4.4 Análises dos metais potencialmente tóxicos**

Os valores relativos aos metais potencialmente tóxicos no solo estão apresentados na Tabela 25. De uma forma geral, os metais zinco, cádmio, cromo e chumbo tiveram suas concentrações aumentadas ao fim do experimento. No entanto não foi encontrada diferença estatística significativa entre nenhum tratamento estudado na pesquisa.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2005), estabelece limites quando aos teores de metais potencialmente tóxicos no solo apontando três classificações: a) valores de referência, na qual o solo que apresente concentrações de metais abaixo desses limites apresenta característica normal de qualidade; b) valores de prevenção, a partir do qual o solo começa a ter sua qualidade prejudicada, podendo haver contaminação, inclusive da água subterrânea e c) valores de intervenção, onde o solo apresenta-se contaminado sendo necessário remediação do mesmo.

Dos metais analisados, apenas o cádmio apresentou valores médios acima dos valores de referência. Os valores encontrados para esse metal entretanto, estão abaixo dos valores de prevenção, demonstrando portanto que não houve contaminação do solo. Embora não tenha havido diferença estatística significativa entre os tratamentos, a concentração desse metal nos tratamentos 1N 1N + Ac, B e NPK apresentaram valores acima da faixa de concentração de cádmio nos solos mundiais, que varia de 0,6 a 1,1 mg kg<sup>-1</sup> (KABATA-PENDIAS e MUKHERJEE, 2007).

**Tabela 25 - Valores médios encontrados no solo de cultivo para os metais potencialmente tóxicos**

| Tratamento | Cu                  | Mn       | Zn       | Cd       | Cr       | Ni | Pb      |
|------------|---------------------|----------|----------|----------|----------|----|---------|
|            | mg kg <sup>-1</sup> |          |          |          |          |    |         |
| Co         | 3,6                 | 3,3      | 1,2      | LD       | LD       | LD | LD      |
| 1N         | 3,7±1,0a            | 3,5±0,9a | 3,5±2,6a | 1,6±1,3a | 2,1±1,3a | LD | 0,4±01a |
| 1,5N       | 3,2±0,8a            | 3,0±0,8a | 4,5±3,1a | 1,1±1,2a | 2,1±1,9a | LD | 0,5±01a |
| 1N + Ac    | 3,7±0,1a            | 3,2±0,5a | 3,2±0,7a | 1,3±1,0a | 0,7±2,1a | LD | 0,3±01a |
| B          | 3,5±0,7a            | 3,0±0,5a | 2,9±2,2a | 1,2±1,0a | 0,7±0,6a | LD | 0,3±01a |
| NPK        | 3,6±0,6a            | 3,3±0,7a | 3,0±2,0a | 1,6±0,9a | 1,3±0,6a | LD | 0,3±01a |

LD: abaixo do limite de detecção

Médias seguidas por mesma letra na vertical não diferem entre si (Tukey 5%)

Para os demais metais, todos apresentaram ao final do experimento valores que estão dentro dos limites de qualidade (CETESB, 2005). O cobre não apresentou aumento na concentração inicial após o cultivo agrícola. Os valores encontrados para cobre estiveram entre 3,2 e 3,7 mg kg<sup>-1</sup>. A faixa de concentração de cobre nos solos mundiais está entre a 140 mg kg<sup>-1</sup> (KABATA-PENDIAS e MUKHERJEE, 2007).

A concentração de zinco ao final do experimento foi entre 2,9 a 4,5 mg kg<sup>-1</sup> o que correspondeu a um aumento de 2,5 a 3,7 vezes da concentração inicial. A média mundial para esse elemento no solo é de 43 mg kg<sup>-1</sup> (KABATA-PENDIAS e MUKHERJEE, 2007), sendo que os valores encontrados nessa pesquisa estão abaixo dessa média.

O cromo no início do experimento apresentava concentração abaixo do limite de detecção. Ao final do experimento, as concentrações encontradas nos tratamentos esteve entre 0,7 e 2,1 mg kg<sup>-1</sup>. A concentração média mundial de cromo nos solos é de 54mg kg<sup>-1</sup> (KABATA-PENDIAS e MUKHERJEE, 2007), podendo variar entre 20 a 200 mg kg<sup>-1</sup> (HE *et al.*, 2005) valores esses bem acima do encontrado no experimento.

O Níquel foi o único dos metais estudados que não estava presente no solo, sendo que, em todas as análises, o resultado encontrado para esse metal estava abaixo do limite de detecção. A concentração de níquel nos solos varia de forma bastante acentuada, mas a concentração média mundial é de 40 mg kg<sup>-1</sup> (KABATA-

PENDIAS e MUKHERJEE, 2007). Por fim, quanto ao chumbo, a faixa mundial para esse elemento é de 10 a 150 mg kg<sup>-1</sup> (HE *et al.*, 2005), valores esses bem acima do encontrado no experimento, o qual variou nos tratamentos entre 0,3 e 0,5 mg kg<sup>-1</sup>.

Embora algumas pesquisas tenham relacionado o aumento de metais potencialmente tóxicos no solo com a aplicação de lodo sanitário (DOMINGUES *et al.*, 2012; NASCIMENTO *et al.*, 2014), a análise dos resultados alcançados demonstra que esse aumento na concentração desses metais potencialmente tóxicos, embora tenha ocorrido durante o experimento não foi ocasionado pelo uso do lodo séptico, uma vez que o aumento se deu quer o lodo tenha sido usado ou não. O mesmo pode ser descrito para a adubação com NPK uma vez que o tratamento controle (B), não recebeu adubação, mas também apresentou aumento na concentração de seus metais. O manejo da cultura foi desenvolvido conforme assessoria de uma fazenda produtora de rosas da região, situada na cidade de Holambra-SP. Como as rosas eram susceptíveis ao ataque de pragas (pulgões e fungos) pulverizações de defensivos agrícolas eram realizadas semanalmente a fim de manter as roseiras saudáveis.

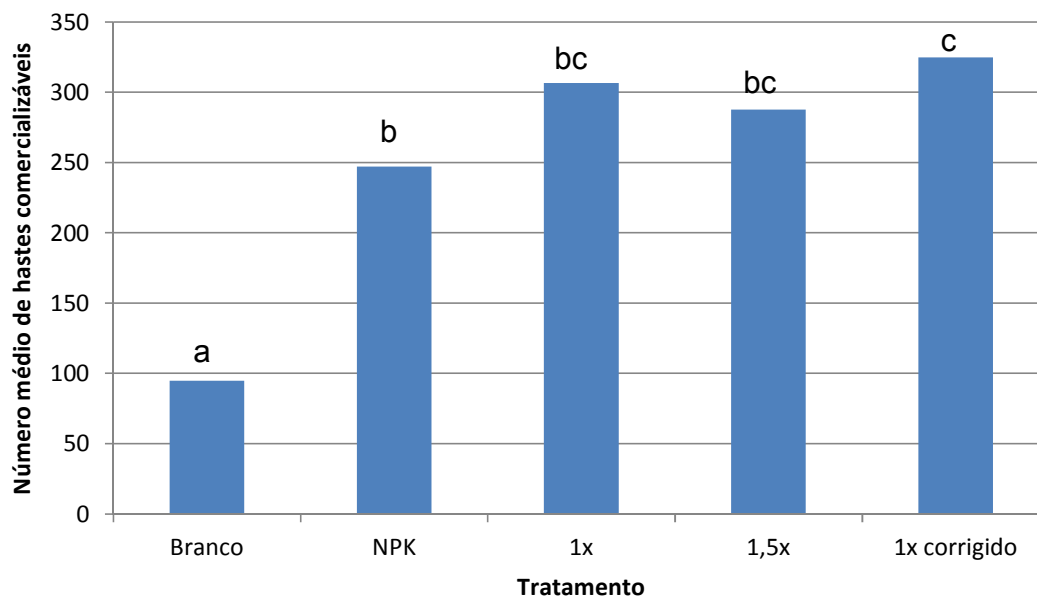
A pulverização desses agrotóxicos e pesticidas nas culturas agrícolas aumenta a concentração de metais potencialmente tóxicos no solo, uma vez que esses elementos fazem parte da composição dos produtos utilizados na pulverização (RAMALHO *et al.*, 2000). Dessa forma, as pulverizações realizadas semanalmente foram responsáveis pelo aumento da concentração dos metais potencialmente tóxicos no solo, e esta foi agravada, uma vez que o experimento foi conduzido em ambiente fechado, com irrigação localizada e não sofre lixiviação pela ação de chuvas.

#### **5.4.5 Produtividade da cultura**

Os valores referentes à quantidade de botões e hastes de rosas estão apresentados nas Figura 20 e Figura 21. De uma forma geral, os tratamentos em que o lodo séptico foi aplicado foram aqueles que obtiveram maiores números de rosas produzidas durante o experimento.



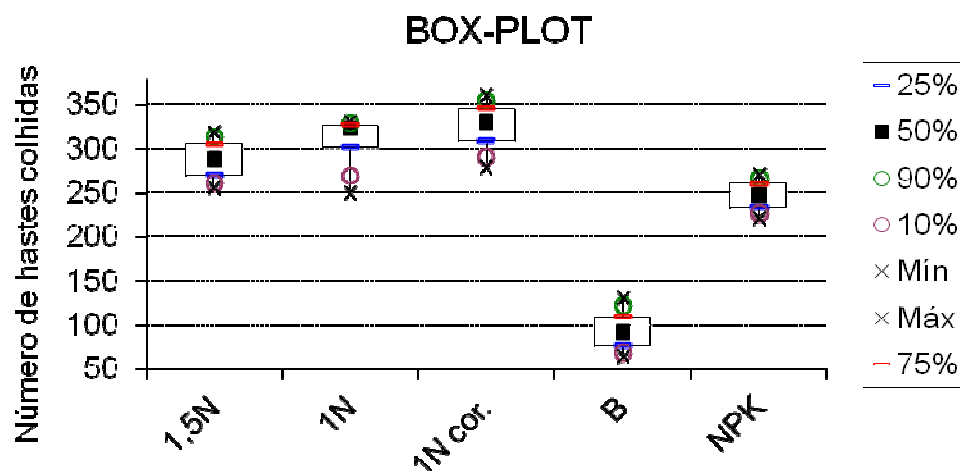
**Figura 20 - Número médio de hastes comercializáveis por canteiro**



Médias seguidas por mesma letra não diferem entre si (Tukey 5%)

A maior produtividade foi encontrada para o tratamento 1N corrigido. Embora não tenha sido encontrada diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ( $\alpha = 0,05$ ), a produção de rosas para o tratamento 1N corrigido foi 6% maior em relação ao tratamento em que apenas o lodo séptico foi aplicado (1N). Como a pesquisa foi realizada em canteiro, uma pequena área foi utilizada por repetição, porém extrapolando esses valores para uma fazenda produtora, essa diferença corresponde a pouco mais de 1,1 mil dúzias de rosas  $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$  (Tabela 26). Da mesma forma, foi possível observar que o excesso de nitrogênio aplicado ao solo nos tratamento 1,5N não trouxe benefício à produtividade, uma vez que o valor obtido na produtividade para esse canteiro foi menor que o obtido no tratamento 1N, embora também não tenha havido diferença estatística significativa entre eles.

Figura 21 - Gráfico de produtividade média de hastes comercializáveis por canteiro para cada tratamento



Quando foi comparado o tratamento 1N corrigido com o manejo convencional de cultivo de roseiras (adubação com NPK) foi possível observar que há diferença estatística entre os mesmos. A produtividade nesse caso foi 31% maior no tratamento que recebeu o lodo séptico e adubação complementar. Dessa forma, é possível uma produção de pouco mais de 4,8 mil dúzias de rosas  $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$  utilizando o lodo séptico no cultivo das roseiras (Tabela 26).

Tabela 26 - Valores médios de produtividade de hastes de rosas (mil dúzias de rosas  $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ )

|                     | Branco | NPK  | 1N   | 1,5N | 1N corrigido |
|---------------------|--------|------|------|------|--------------|
| Produtividade média | 5,8    | 15,3 | 18,9 | 17,8 | 20,1         |

Esses valores, ao longo dos anos podem tornar-se maiores, pois as roseiras podem armazenar grande quantidade de nitrogênio em seus tecidos, para posterior utilização. Dessa forma, é possível que nas primeiras colheitas não sejam notadas diferenças na produtividade de rosas de acordo com a aplicação de nitrogênio (CABRERA *et al.*, 1995). Além disso, nos meses correspondentes ao inverno, foi demonstrado que a produtividade de rosas também não varia em diferentes doses de

nitrogênio uma vez que a redução da luminosidade e do fotoperíodo diminui a absorção de fertilizante para esse período (CABRERA, 1998).

O aumento na produtividade das rosas com o lodo séptico ocorreu devido à presença de diversos micronutrientes presentes no lodo que são essenciais para a atividade metabólica dos vegetais. Um desses elementos fornecidos a planta pelo lodo foi o boro, que na concentração ideal é responsável pelo aumento da produtividade e diminuição do tempo de florescimento de rosas (ZANÃO JÚNIOR *et al.*, 2014). Cabe destacar também que pesquisas já demonstraram que o excesso de potássio no cultivo de rosas pode ser prejudicial a qualidade e produtividade da cultura, diminuindo o número de botões por plantas e favorecendo a infestação de pragas.

#### **5.4.6 Plantas invasoras**

Um ponto negativo, por se tratar de um lodo estritamente de origem domiciliar o lodo séptico apresentava muitas sementes em sua composição. Tais sementes eram incorporadas ao solo junto com o lodo e houve germinação das mesmas com o crescimento de plantas nos canteiros (Figura 22). Essas plantas podem ter relação de competição com as roseiras pelo nutriente presente no solo. Dessa forma, o controle de plantas invasoras deve ser realizado de forma mais efusiva em solo cultivado com lodo séptico.

**Figura 22 - Crescimento de plantas invasoras (tomate) devido a presença de sementes no lodo séptico**



#### 5.4.7 Fertilidade foliar

A análise de fertilidade foliar indica a condição nutricional da planta e pode ser utilizado para determinação da necessidade de adubação. Esses valores estão apresentados na Tabela 27 e Tabela 28.

**Tabela 27 - Valores médios obtidos na fertilidade foliar para nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre**

|         | N                    | P           | K        | Ca        | Mg          | S           |
|---------|----------------------|-------------|----------|-----------|-------------|-------------|
|         | dag kg <sup>-1</sup> |             |          |           |             |             |
| 1,5N    | 2,8±2,8a             | 0,13±0,020a | 1,6±0,2a | 2,2±0,47a | 0,22±0,041a | 0,18±0,024a |
| 1N      | 3,0±2,4a             | 0,13±0,022a | 1,6±0,2a | 2,5±0,72a | 0,21±0,031a | 0,18±0,013a |
| 1N + Ac | 3,1±1,9a             | 0,18±0,029b | 1,8±0,3a | 2,4±0,27a | 0,24±0,033a | 0,19±0,036a |
| B       | 1,9±1,3b             | 0,13±0,036a | 1,6±0,2a | 2,4±0,38a | 0,24±0,036a | 0,18±0,032a |
| NPK     | 3,1±1,9a             | 0,18±0,028b | 1,7±0,2a | 2,2±0,39a | 0,22±0,055a | 0,19±0,021a |

Médias seguidas por mesma letra na vertical não diferem entre si (Tukey 5%)

Os valores encontrados para nitrogênio nos tecidos foliares foram maiores tanto nos tratamentos adubados com o lodo séptico quanto no tratamento adubado com NPK. A absorção de nitrogênio pelas roseiras ocorre de forma mais acentuada logo depois da poda, e tem como finalidade suprir a planta durante o seu desenvolvimento, aumentando suas reservas para a formação dos novos brotos e alongamento das hastes florais. Da mesma forma, a absorção de nitrogênio ocorre de forma mais intensa nos períodos de formação dos botões (CADAHIA *et al.*, 1993) e a queda no valor nutricional, tanto de nitrogênio quanto de potássio culminam na redução do número de flores produzidas por planta (CABRERA *et al.*, 1995).

**Tabela 28 - Valores médios obtidos na fertilidade foliar para ferro, manganês, cobre, zinco e boro**

| Tratamento | Fe          | Mn         | Cu       | Zn         | B          |
|------------|-------------|------------|----------|------------|------------|
|            | mg/kg       | mg/kg      | mg/kg    | mg/kg      | mg/kg      |
| 1,5N       | 239,2±79,3a | 57,1±17,9a | 5,4±0,6a | 69,9±26,3a | 90,3±28,0a |
| 1N         | 268,2±71,4a | 60,3±14,7a | 5,8±0,6a | 81,2±21,4a | 86,6±21,9a |
| 1N + Ac    | 167,0±79,1a | 47,8±9,3a  | 5,8±0,6a | 80,4±39,4a | 83,6±30,4a |
| B          | 195,7±81,4a | 58,4±15,8a | 5,5±1,0a | 83,5±29,1a | 36,3±10,1b |
| NPK        | 284,6±87,7a | 60,7±19,3a | 6,0±0,8a | 74,9±32,9a | 48,6±10,4b |

Médias seguidas por mesma letra na vertical não diferem entre si (Tukey 5%)

Para o fósforo, os valores médios encontrados na fertilidade foliar mostraram que há diferença estatística significativa entre os tratamentos em que a adubação mineral foi utilizada. Nesses tratamentos (1N + Ac e NPK) os teores de fósforo encontrados nas folhas das roseiras foram maiores que os demais, demonstrando que, conforme previsto na aplicação do lodo, os teores de fósforo disponíveis no lodo eram insuficientes para suprir a necessidade média de roseiras quanto ao macronutriente em questão. Para a fertilidade foliar, os valores médios encontrados que indicam bom estado nutricional da planta variam entre 0,2 e 0,3 dag<sub>P</sub> kg<sup>-1</sup> (ALMEIDA NETO, 2001). Embora em nenhum tratamento esses valores tenham sido encontrados, os tratamentos 1N + Ac e NPK foram os que mais se aproximaram.

O conteúdo total de fósforo no solo não indica sua disponibilidade para as plantas, uma vez que apenas a fração inorgânica é facilmente absorvida pela raiz. O

fósforo presente no lodo encontra-se na maior parte presente na fração orgânica, dependendo, portanto de processos de mineralização para aumento da sua disponibilidade (ROCHA *et al.*, 2005). Dessa forma, é esperado um aumento na concentração do fósforo foliar quando se utiliza adubação mineral, embora com o passar dos tempo, os processos geoquímicos e biológicos possam promover maior disponibilidade de fósforo fornecidos pelos adubos orgânicos.

Para o potássio foliar, os valores médios ideais encontrado nas rosas estão entre 1,0 e 3,0  $\text{dag}_K \text{ kg}^{-1}$  (ALMEIDA NETO, 2001). O potássio é absorvido no solo, sobretudo durante os períodos de formação dos botões florais e concentrações inadequadas nos tecidos das rosas limitam o crescimento e florescimento além de reduzirem a qualidade do produto colhido (CADAHIA *et al.*, 1993). Embora a concentração do K nas folhas de rosas possa ser relacionada com a disponibilidade do mesmo no solo de cultivo (DOS SANTOS, 2005), para todos os tratamentos empregados nesse estudo os valores estavam dentro dessa faixa. Da mesma forma, não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos.

As concentrações de cálcio encontradas não apresentaram diferença estatística significativa entre os tratamentos empregados e estão dentro da faixa ideal para rosas a qual corresponde entre 1,0 e 3,5  $\text{dag}_{Ca} \text{ kg}^{-1}$  (ALMEIDA NETO, 2001). A absorção de cálcio pelas raízes das plantas é dependente da concentração de potássio, uma vez que ambos são elementos que competem pelos mesmos sítios de absorção. Com o decorrer da idade da planta, a relação Ca/K tende a aumentar nas folhas. Por sua vez, o potássio assim como o fósforo e enxofre são encontrados predominantemente nas flores e frutos (DOS SANTOS, 2005)

Os valores obtidos para magnésio e enxofre não apresentaram diferença estatística significativa (Tabela 28) e estavam dentro da faixa ideal para roseiras. Já para o ferro, os valores também não diferiram estatisticamente entre os tratamentos empregados, porém em todos eles, estão acima dos valores ideais nas folhas de roseiras. Esse valor elevado no teor de ferro pode ser explicado pelo solo utilizado, na região de Campinas/SP, o qual é rico em ferro e conseqüentemente aumenta a

disponibilidade do metal para absorção pela planta. Os demais metais, manganês, cobre e zinco estavam dentro da faixa ideal e não foram diferentes estatisticamente entre os tratamentos

Por fim, quanto ao boro, os tratamentos adubados com lodo séptico apresentaram valores maiores que os tratamentos não adubados. Dos que utilizaram o lodo séptico, o tratamento 1,5N e 1 X também foram maiores que aquele em que apenas o adubo mineral foi utilizado NPK. Já o tratamento 1N + Ac o qual utilizou lodo séptico e também o adubo mineral estatisticamente foi semelhante ao NPK (Tabela 28). Na literatura, o valor máximo de concentração de boro nas folhas de roseiras corresponde a  $60 \text{ mg kg}^{-1}$  (ZANÃO JÚNIOR *et al.*, 2014). Esse valor foi ultrapassado em todos os tratamentos em que o lodo séptico foi utilizado. Conforme citado anteriormente, no tópico 5.4.3 Análise de fertilidade do solo, o excesso de boro pode ocasionar necrose das folhas, o que influencia negativamente na produtividade das rosas. Por isso é importante a verificação desse micronutriente no tecido foliar para determinação do potencial de dano a cultura. Entretanto, conforme foi verificado no tópico 5.4.5 Produtividade da cultura, a adubação com lodo séptico foi responsável por um aumento na produtividade das rosas, sendo, portanto, o valor encontrado da concentração de boro foliar insuficiente para causar prejuízos à colheita.

#### **5.4.8 Caracterização das rosas colhidas**

Os resultados obtidos quanto a qualidade das rosas colhidas estão apresentados na Tabela 29 e Figura 23.

Um dos parâmetros de maior importância para o comércio de rosas corresponde ao comprimento das hastes florais. Nas fazendas produtoras, as rosas são separadas de acordo com o tamanho dessas hastes e posteriormente são levadas a mesa de corte onde as hastes são cortadas para homogenização do tamanho. Dessa forma, as hastes para comércio final possuem tamanho de 30, 40, 50 e 60 cm, sendo que as hastes de 30 são classificadas como curtas, as de 40 e 50 cm são classificadas

como médias e as de 60 cm como longas e, portanto possuem maior valor de comercialização.

**Tabela 29 - Valores médios encontrados para caracterização da qualidade do produto final colhido na estufa de cultivo quanto ao tamanho das hastes, diâmetro do caule, diâmetro do botão e altura do botão floral**

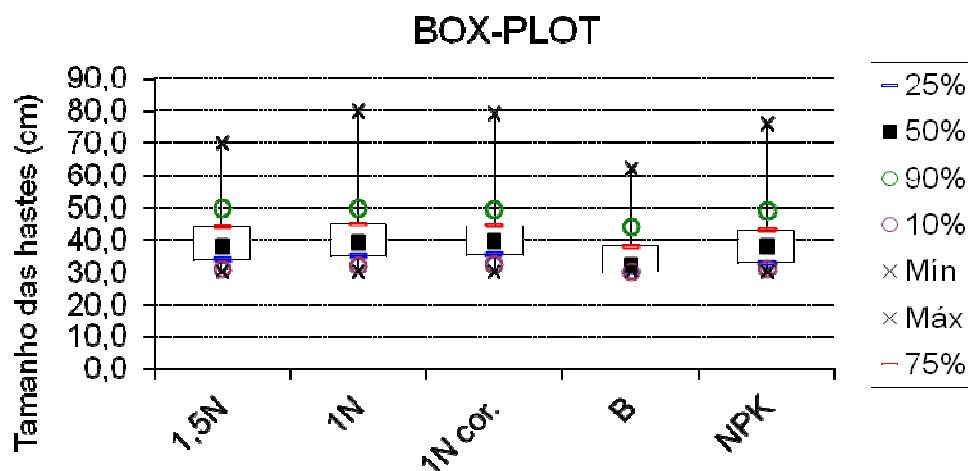
| Tratamento | Tamanho    | Diâmetro caule | diâmetro botão | altura botão |
|------------|------------|----------------|----------------|--------------|
| cm         |            |                |                |              |
| NPK        | 39,2±7,2a  | 0,6±0,1a       | 3,3±0,4a       | 4,6±0,5a     |
| B          | 34,7±6,0b  | 0,6±0,1a       | 3,3±0,5a       | 4,6±0,6a     |
| 1N         | 40,2±7,5c  | 0,6±0,1a       | 3,3±0,4a       | 4,6±0,5a     |
| 1N + Ac    | 40,5±7,0c  | 0,7±0,1a       | 3,3±0,5a       | 4,7±0,6a     |
| 1,5N       | 39,7±7,1ac | 0,7±0,1a       | 3,3±0,5a       | 4,5±0,5a     |

Médias seguidas por mesma letra na vertical não diferem entre si (Tukey 5%)

Com relação ao tamanho médio das hastes produzidas, as rosas que apresentaram maiores tamanhos de haste foram as rosas adubadas com o lodo séptico. Estatisticamente, os tratamentos 1N e 1N + Ac apresentaram valores de 1,0 e 1,3 cm maiores respectivamente em comparação com o tratamento em que apenas o NPK foi utilizado. O mesmo não foi observado quando se compara o tratamento 1,5N com o NPK, o que demonstra que a aplicação em excesso do lodo pode não trazer os mesmos benefícios, para esse parâmetro que a aplicação na dosagem recomendada para roseiras. Todos os tratamentos adubados apresentaram tamanho médio de hastes maiores que o tratamento em que nenhuma forma de adubação foi empregada.



Figura 23 - Gráfico Boxplot para tamanho das hastes florais nos diferentes tratamentos



Na Tabela 30 está apresentada a frequência das faixas de tamanhos encontradas durante a pesquisa nos diferentes tratamentos. A primeira coluna corresponde ao percentual de hastes que apresentavam tamanhos de 30,0 a 39,9 cm, as quais, na mesa de corte, seriam homogeneizadas para 30,0 cm e correspondem as rosas que apresentam menor valor comercial. A análise estatística pelo teste de proporção (0,95) mostra que o tratamento não adubado foi o que apresentou maiores proporções para hastes de tamanho de 30,0 a 39,9 cm. Os tratamentos NPK e o tratamento 1,5N foram estatisticamente semelhantes e apresentaram proporções maiores que os tratamentos 1N e o 1N + Ac

Para a segunda coluna da Tabela 30, estão apresentados o percentual de hastes que apresentavam tamanho entre 40,0 e 49,9 cm, as quais seriam homogeneizadas na mesa de corte para 40,0 cm. Essas apresentam maiores valores comerciais que as primeiras, devido ao seu tamanho maior. O tratamento não adubado (B) apresentou menores proporções para hastes desse tamanho, visto que uma grande quantidade de rosas desse tratamento apresentavam tamanhos entre 30,0 e 39,9. Comparando-se os tratamentos adubados, o NPK apresentou um percentual na frequência dessas hastes estatisticamente semelhante ao 1,5N e inferior aos

tratamentos 1N e 1N + Ac Dessa forma, é possível inferir que com a utilização do lodo séptico na adubação de rosas, na taxa de aplicação recomendada para a planta (1N), é mais provável encontrar hastes de tamanho entre 40,0 e 49,9 que com a adubação convencional com NPK. Essa diferença na frequência pode chegar até a 10% como observado na comparação entre o NPK e o 1N + Ac, demonstrando um ganho comercial para as rosas adubadas com lodo séptico.

**Tabela 30 - Frequência encontrada quanto aos diferentes tamanhos das hastes colhidas (em cm) nos tratamentos estudados**

| Tratamentos | Tamanho das hastes |       |       |     |
|-------------|--------------------|-------|-------|-----|
|             | 30-40              | 40-50 | 50-60 | >60 |
|             | Frequência (%)     |       |       |     |
| NPK         | 63%a               | 29%a  | 7%a   | 1%a |
| B           | 83%b               | 15%b  | 2%b   | 0%b |
| 1N          | 56%c               | 35%c  | 8%a   | 1%a |
| 1N + Ac     | 52%c               | 39%c  | 8%a   | 1%a |
| 1,5N        | 59%a               | 33%ac | 7%a   | 1%a |

Médias seguidas por mesma letra na vertical não diferem entre si (teste de proporção 5%)

A terceira coluna da Tabela 30 apresenta a frequência percentual das hastes colhidas que apresentavam tamanho que variavam de 50,0 a 59,9 cm. Essa por sua vez tem também valor comercial maior que as anteriores por serem mais raras. Da mesma forma, o tratamento não adubado apresentou menores valores percentuais. Entretanto, dessa vez, a análise estatística do teste de frequência demonstrou que, para todos os tratamentos adubados, o percentual foi o mesmo. A mesma observação foi feita para a quarta coluna, a qual representa as hastes colhidas de tamanho maiores que 60 cm, as quais apresentam o maior valor comercial que as demais.

A haste colhida, juntamente com suas folhas são compostas aproximadamente por 85% de água e 15% de matéria seca (ALMEIDA NETO, 2001). Dessa forma, a quantidade de água disponível pode ter grande influência no tamanho dessas hastes colhidas, o que de fato foi verificado por Casarini (2000), que verificou

que a lâmina hídrica aplicada na irrigação de roseira era capaz de promover um aumento no tamanho das hastes florais. Da mesma forma, Woodson e Boodley (1982) demonstraram que a adubação de rosas com fonte de nitrogênio contendo maior proporção de  $\text{NO}_3^-$  que  $\text{NH}_4^+$  pode culminar em hastes maiores. Dessa forma, era esperado um menor tamanho das hastes florais na utilização do lodo séptico desaguado, uma vez que a maior parte do nitrogênio presente no mesmo correspondia ao nitrogênio amoniacal e pequena parte era composto de nitrato (Tabela 19). Entretanto, o NPK utilizado no estudo, é composto por 44% de uréia e 20% de sulfato de amônio (RIBEIRO, 1999).

De acordo com os dados da Tabela 29 e Figura 24, verifica-se que não houve diferença estatística significativa para o diâmetro do caule das hastes florais colhidas em todos os tratamentos. Esse parâmetro é importante, pois hastes com diâmetro maior ou igual a 0,6 apresentam maior qualidade por apresentar maior durabilidade no pós-colheita (CASARINI, 2000). Dessa forma, essas rosas apresentam maior valor comercial.

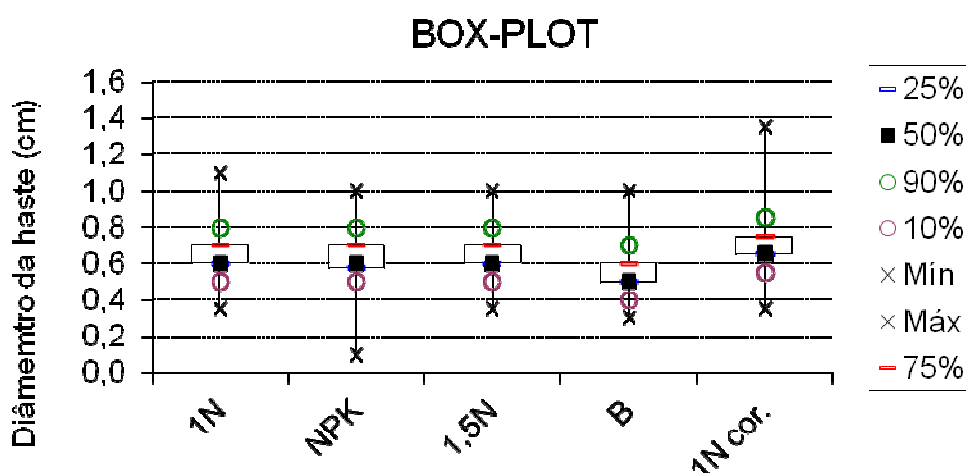
A Tabela 31 apresenta a frequência de hastes florais colhidas maiores ou iguais a 0,6 cm. A análise estatística do teste de proporções demonstra que o tratamento adubado com lodo séptico, que recebeu adubação complementar, foi o que mais apresentou hastes maiores que 0,6 cm na colheita. Para esse tratamento, cerca de 80% das rosas colhidas atendiam a essa condições, valor esse que foi bem superior aos encontrados nos demais tratamentos. Para o 1,5N, cerca de 50% das rosas apresentavam diâmetro maiores que 0,6 cm, frequência essa que também foi estatisticamente superior ao tratamento adubado com o NPK. Para o tratamento 1N, a frequência encontrada foi a mesma do NPK e o tratamento que não foi adubado foi o que apresentou menor valor porcentual para esse parâmetro. Dessa forma, é mais provável encontrar rosas que tendem a durar mais na aplicação do lodo séptico com adubação complementar. De acordo com Casarini (2004), a aplicação de doses superiores de nitrogênio via fertirrigação pode levar a uma diminuição do diâmetro das hastes florais das rosas, porém isso não foi verificado nesse estudo quando aplicado ao solo o lodo em excesso de nitrogênio pelo tratamento 1,5N.

**Tabela 31 - Frequência de hastes florais maiores ou iguais a 0,6 cm nos diferentes tratamentos**

|    | NPK  | B    | 1N    | 1N + Ac | 1,5N |
|----|------|------|-------|---------|------|
| fi | 42%a | 23%b | 46%ad | 80%c    | 50%d |

Médias seguidas por mesma letra na vertical não diferem entre si (teste de proporção 5%)

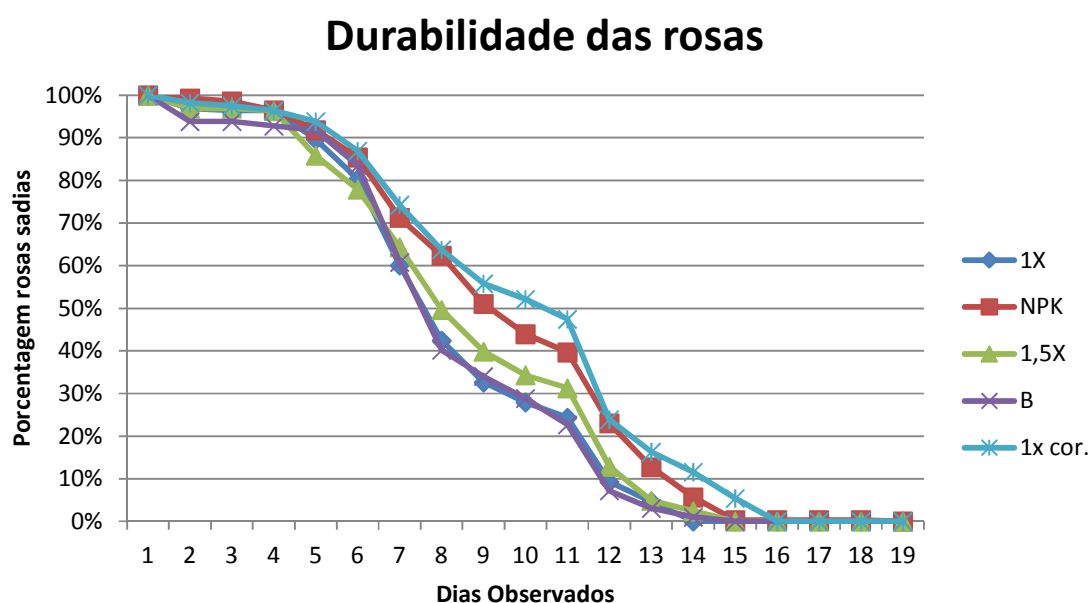
**Figura 24 - Gráfico Boxplot para diâmetro das hastes florais nos diferentes tratamentos**



Para avaliação da durabilidade das rosas, as hastes colhidas foram incubadas em solução de hipoclorito em sala refrigerada. A Figura 25 apresenta o gráfico correspondente à porcentagem de rosas sadias ao longo do tempo após a colheita. O teste estatístico log rank com confiabilidade de 95% demonstra que os tratamentos em que as rosas tiveram maior tempo de vida pós-colheita foram o NPK e o 1N cor, onde o tempo médio para descarte de 50% das rosas ocorreu aos 9 e 11 dias respectivamente. A durabilidade das rosas adubadas apenas com o lodo séptico (tratamentos 1N e 1,5N) foram inferiores, com descarte de 50% das rosas aos 7 e 8 dias respectivamente e estatisticamente assemelham-se ao tratamento em que nenhum adubo foi utilizado (B), o qual também apresentou descarte de 50% das rosas aos 7 dias. Esses resultados demonstram que embora o tratamento 1,5N tenha apresentado alta proporções de rosas com diâmetro maior ou igual a 0,6 cm quando comparado ao

NPK, a durabilidade de suas rosas não foi superior. Esse fato indica que os nutrientes adicionais fornecidos na adubação mineral podem ter algum fator importante para aumento da durabilidade.

**Figura 25 - Gráfico de durabilidade das rosas no pós-colheita**



Os dados obtidos na Tabela 27 mostraram que tanto o tratamento 1N + Ac quanto o NPK apresentaram concentrações de fósforo maiores que os demais tratamentos. O fósforo, embora seja absorvido do solo em quantidades menores que o nitrogênio e o potássio, são indispensáveis em diversos processos como a fotossíntese, respiração e principalmente armazenamento de energia. Dessa forma, é possível inferir que a quantidade de fósforo presente nas folhas dos tratamentos 1N + Ac e NPK foi responsável pelo aumento da durabilidade das rosas colhidas e, portanto, a adubação complementar pode ser uma boa solução para aumento da vida das rosas no pós-colheita.

Para os demais parâmetros da qualidade das rosas colhidas (Tabela 29), não foi verificada diferença estatística significativa entre os tratamentos. Todos os tratamentos apresentaram mesma média para o diâmetro do botão floral, sendo esse

valor correspondente a 3,3 cm. Já a altura do botão foi maior no tratamento 1N + Ac porém, a diferença foi de apenas 0,1 cm para os demais tratamentos.

#### 5.4.9 Lixiviação de nitrato e nitrito

Um dos principais parâmetros de contaminação ambiental ocasionado pelo uso de lodo de esgoto na agricultura é a lixiviação do nitrato. A Tabela 32 apresenta os valores obtidos nos extratores de solução do solo.

**Tabela 32 - Concentração de nitrato nos extratores de solução do solo nas diferentes profundidades avaliadas**

| Profundidade | Nitrato            |           | Nitrito  |          |
|--------------|--------------------|-----------|----------|----------|
|              | 10 cm              | 30 cm     | 10 cm    | 30 cm    |
|              | mg L <sup>-1</sup> |           |          |          |
| Branco       | LDa                | LDa       | 0,4±0,2a | LDa      |
| NPK          | 5,2±1,8b           | 4,7±1,3a  | 1,5±0,4b | 0,7±0,1b |
| 1N           | 2,0±1,4c           | 2,6±0,9b  | 0,7±0,3a | 0,9±0,5b |
| 1,5N         | 1,0±0,3c           | 3,9±1,2ab | 2,1±0,4c | 0,5±0,1b |
| 1N + Ac      | 0,8±0,1c           | 2,9±1,1b  | 0,8±0,1a | 0,7±0,4b |

Médias seguidas por mesma letra na vertical não diferem entre si (Tukey 5%)

Para o nitrato, na profundidade de 10 cm a maior concentração foi encontrada no tratamento adubado com NPK, cujo valor no extrator de solução do solo correspondia a 5,2 mg L<sup>-1</sup>. Esse valor foi estatisticamente superior aos demais tratamentos pelo teste de Tukey ( $\alpha$  0,05). Comparando-se os tratamentos em que o lodo séptico foi utilizado, não houve diferença estatística entre os tratamentos, o que demonstra que a quantidade de lodo utilizado, mesmo que tenha ultrapassado a demanda da planta por nitrogênio em 50% não foi o suficiente para aumentar a lixiviação do nitrato.

No extrator de profundidade 30 cm, da mesma forma, o maior valor foi do tratamento NPK. Entretanto, nesse caso, os valores obtidos para o NPK e para o 1,5N foram estatisticamente semelhantes, e o NPK apresentou maiores valores de nitrato lixiviado que os tratamentos em que a adubação com lodo ocorreu apenas na necessidade da planta com relação ao nitrogênio.

Nas duas profundidades estudadas, o tratamento não adubado apresentou valores de nitrato abaixo do limite de detecção do método e, portanto, demonstrou que a lixiviação do nitrato ocorreu exclusivamente pelo adubo empregado no solo. KRAY (2005) demonstrou que também em estudo com adubação com resíduos que a maior lixiviação de nitrato ocorre usando-se o adubo mineral em relação aos resíduos. Cabe destacar que o produtor agrícola muitas vezes faz uso excessivo de adubo objetivando maior produtividade, o que na prática aumenta ainda mais a lixiviação do nitrato.

Estudos anteriores realizados na Unicamp, utilizando lodo de lagoa anaeróbia em rosas em campo aberto, demonstraram também maior lixiviação nos tratamentos adubados com o NPK (DA PAIXÃO FILHO, 2012), porém os valores obtidos naquele estudo foram bem superiores aos aqui apresentados. Isso é explicado pelo uso da estufa agrícola. Enquanto Da Paixão Filho (2012) realizou o estudo com rosas no campo aberto, o presente estudo utilizou estufa agrícola. Dessa forma, esse ambiente protegido pela estufa não sofreu ação das chuvas, as quais em grande quantidade causam saturação do solo ocasionando o aumento na lixiviação. Além disso, a irrigação realizada de forma localizada pelo sistema de gotejamento, fornecia à planta apenas a quantidade necessária para o seu desenvolvimento, diminuindo a lixiviação.

Já para o nitrito, o maior valor para a profundidade de 10 cm foi encontrado no tratamento 1,5N, onde o lodo foi aplicado em excesso. Nesse tratamento a concentração de nitrito obtida foi de  $2,1 \text{ mg L}^{-1}$ . O NPK também foi responsável pelo aumento da lixiviação do nitrito, apresentando valores médios de  $1,5 \text{ mg L}^{-1}$  nesse tratamento. Os valores obtidos para os tratamentos 1N e 1N + Ac apresentaram valores médios de  $0,7 \text{ mg L}^{-1}$  e  $0,8 \text{ mg L}^{-1}$  respectivamente, os quais foram estatisticamente semelhantes ao branco ( $0,4 \text{ mg L}^{-1}$ ).

Na profundidade de 30 cm no branco, os valores obtidos para nitrito foram abaixo do limite de detecção, enquanto que para os demais tratamentos os valores variaram de  $0,5$  a  $0,9 \text{ mg L}^{-1}$  e foram estatisticamente semelhantes.

#### 5.4.10 Condutividade elétrica da solução do solo

Pela análise da Tabela 33, observa-se que apenas o tratamento em que nenhum adubo foi utilizado apresentou diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ( $\alpha$  0,05). Todos os tratamentos adubados, seja com lodo, adubo mineral apresentaram valores médios de condutividade elétrica (CE) semelhantes estatisticamente. A CE para esses tratamentos variou entre 0,40 a 0,49 dS m<sup>-1</sup> a 25 °C na profundidade de 10 cm e entre 0,28 a 0,31 dS m<sup>-1</sup> a 25 °C na profundidade de 30 cm.

Os tratamento 1,5N e Branco apresentaram valores de condutividade elétrica semelhantes estatisticamente nas duas profundidades avaliadas. Por sua vez, todos os outros tratamentos, os valores encontrados na profundidade de 10 cm e na profundidade de 30 cm foram diferentes, sendo maiores na camada mais superficial, indicando que os sais presentes nos canteiros migram de forma mais lenta pelo perfil do solo.

**Tabela 33 - Condutividade elétrica encontrada na solução do solo a 25 °C nos diferentes tratamentos após cultivo das roseiras com lodo séptico e adubação mineral**

| CE                         |             |             |
|----------------------------|-------------|-------------|
| Profundidade               | 10 cm       | 30 cm       |
| dS m <sup>-1</sup> a 25 °C |             |             |
| Branco                     | 0,18±0,11aA | 0,17±0,10aA |
| NPK                        | 0,49±0,20bA | 0,28±0,08bB |
| 1N                         | 0,40±0,13bA | 0,29±0,06bB |
| 1,5N                       | 0,41±0,15bA | 0,31±0,07bA |
| 1N + Ac                    | 0,40±0,13bA | 0,29±0,06bB |

Médias seguidas por letras minúsculas não apresentam diferença estatística significativa na vertical (Tukey 5%)

Médias seguidas por letras maiúsculas não apresentam diferença estatística significativa na horizontal (Tukey 5%)



A análise da condutividade elétrica é importante, pois cada espécie de planta apresenta um nível de tolerância quanto a salinidade. Quando esse valor aumenta, há um decréscimo na produtividade, sendo que para roseira o valor limitante corresponde a  $3 \text{ dS m}^{-1}$  (DAVIDSON e BOODLEY, 1987). Da mesma forma, valores de condutividade elétrica acima de  $1,8 \text{ dS m}^{-1}$  em solo de cultivo de roseira caso contenha os íons  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ , pode ocasionar clorose e má formação de novos ramos (CASARINI *et al.*, 2007). Embora o lodo apresentasse uma concentração relativamente elevada de íons, principalmente  $\text{Ca}^+$  e  $\text{Na}^+$  (Tabela 20 e Tabela 21), os valores obtidos com a utilização do lodo não foram suficientes para causar algum dano ao solo ou a cultura.

#### 5.4.11 Mineralização do nitrogênio

Os valores obtidos para a mineralização do nitrogênio estão apresentados na Tabela 34

**Tabela 34 - Determinação da fração de mineralização de nitrogênio do lodo séptico desaguado proveniente do tanque séptico de São Miguel arcanjo**

| Taxa de aplicação<br>(em função de N) | N aplicado | N extraído no dia 0 | Total | Nitrogênio mineralizado    |                         |
|---------------------------------------|------------|---------------------|-------|----------------------------|-------------------------|
|                                       |            |                     |       | Líquido (N - N testemunha) | Fração de mineralização |
| 0,0                                   | 0,0        | 38,3                | 25,6  |                            |                         |
| 1N                                    | 195,0      | 61,8                | 81,2  | 55,7                       | 29%                     |
| 1,5N                                  | 292,5      | 66,9                | 126,1 | 100,6                      | 26%                     |
| 3N                                    | 585,0      | 88,1                | 142,4 | 116,8                      | 20%                     |

De acordo com os dados obtidos, o aumento na taxa de aplicação de lodo acarreta uma diminuição do percentual da fração de mineralização (FM) do nitrogênio. O valor obtido para taxa de aplicação 1N, correspondente a  $150 \text{ ton N ha}^{-1}$  foi de 29, enquanto que para a taxa de aplicação 1,5N foi de 26% e para taxa de aplicação 3N foi

de 20%. Essa diminuição no percentual da fração de mineralização do nitrogênio já foi verificada em outros estudos realizados com lodo de esgoto (HERNÁNDEZ *et al.*, 2002; BOEIRA, 2009). Da mesma forma, essa redução na fração de mineralização de nitrogênio também foi verificada em estudos anteriores realizados na Unicamp com lodo de lagoa anaeróbia utilizado no cultivo de rosas em campo aberto (DA PAIXÃO FILHO, 2012).

Assim como neste estudo, os valores obtidos por Da Paixão Filho (2012) foram superiores aos valores adotados para a legislação brasileira que regula o uso de lodos de esgoto na agricultura. Os tanques sépticos são na verdade decanto-digestores, o qual tem por finalidade proporcionar a retenção de sólidos orgânicos decantados em seu interior e promover a redução do volume desses sólidos por digestão anaeróbia (ANDRADE NETO *et al.*, 1999). O lodo acumulado no tanque séptico utilizado no presente estudo passou um grande período de tempo dentro do decanto-digestor e portanto quando retirado já apresentava-se estabilizado segundo os critérios adotados pela legislação e de acordo com as classificações propostas pela mesma, possuía fator de mineralização do nitrogênio de 20% (BRASIL, 2006).

Esses resultados demonstram a importância da verificação do fator de mineralização do nitrogênio antes da aplicação do lodo de esgoto na agricultura, a fim de evitar a aplicação excessiva de nitrogênio no solo, o qual acarreta lixiviação do nitrato. Para este estudo a diferença verificada em laboratório do fator de mineralização, com o adotado pela legislação foi de 9% para a taxa de aplicação 1N. Essa diferença correspondeu à aplicação real de  $163 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ ano}$  na adubação das roseiras, o que corresponde a  $13 \text{ kg N ha}^{-1}$  acima da demanda da planta pelo nutriente. Essa diferença encontrada na FM se dá, pois a mineralização do nitrogênio é afetada tanto devido a fatores bióticos e abióticos devido à constituição do lodo (GRIFFIN *et al.*, 2002), como também pelas características do solo utilizado (VAN KESSEL e REEVES, 2002), sendo que até mesmo a calagem realizada no plantio podem exercer efeito sobre a mineralização do nitrogênio, aumentando-o ou diminuindo-o dependendo do tipo de solo empregado.

## 6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A redução de massa do lodo séptico pelo seu desaguamento, em contentores de geotêxtil de diferentes aberturas aparentes, aconteceu de forma similar em todos os tratamentos estudados. A perda de massa após 60 esteve entre 62 e 64%.

O lodo desaguado foi classificado como classe A de acordo com a resolução CONAMA 375. A taxa de aplicação de lodo para cultivo de roseiras correspondeu a  $37,2 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  em base seca de lodo. Embora o lodo possuísse também fósforo e potássio na sua composição, a disponibilização desses dois macronutrientes foi inexpressiva de acordo com a necessidade da planta.

Os solos que receberam o lodo séptico como condicionante apresentaram um ligeiro aumento no pH, alcançando valores ideais para o cultivo de roseiras. Embora o lodo apresentasse alto teor de matéria orgânica, não foi encontrada diferença estatística quanto aos teores de matéria orgânica no solo em todos os tratamentos. Quanto ao fósforo e potássio, as concentrações encontradas nos solos que receberam apenas o lodo foram estatisticamente semelhantes às concentrações dos tratamentos não adubados e foram maiores nos tratamentos que receberam adubação mineral, sendo o lodo, portanto, insuficiente para promover aumento nos teores de fósforo e potássio no solo.

Com relação aos nutrientes avaliados nos tecidos foliares, foi verificado semelhante concentração de nitrogênio foliar em todos os tratamentos adubados enquanto, que para o potássio não foi verificado interferência da adubação. Para o fósforo, os tratamentos adubados apenas com o lodo séptico apresentaram concentrações semelhantes ao não adubado enquanto que os tratamentos adubados com adubo mineral ou lodo junto à adubação complementar apresentaram valores maiores, indicando a necessidade da adubação com fósforo mineral quando se utiliza o lodo séptico.

A produção de rosas do tratamento adubado com lodo séptico que recebeu adubação mineral complementar foi estatisticamente maior (31%) que o tratamento adubado apenas com adubo mineral, o que corresponde a uma produção de 4,8 mil dúzias de rosas  $\text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ .

As rosas adubadas com lodo séptico apresentaram tamanhos de hastes maiores que as rosas adubadas com NPK. Da mesma forma, o teste de proporções demonstrou uma maior frequência de rosas de tamanho entre 40,0 a 49,9 cm nas rosas adubadas com lodo em comparação a adubação mineral. Foi possível verificar uma maior frequência de rosas com diâmetro maior que 0,6 cm no tratamento adubado com lodo e adubação complementar onde cerca de 80% das rosas colhidas apresentavam essa característica.

O tratamento NPK apresentou maiores valores de nitrato encontrado nos extratores de solução do solo na profundidade de 10 cm e concentração semelhante ao tratamento 1,5N na profundidade de 30 cm. Dessa forma, a utilização do lodo na taxa de aplicação recomendada para roseira não tem potencial de lixiviação de nitrato e, portanto, apresenta riscos reduzidos com relação a esse parâmetro.

Diante de todas as conclusões que o trabalho desenvolvido alcançou, foi possível confirmar a hipótese central em que o uso do lodo séptico foi realizado promovendo a reciclagem de nitrogênio junto ao solo e foi capaz de aumentar a produtividade de rosas quando aplicado junto à adubação complementar com fósforo e potássio. A aplicação do lodo no solo não apresentou riscos quanto a lixiviação de nitrato e acúmulo de metais potencialmente tóxicos.

Quanto às hipóteses específicas proposta no início do estudo, houve a confirmação das hipóteses H1, H3, H4. Quanto a H2, foi possível verificar que o lodo não apresentava as concentrações ideais de fósforo e potássio, sendo portanto interessante a correção desses no solo para que seja otimizada a produção de rosas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos**. Rio de Janeiro: ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7.229 1993.

\_\_\_\_\_. **Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos- Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro: ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13969 9p. 1997.

\_\_\_\_\_. **Resíduos em solo - Determinação da biodegradação pelo métodos respirométrico**. Rio de Janeiro: ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14283. 1999.

AHMED, W.; NELLER, R.; KATOULI, M. Evidence of septic system failure determined by a bacterial biochemical fingerprinting method. **Journal of Applied Microbiology**, v. 98, n. 4, pp. 910-920, 2005.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; HÜBNER, A. P. Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, n. 1, pp. 95-102, 2007.

AIYUK, S.; FORREZ, I.; LIEVEN, D. K.; VAN HAANDEL, A.; VERSTRAETE, W. Anaerobic and complementary treatment of domestic sewage in regions with hot climates—a review. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 17, pp. 2225-2241, 2006.

AKERLUND, A. **Evaluation of a disintegration technique for increased biogas production from excess activated sludge**. . 2008. 53 p. Department of Microbiology, Swedish University of Agricultural Science, Stockholm.

ALMEIDA NETO, D. Fertirrigação de flores no Brasil. In: (Ed.). **Fertirrigação: Flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 2001. p.336.

ANDRADE, C. A. D.; OLIVEIRA, C. D.; CERRI, C. C. Qualidade da matéria orgânica e estoques de carbono e nitrogênio em Latossolo tratado com biossólido e cultivado com eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 5, pp. 803-816, 2005.

ANDRADE NETO, C. O. D. **Sistemas simples para tratamento de esgotos sanitários: experiência brasileira**. 1ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 1997. p.

ANDRADE NETO, C. O. D.; ALÉM SOBRINHO, P.; MELO, H. N. D. S.; AISSE, M. M. Decanto-digestor. In: CAMPOS, J. R. (Ed.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. cap. 5, p.117-138.

ANDREOLI, C. V. **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. 1ª ed. Rio de Janeiro: RIMA, ABES, 2001. 282p. ISBN 85-86552-19-4

ANDREOLI, C. V. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. 1ª ed. Curitiba: ABES, 2006. 398p. ISBN 8570221517.

ANDREOLI, C. V. **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final**. 1ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 388p. ISBN 978-85-7022-166-7.

ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERNANDES, F. **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. 1ª ed. Curitiba: Sanepar, FINEP, 1999. 288p.

ARNSCHEIDT, H.; JORDAN, P.; LI, S.; MCCORMICK, S.; MCFAUL, R.; MCGROGAN, H. J. Defining the sources of low-flow phosphorus transfers in complex catchments. **Science Total Environment**, v. 382, pp. 1-13, 2007.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. 29 ed. Roma: FAO IRRIGATION AND DRAINAGE PAPER, 1994. 107p.

BAGCHI, A. **Design of landfills and integrated solid waste management**. 3a ed. John Wiley & Sons, 2004. 696p. ISBN 0471254991.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. Uso agrícola do lodo de esgoto: Influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. **Semina: Ciência agrária**, v. 27, n. 4, pp. 586-580, 2006.

BARBOSA, J. G. **Produção comercial de rosas**. 1ª ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2003. 200p. ISBN 8588216396.

BASTOS, V. K. **Deteção e quantificação de ovos viáveis de Ascaris sp e ovos de outros helmintos em lodo de esgoto**. 2012. 80 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Saúde Pública Universidade de São Paulo - USP, São Paulo.

BENBI, D. K.; RICHTER, J. A critical review of some approaches to modelling nitrogen mineralization. **Biology and Fertility of Soils**, v. 35, n. 3, pp. 168-183, 2002.

BENNAMOUN, L. Solar drying of wastewater sludge: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 1, pp. 1061-1073, 2012.

BETTIOL, W.; DE CAMARGO, O. **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. 1ª ed. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. p.

BLUMENTHAL, U. J.; MARA, D. D.; PEASEY, A.; RUIZ-PALACIOS, G.; STOTT, R. Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. **Bulletin of the World Health Organization**, v. 78, n. 9, pp. 1104-1116, 2000.

BOEIRA, R. C. Uso de lodo de esgoto como fertilizante orgânico: disponibilização de nitrogênio em solo tropical. **Comunicado técnico - Embrapa**, pp. 1-3, 2004.

BOEIRA, R. C. Lixiviação de nitrogênio em latossolo incubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, pp. 947-958, 2009.

BOEIRA, R. C.; LIGO, M. A. V.; DYNIA, J. F. Mineralização de nitrogênio em solo tropical tratado com lodos de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 11, pp. 1639-1647, 2002.

BOEIRA, R. C.; MAXIMILANO, V. C. B. Dinâmica da mineralização de nitrogênio de lodos de esgoto. In: BETTIOL, W. e DE CAMARGO, O. A. (Ed.). **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. cap. 7, p.126-135.

BORGES, N. B. **Caracterização e pré-tratamento de lodo de fossas e de tanques sépticos**. 2009. 128 p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP), São Carlos.

BOROWSKI, S.; SZOPA, J. S. Experiences with the dual digestion of municipal sewage sludge. **Bioresource technology**, v. 98, n. 6, pp. 1199-1207, 2007.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. **Brasília, DF: Senado**, 1988.

\_\_\_\_\_. **Resolução n. 375**. Brasília: Conselho Nacional do Meio Ambiente 2006.

\_\_\_\_\_. **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução n. 357 de 17 de março de 2005**. Brasília: Diário Oficial [da] União 2011a.

\_\_\_\_\_. **Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430**. Brasília: Diário Oficial da União, de 16 de maio de 2011 2011b.

BREMNER, J. M. **Methods of Soil Analysis. Part 3 Chemical Methods**. ed. Wisconsin: Soil Science Society of America, Madison, 1966. 1264p.



CABRERA, R. I. Evaluating yield and quality of roses with respect to nitrogen fertilization and leaf nitrogen status. XXV International Horticultural Congress, Part 1: Culture Techniques with Special Emphasis on Environmental Implications- 511, 1998. p.133-142.

CABRERA, R. I.; EVANS, R. Y.; PAUL, J. L. THE UPTAKE OF NITRATE AND AMMONIUM BY GREENHOUSE ROSES. II International Rose Symposium 424, 1995. p.53-58.

CADAHIA, C.; EYMAR, A.; SÁNCHEZ, A.; LÓPEZ-VELA, D. Differences in nutrient uptake of four rose cultivars in sand culture. International Symposium on Water Quality & Quantity-Greenhouse 458, 1993. p.335-342.

CAMARGO, M. S. **Nutrição e adubação de Aster ericoides (White Master) influenciando produção, qualidade e longevidade. Tese de Doutorado.** 2001. 100p p. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - USP, Piracicaba.

CAMARGO, O. A.; MONIZ, A. C.; J, J. J.; VALADARES, J. M. A. S. **Métodos de Análises Químicas, Mineralógicas e Físicas de solos do Instituto Agronômico de Campinas.** ed. Campinas: Instituto Agronômico, 2009. 77p.

CAMARGO, O. A. D.; BETTIOL, W. Agricultura: opção animadora para a utilização de lodo de esgoto. **O Agrônomo**, v. 52, n. 2/3, 2000.

CAMARGOS, L. C. **Interpretação de análise de solo:** Universidade Federal do Mato Grosso. Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária. Departamento de Solos e Engenharia Rural: 11 p. 2005.

CANTRELL, K. B.; CHASTAIN, J. P.; MOORE, K. P. Geotextile filtration performance for lagoon sludge and liquid animal manure dewatering. **Transaction of the ASABE. American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. n. 51, v.3, pp. p. 1067-1076, 2008.

CASARINI, E. **Manejo da irrigação na cultura da roseira cultivada em ambiente protegido**. 2000. p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo (USP), Piracicaba.

CASARINI, E. **Doses de N e K aplicados via gertirrigação na cultura da roseira (Rosa sp.) em ambiente protegido. Tese de Doutorado**. 2004. 102 p. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo., Piracicaba-SP.

CASARINI, E.; FOLEGATTI, M. V.; SILVA, E. F. F. Produtividade da roseira em função de doses de nitrogênio e potássio aplicadas via fertirrigação em ambiente protegido. **Magistra, Cruz das Almas**, v. 19, n. 3, pp. 250-256, 2007.

CAVALLARO, N.; PADILLA, N.; VILLARRUBIA, J. Sewage sludge effects on chemical properties of acid soils. **Soil Science**, v. 156, n. 2, pp. 63-70, 1993.

CETESB. **Aplicação de lodos de sistema de tratamento biológico em áreas agrícolas—critérios para projeto e operação**. São Paulo: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. P4. 230: 25 p. 1999.

\_\_\_\_\_. **Valores orientadores para solos e águas subterrâneas do estado de São Paulo**: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo Decisão da Diretoria nº 195: 4 p. 2005.

\_\_\_\_\_. **Aplicação de água de reúso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura**. São Paulo: Companhia de tecnologia de Saneamento Ambiental. Instrução técnica 31 2006.

CHEN, G.; LOCK YUE, P.; MUJUMDAR, A. S. Sludge dewatering and drying. **Drying Technology**, v. 20, n. 4-5, pp. 883-916, 2002.

COMISSION OF EUROPEAN COMMUNITIES. **Council directive 91/271/EEC of 21 March 1991 - concernig urban waste-water treatment** 1991.

CORRÊA, R. S.; WHITE, R. E.; WEATHERLEY, A. J. Effect of compost treatment of sewage sludge on nitrogen behavior in two soils. **Waste Management**, v. 26, n. 6, pp. 614-619, 2006.

COSCIONE, A. R. C.; NOGUEIRA, T. A. N.; PIRES, A. **Uso agrícola do lodo de esgoto: avaliação após resolução no. 375 do Conama**. ed. FEPAF, 2010. p. ISBN 8598187283.

DA PAIXÃO FILHO, J. L. **Aplicação de lodo de lagoa facultativa em roseira**. 2012. 88 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo, Unicamp, Campinas.

DA SILVA, F. J. A.; LIMA, M. G. S.; MENDONÇA, L. A. R.; GOMES, M. J. T. L. Septic tank combined with anaerobic filter and conventional UASB - results from full scale plants. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 30, n. 01, pp. 133-140, 2013.

DAVIDSON, J.; BOODLEY, J. W. A manual of greenhouse rose production. In: LANGHANS, R. W. A. (Ed.). **Phisological disorders**. Michigan: Roses, 1987. cap. 20, p.245-260.

DAVIS, R. The impact of EU and UK environmental pressures on the future of sludge treatment and disposal. **Water and Environment Journal**, v. 10, n. 1, pp. 65-69, 1996.

DE OLIVEIRA NETTO, A. P. **Reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo em escala piloto, com recirculação da fase líquida, aplicado ao tratamento de esgoto sanitário**. 2007. p. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, São Carlos.

DENG, W.-Y.; YAN, J.-H.; LI, X.-D.; WANG, F.; LU, S.-Y.; CHI, Y.; CEN, K.-F. Measurement and simulation of the contact drying of sewage sludge in a Nara-type paddle dryer. **Chemical Engineering Science**, v. 64, n. 24, pp. 5117-5124, 2009.

DIAK, J.; ÖMERCI, B.; KENNEDY, K. J. Effect of micro-aeration on anaerobic digestion of primary sludge under septic tank conditions. **Bioprocess Biosystem Engenering**, v. 36, pp. 417-424, 2013.

DOMINGUES, R. R.; CARVALHO, C. S.; COSCIONE, A. R.; DE ANDRADE, C. A.; DE MARIA, I. C. Metais Pesados em Agregados de Solo Submetido à Aplicação Sucessiva de Lodo de Esgoto. In: SBCS, A responsabilidade socioambiental da pesquisa agrícola: anais, 2012, Maceió/Al.

DOS SANTOS, J. M. **Produção e qualidade de rosas, em função de diferentes doses de potássio**. 2005. 54 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

DOWDY, R. H.; LATTERELL, J. J.; HINESLY, T. D.; GROSSMAN, R. B.; SULLIVAN, D. L. Trace metal movement in an Aerobic Ochratoxin following 14 years of annual sludge applications. **Journal of Environmental Quality**, v. 20, n. 1, pp. 119-123, 1991.

DRAKATOS, P. A.; KALAVROUZOTIS, I. K.; HORTIS, T. C.; VARNANAS, S. P.; DRAKATOS, S. P.; BLADENOPOULOU, S.; FANARIOTOU, I. N. Antagonistic action of Fe and Mn in Mediterranean-type plants irrigated with wastewater effluents following biological treatment. **International journal of environmental studies**, v. 59, n. 1, pp. 125-132, 2002.

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E. **Standard methods for the examination of water and wastewater** ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2005. 3710p.

ELLIOTT, H. A.; O'CONNOR, G. A. Phosphorus management for sustainable biosolids recycling in the United States. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 39, n. 6, pp. 1318-1327, 2007.

EPSTEIN, E. L.; TAYLOR, J. M.; CHANCY, R. L. Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. **Journal of Environmental Quality**, v. 5, n. 4, pp. 422-426, 1976.

FELIX, E.; TILLEY, D. R.; FELTON, G.; FLAMINO, E. Biomass production of hybrid poplar (*Populus* sp.) grown on deep-trenched municipal biosolids. **ecological engineering**, v. 33, n. 1, pp. 8-14, 2008.

FERNANDES, F.; BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. Estabilização e higienização de biossólidos. In: BETTIOL, W. e CAMARGO, O. A. (Ed.). **Impacto Ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. 1a. Jaguariúna: EMBRAPA, 2000. p.45-67.

FERNANDES, F.; SOUZA, S. G.; ANDREOLI, C. V. Estabilização de lodo de esgoto. In: ANDREOLI, C. V. C. (Ed.). **Resíduos sólidos do saneamento: Processamento, reciclagem e disposição final**. Curitiba, v.1, 2001. cap. 2, p.32-57.

FRANÇA, J. T. L.; STEFANUTTI, R.; FILHO, B. C.; MARINHO, L. E.; RODRIGUES, G. T. Avaliação da modificação de um sistema composto por tanque séptico e filtro anaeróbio por um modelo de aeração compartimentada. **Revista DAE**, v. 197, pp. 42-55, 2013.

FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. In: NOVAIS, R. F. A., V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 2007. cap. XXI, p.929-954.

FURTADO, D. F. D. C. **Caracterização de lodo de tanque séptico e tratamento em filtros plantados com macrófitas**. 2012. 101p. p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FYTILI, D.; ZABANIOTOU, A. Utilization of sewage sludge in EU application of old and new methods - A review. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 1, pp. 116-140, 2008.

GALDOS, M. V.; DE MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, pp. 1056-1061, 2004.

GONÇALVES, R. F.; LUDUVICE, M.; PEREIRA, M. R.; LIMA, D. L. D. C. R.; FERREIRA, A. C.; TELES, C. R.; ANDREOLI, C. V. Desidratação de lodo de esgotos. In: (Ed.). **Resíduos Sólidos do Saneamento: Processamento, Reciclagem e Disposição Final**. Curitiba: ABES, 2001. cap. 3, p.57-86.

GRAY, N. The influence of sludge accumulation rate on septic tank design. **Enviromental Technology**, v. 16, n. 8, 1995.

GRIFFIN, T.; HONEYCUTT, C.; HE, Z. Effects of temperature, soil water status, and soil type on swine slurry nitrogen transformations. **Biology and fertility of soils**, v. 36, n. 6, pp. 442-446, 2002.

HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D.; DECHEN, A. R.; MATTOS, J. R. Carências nutricionais em roseira. In: HAAG, H. P.; OLIVEIRA, G. D., *et al* (Ed.). **Nutrição mineral das plantas ornamentias**. Piracicaba: ESALQ, v. Volume XXXI, 1974. cap. 4, p.437-447.

HALL, J. E. Sewage sludge production, treatment and disposal in the European Union. **Water and Environment Journal**, v. 9, n. 4, pp. 335-343, 1995.

HARGREAVES, J. C.; ADL, M. S.; WARMAN, P. R. A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 123, n. 1, pp. 1-14, 2008.

HARRISON, E. Z.; MOFFE, M. Septage quality and its effect on field live for land application. **Journal of the american water resources association**, v. 39, n. 1, pp. 87-97, 2003.

HAVLIN, J.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management**. 1<sup>a</sup> ed. Pearson Prentice Hall Upper Saddle River, NJ, 2005. 515p.

HE, Z. L.; YANG, X. E.; STOFFELLA, P. J. Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 19, n. 2, pp. 125-140, 2005.

HERNÁNDEZ, T.; MORAL, R.; PEREZ-ESPINOSA, A.; MORENO-CASELLES, J.; PEREZ-MURCIA, M. D.; GARCÍA, C. Nitrogen mineralisation potential in calcareous soils amended with sewage sludge. **Bioresource Technology**, v. 83, n. 3, pp. 213-219, 2002.

HORST, R. K.; CLOYD, R. A. **Compendium of rose diseases and pests**. 1<sup>a</sup> ed. APS press St. Paul, 2007. p. ISBN 0890543550.

IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico**. ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. 219pp.

INGUNZA, M. D. P. D.; ANDRADE NETO, C. O.; ARAÚJO, A. L. C.; SOUZA, M. A. A.; MEDEIROS, S. A.; BORGES, N. B.; HARTMANN, C. M. Caracterização física, química e microbiológica do lodo de fossa/tanque séptico. In: ANDREOLI, C. V. (Ed.). **Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e disposição final**. Rio de Janeiro: ABES, Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (PROSAB), 2009.

JOLLY, M.; NEMETH, L.; ARANT, S.; WILSON, T. Recent advances in biosolids stabilization 2004: case histories. Proceedings of the 9th European Biosolids Conference, 14-17 November 2004, 2005, Aqua Enviro.

JUNQUEIRA, A. H.; PEETZ, M. S. Mercado interno para os produtos da floricultura brasileira: características, tendências e importância socioeconômica recente. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, v. 14, n. 1, 2008.

\_\_\_\_\_. 2010: Balanço do comércio exterior da floricultura brasileira. **Hórtica Consultoria e Treinamento**, pp. 1-5, 2010.

KABATA-PENDIAS, A.; MUKHERJEE, A. B. **Trace elements from soil to human**. 1<sup>a</sup> ed. New York: Springer, 2007. 550p. ISBN 3540327134.

KAMIL SALIHOGLU, N.; PINARLI, V.; SALIHOGLU, G. Solar drying in sludge management in Turkey. **Renewable energy**, v. 32, n. 10, pp. 1661-1675, 2007.

KELESSIDIS, A.; STASINAKIS, A. S. Comparative study of the methods used for treatment and final disposal of sewage sludge in European countries. **Waste management**, v. 32, n. 6, pp. 1186-1195, 2012.

KIDD, P. S.; DOMINGUEZ-RODRIGUEZ, M. J.; DIEZ, J.; MONTERROSO, C. Bioavailability and plant accumulation of heavy metals and phosphorus in agricultural soils amended by long-term application of sewage sludge. **Chemosphere**, v. 66, n. 8, pp. 1458-1467, 2007.

KINSLEY, C.; CROLLA, A.; JOY, D. Impact of water softner on Septic Tanks field evaluation study. **Ontario Rural Wastewater Centre** 2005.

KORBOULEWSKY, N.; DUPOUYET, S.; BONIN, G. Environmental risks of applying sewage sludge compost to vineyards. **Journal of environmental quality**, v. 31, n. 5, pp. 1522-1527, 2002.

KOSTYANOVSKY, K. I.; EVANYLO, G. K.; LASLEY, K. K.; DANIELS, W. L.; SHANG, C. Leaching potential and forms of phosphorus in deep row applied biosolids underlying hybrid poplar. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 11, pp. 1765-1771, 2011.

KRAY, C. H. **Resposta das plantas e modificações das propriedades do solo pela aplicação de resíduos urbanos**. 2005. 161 p. Tese (Doutorado). Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

KROGMANN, U.; BOYLES, L. S.; MARTEL, C. J.; MCCOMAS, K. A. Biosolids and sludge management. **Water environment research**, pp. 534-550, 1997.

LANGENKAMP, H.; PART, P. **Organic Contaminants In Sewage Sludge For Agricultural Use**. ed. UMEG Center for Environmental Measurements, Environmental Inventories and Product Safety, 2001. 31p.

LAURIE, A.; RIES, V. H. Floriculture. Fundamentals and practices. **Floriculture. Fundamentals and practices**, n. 2, 1950.

LEBRANC, R. J.; MATTHEWS, P.; RICHARD, R. P. **Global Atlas of Excreta, Wastewater Sludge, and Biosolids Management: moving forward the sustainable and welcome uses of a global resource**. ed. 2008. p.



LEI, Z.; DEZHEN, C.; JINLONG, X. Sewage sludge solar drying practise and characteristics study. Power and Energy Engineering Conference, 2009. APPEEC 2009. Asia-Pacific, 2009, IEEE. p.1-5.

LÉONARD, A.; BLACHER, S.; MARCHOT, P.; PIRARD, J. P.; CRINE, M. Moisture Profiles Determination During Convective Drying Using X-Ray Microtomography. **The Canadian Journal of Chemical Engineering**, v. 83, n. 1, pp. 127-131, 2005.

LÉONARD, A.; BLACHER, S.; PIRARD, R.; MARCHOT, P.; PIRARD, J.-P.; CRINE, M. Multiscale texture characterization of wastewater sludges dried in a convective rig. **Drying technology**, v. 21, n. 8, pp. 1507-1526, 2003.

LÉONARD, A.; MENESES, E.; LE TRONG, E.; SALMON, T.; MARCHOT, P.; TOYE, D.; CRINE, M. Influence of back mixing on the convective drying of residual sludges in a fixed bed. **Water research**, v. 42, n. 10, pp. 2671-2677, 2008.

LIMA, M. R. P. **Uso de estufa agrícola para secagem e higienização de lodo de esgoto**. 2010. 284 p. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo.

LOGAN, T. J.; LINDSAY, B. J.; GOINS, L. E.; RYAN, J. A. Field assessment of sludge metal bioavailability to crops: sludge rate response. **Journal of Environmental Quality**, v. 26, n. 2, pp. 534-550, 1997.

LOSSING, H.; CHAMPAGNE, P.; MCLELLAN, P. J. Examination of sludge accumulation rates and sludge characteristics for a decentralized community wastewater treatment systems with individual primary clarifier tanks located in Wardsville (Ontario, Canada). **Water Science & Technology**, v. 62, n. 12, 2010.

LUOSTARINEN, S.; SANDERS, W.; KUJAWA-ROELEVELD, K.; ZEEMAN, G. Effect of temperature on anerobic treatment of black water in UASB-septic tank systems. **Journal of Bioresourche Technology**, v. 98, pp. 980-986, 2006.

MAGUIRRE, R. O.; SIMS, J. T.; COALE, F. J. Treatment with biosolids affects soil availability and plant uptake of potentially toxic elements. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 109, 2005.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J. **Adubos & Adubações**. 1<sup>a</sup> ed. São Paulo: Nobel, 2002. 200pp.

MARSCHNER, H.; RIMMINGTON, G. **Mineral nutrition of higher plants**: Wiley Online Library 1996.

MATHIOUDAKIS, V.; KAPAGIANNIDIS, A.; ATHANASOULIA, E.; DIAMANTIS, V.; MELIDIS, P.; AIVASIDIS, A. Extended dewatering of sewage sludge in solar drying plants. **Desalination**, v. 248, n. 1, pp. 733-739, 2009.

MAUNOIR, S.; PHILIP, H.; RAMBAUD, A. Small wastewater treatment plants in mountain areas: combination of septic tank and biological filter. **Water Science Technology**, v. 56, n. 10, pp. 65-71, 2007.

MCBRIDE, M. B. Toxic metals in sewage sludge-amended soils: has promotion of beneficial use discounted the risks? **Advances in Environmental Research**, v. 8, n. 1, pp. 5-19, 2003.

MEDEIROS, S. D. S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; NEVES, J. C.; MATOS, A. D.; SOUZA, J. D. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 4, pp. 603-612, 2005.

METCALF; EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse**. 4<sup>a</sup> ed. McGraw-Hill, 2002. 1824p.

MONTERO, M.; JORDÁN, M.; HERNÁNDEZ-CRESPO, M.; SANFELIU, T. The use of sewage sludge and marble residues in the manufacture of ceramic tile bodies. **Applied Clay Science**, v. 46, n. 4, pp. 404-408, 2009.

MOO-YOUNG, H. K.; GAFFNEY, D. A.; MO, X. Testing procedures to assess the viability of dewatering with geotextile tubes. **Geotextile and Geomembranes**, v. 5, n. 20, pp. 289-303, 2002.

MORETTI, S. M. L.; BERTONCINI, E. I.; ABREU JÚNIOR, C. H. Aplicação do método de mineralização de nitrogênio com lixiviação para solo tratado com lodo de esgoto e composto orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 3, pp. 622-631, 2013.

MOTA, F.; VON SPERLING, M. **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. 1<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 420p.

MUKHTAR, S.; LAZENBY, L. A.; RAHMAN, S. Evaluation of a synthetic tube dewatering system for animal waste pollution control. **Applied Engeneering in Agriculture**, v. 23, n. 5, pp. p. 669-675, 2007.

MUKHTAR, S.; ULLMAN, J. L.; AUVERMANN, B. W.; GEAGLEY, S. E.; CARPENTER, T. A. Impact of anaerobic lagoon management on sludge accumulation and nutrient content for dairies. **Transactions of the ASAE. American Society of Agricultural Engineers**, v. 47, n. 1, pp. p. 251-257, 2004.

NASCIMENTO, A. L.; SAMPAIO, R. A.; JUNIO, G. R. Z.; CARNEIRO, J. P.; FERNANDES, L. A.; RODRIGUES, M. N. Teores de metais pesados no solo e em girassol adubado com lodo de esgoto. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 18, n. 3, pp. 294-300, 2014.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Biosolids applied to land: Advancing standards and practices**. 1<sup>a</sup> ed. Washington: National Academic Press, 2002. 266p. ISBN 0309084865.

O'CONNOR, G.; SARKAR, D.; BRINTON, S.; ELLIOTT, H.; MARTIN, F. Phytoavailability of biosolids phosphorus. **Journal of Environmental Quality**, v. 33, n. 2, pp. 703-712, 2004.

OLIVEIRA, E. C.; CARVALHO, J. D. A.; ALMEIDA, E. F.; REZENDE, F. C.; DOS SANTOS, B. G.; MIMURA, S. N. Evapotranspiração da roseira cultivada em ambiente protegido. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 18, n. 3, pp. 314-321, 2014.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 2, pp. 505-519, 2002.

OLIVEIRA, S. M. A. C.; PARKINSON, J. N.; VON SPERLING, M. Wastewater treatment in Brazil: Institutional framework, recent initiatives and actual plant performance. . **International Journal of Technology Management & Sustainable Development**, v. 5, pp. 241-256, 2006.

PALMEIRA, E. M.; GARDONI, M. G. The influence of partial clogging and pressure on the behaviour of geotextiles in drainage systems. **Geosynthetics International**, v. 7, n. 4-6, pp. 403-431, 2000.

PALMER-FELGATE, E. J.; MORTIMER, R. J.; KROM, M. D.; JARVIE, H. P. Impact of point-source pollution on phosphorus and nitrogen cycling in stream-bed sediments. **Environmental science & technology**, v. 44, n. 3, pp. 908-914, 2010.

PANSWAD, T.; KOMOLMETHEE, L. Effects of hydraulic shock loads on small on-site sewage treatment unit. **Water science and technology**, v. 35, n. 8, pp. 145-152, 1997.

PEDROZA, M. M.; VIEIRA, G. E. G.; DE SOUSA, J. F.; DE CASTILHO PICKLER, A.; LEAL, E. R. M.; DA CRUZ MILHOMEN, C. Produção e tratamento de lodo de esgoto—uma revisão. **Revista Liberato**, v. 11, n. 16, pp. 147-157, 2010.

PHILIP, H.; MAUNOIR, S.; RAMBAUD, A.; PHILIPPI, L. Septic tank sludges: accumulation rate and biochemical characteristics. **Water Science & Technology**, v. 28, n. 10, pp. 57-64, 1993.

PIEPER, K. M. C. **Avaliação do uso de geossintético para o deságue e geocontenção de resíduos sólidos de estação de tratamento de água**. 2008. 143 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PILARCZYK, K. **Geosynthetics and geosystems in hydraulic and coastal engineering**. 1<sup>a</sup> ed. Rotterdam: A.A. Balkema, 2000. 936p. ISBN 9058093026.

PIM, V. **Caracterização de lodo de esgotos de alga anaeróbia acondicionado em bags visando a sua disposição: estudo de caso - ETE Pedregulho**. 2012. 256 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, Campinas.

PINTO, M. T. Higienização de lodos. In: ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M., *et al* (Ed.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2001.

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF)**. 3<sup>a</sup> ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1996. 461p. ISBN 847114610X.

RAIJ, B. V. A capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos. **Bragantia**, v. 28, n. 1, pp. 85-112, 1969.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. 1<sup>a</sup> ed. Piracicaba: Agronômica Ceres Ltda, 1991. 343p.

RAMALHO, J. F. G. P.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; VELLOSO, A. C. X. Contaminação da microbacia de Caetés com metais pesados pelo uso de agroquímicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 7, pp. 1289-1303, 2000.

RENGASAMY, P.; OLSSON, K. A. Sodicity and soil structure. **Soil Research**, v. 29, n. 6, pp. 935-952, 1991.

RIBEIRO, A. C. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5. aproximação**. ed. Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais, 1999. p.

ROCHA, A. T. D.; DUDA, G. P.; NASCIMENTO, C. W. A.; RIBEIRO, M. R. Fracionamento do fósforo e avaliação de extratores do P-disponível em solos da Ilha de Fernando de Noronha. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 2, pp. 178-184, 2005.

RODELLA, A. A.; SABOYA, L. V. Calibration for conductimetric determination of carbon dioxide. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 31, pp. 2059-2060, 1999.

ROLLIN, A.; LOMBARD, G. Mechanisms affecting long-term filtration behavior of geotextiles. **Geotextiles and geomembranes**, v. 7, n. 1, pp. 119-145, 1988.

ROSOLEM, C. A.; FOLONI, J. S. S.; OLIVEIRA, R. H. D. Dinâmica do nitrogênio no solo em razão da calagem e adubação nitrogenada, com palha na superfície. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 2, pp. 301-309, 2003.

SABRY, T. Evaluation of decentralized treatment of sewage employing Upflow Septic Tank/Baffled Reactor (USBR) in developing countries. **Journal of Hazardous Materials**, v. 174, n. 1-3, pp. 500-505, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389409015416>>.

SARKAR, D.; O'CONNOR, G. Plant and Soil Responses to Biosolids–Phosphorus in Two Florida Soils with High Phosphorus Content. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 35, n. 11-12, pp. 1569-1589, 2004.

SILVA, A. C.; TORRADO, P. V.; DE SA JUNIOR, J. Métodos de quantificação da matéria orgânica do solo. **Revista da Universidade de Alfenas**, v. 5, pp. 21-26, 1999.

SILVA, F. C. D. S. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2<sup>a</sup> ed. Brasília: Embrapa, 2009. 623p.

SILVA, J. L. V. D. **Colmatção biológica de geotêxteis**. 2013. 135 p. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo, São Carlos.

SILVA, S. M. C. P.; FERNANDES, F.; SOCCOL, V. T.; MORITA, D. M. Principais contaminantes do lodo. In: ANDREOLI, C. V. F., F. E VON SPERLING, M. (Ed.). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG/SANEPAR, 2001. p.69-122.

SIMEONI, L. A.; BARBARICK, K. A.; SABEY, B. R. Effect of small-scale composting of sewage sludge on heavy metal availability to plants. **Journal of environmental quality**, v. 13, n. 2, pp. 264-268, 1984.

SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. D. C.; ANDRADE, C. A.; TEIXEIRA, C. F. A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 10, pp. 1187-1195, 2003.

STARK, S. A.; CLAPP, C. E. Residual nitrogen availability from soils treated with sewage sludge in a field experiment. **Journal of Environmental Quality**, v. 9, n. 3, pp. 505-512, 1980.

STRAUSS, M.; HEINSS, U. **Faecal Sludge Treatment**. 1<sup>a</sup> ed. Switzerland: EAWAG, 1995. 36p.

SUNTTI, C.; MAGRI, M. E.; PHILIPPI, L. S. Vertical flow constructed wetlands for septic sludge mineralization and dewatering. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 16, n. 1, pp. 63-72, 2011.

TAO, T.; PENG, X. F.; LEE, D. J. Thermal Drying of Wastewater Sludge: Change in Drying Area Owing to Volume Shrinkage and Crack Development. **Drying Technology**, v. 23, n. 3, pp. 669-682, 2005/03/30 2005. Disponível em: <  
<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1081/DRT-200054164> >. Acesso em: 2014/09/16.

TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; ALÉM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. **Biossólidos na agricultura**. 1<sup>a</sup> ed. São Paulo: SABESP, 2001. 468p.

US EPA. **Land application of sewage sludge and domestic septage- Process design manual**. Cincinnati: United States Environmental Protection Agency. EPA/625/R-95/001: 290p p. 1995.

\_\_\_\_\_. **Decentralized systems technology fact sheet: septic tank systems for large flow applications**. 832-F-00-079, E. Washington D.C 2000.

\_\_\_\_\_. **Onsite wastewater treatment systems manual**. AGENCY, U. E. P. 2002.

\_\_\_\_\_. **Technology: Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge**. Office of Research and Development 2003.

VAN HAANDEL, A.; ALEM SOBRINHO, P. Produção, composição e tratamento de esgotos. In: (Ed.). **Biossólidos: Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. . Curitiba: PROSAB. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, 2006.

VAN KESSEL, J. S.; REEVES, J. Nitrogen mineralization potential of dairy manures and its relationship to composition. **Biology and Fertility of Soils**, v. 36, n. 2, pp. 118-123, 2002.

VANDERLEI, L. S.; ERNANI, P. R.; RAMPAZZO, A. L. C. Lixiviação de nitrogênio afetada pela forma de aplicação da uréia e manejo dos restos culturais de aveia em dois solos com texturas contrastantes. **Ciência Rural**, v. 33, n. 1, 2003.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 3<sup>a</sup> ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 470p.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L. Urban wastewater treatment technologies and the implementation of discharge standards in developing countries. **Urban Water**, v. 4, pp. 105-144, 2002.

WHO. **United Nations Children's fund joint monitoring programme for water supply and sanitation (JMP)**. ed. New York: UNICEF, 2008. p.



\_\_\_\_\_. O abastecimento de água, o saneamento e o uso de águas residuárias. 2011. Disponível em: < <http://www.who.int> >. Acesso, 16/09/2014

WITHERS, P.; JARVIE, H.; STOATE, C. Quantifying the impact of septic tank systems on eutrophication risk in rural headwaters. **Environment international**, v. 37, n. 3, pp. 644-653, 2011.

WOODSON, W. R.; BOODLEY, J. W. Effects of nitrogen form and potassium concentration on growth, flowering, and nitrogen utilization of greenhouse roses [Recirculating solution culture]. **Journal-American Society for Horticultural Science (USA)**, 1982.

WORLEY, J. W.; BASS, T. M.; VENDRELL, P. F. Field test of geotextile tube for dewatering dairy lagoon sludge. ASAE PAPER no 044078, 2004, St Joseph, Mich. ASAE.

WZOREK, M. Characterisation of the properties of alternative fuels containing sewage sludge. **Fuel Processing Technology**, v. 104, pp. 80-89, 2012.

YEN-PHI, V.; RECHENBURG, A.; VINNERAS, B.; CLEMENS, J.; KISTEMANN, T. Pathogens in septage in Vietnam. **Science of the total environment**, v. 408, pp. 2050-2053, 2010.

ZANÃO JÚNIOR, L. A.; CARVALHO-ZANÃO, M. P.; LÚCIO, R.; FONTES, F.; GROSSI, J. A. S. Produção e qualidade de rosas em razão de doses de boro aplicadas no substrato **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, pp. 524-531, 2014.

ZBYTNIIEWSKI, R.; BUSZEWSKI, B. Characterization of natural organic matter (NOM) derived from sewage sludge compost. Part 1: chemical and spectroscopic properties. **Bioresource technology**, v. 96, n. 4, pp. 471-478, 2005.

ZIESLIN, N.; ABOLITZ, M. Leakage of phenolic compounds from plant roots: effects of pH,  $\text{Ca}^{2+}$  and NaCl. **Scientia horticultrae**, v. 58, n. 4, pp. 303-314, 1994.

