

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS**  
**CÂMPUS DE BOTUCATU**

**APLICAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA E DE ADUBAÇÃO  
COM LODO DE ESGOTO NA CULTURA DO CRAMBE**

**ISABELA SEIXO DE BRITO LOUZADA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Irrigação e Drenagem.

**BOTUCATU - SP**  
**Setembro - 2016**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**APLICAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA E DE ADUBAÇÃO  
COM LODO DE ESGOTO NA CULTURA DO CRAMBE**

**ISABELA SEIXO DE BRITO LOUZADA**

Orientador: Prof. Dr. Helio Grassi Filho

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia – Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU - SP  
Setembro - 2016

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

L895a Louzada, Isabela Seixo de Brito, 1988-  
Aplicação da água residuária tratada e de adubação com lodo de esgoto na cultura do crambe / Isabela Seixo de Brito Louzada. - Botucatu : [s.n.], 2016  
xi, 68 f. : fots. color., ils.color., grafs. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2016  
Orientador: Helio Grassi Filho  
Inclui bibliografia

1. Crambe - Cultivo. 2. Águas residuais - Purificação. 3. Lodo de esgoto. 4. Compostos orgânicos. I. Grassi Filho, Helio. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: APLICAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA E DE ADUBAÇÃO  
COM LODO DE ESGOTO NA CULTURA DO CRAMBE

**AUTORA: ISABELA SEIXO DE BRITO LOUZADA**

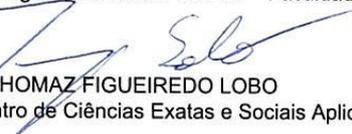
**ORIENTADOR: HÉLIO GRASSI FILHO**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA  
(IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. HÉLIO GRASSI FILHO

Dep de Solos e Recursos Ambientais / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu

  
Prof. Dr. ANTÔNIO DE PÁDUA SOUSA  
Depto de Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu

  
Prof. Dr. THOMAZ FIGUEIREDO LOBO  
Depto Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas / Universidade Sagrado Coração

Botucatu, 02 de setembro de 2016.

*"Os caminhos não estão feitos, é andando que cada um de nós faz o seu próprio caminho".*

***José Saramago***

Aos meus pais, fonte da minha inspiração, por todo amor, carinho e dedicação.

***Ofereço e Dedico***

## AGRADECIMENTO

À Deus, por toda a graça e bênçãos, fonte de, fé, amor e esperança.

Aos meus pais pelo amor incondicional, exemplo, incentivo e força, e à Mariana, Pedro Paulo e Rafael por todo amor, amizade e apoio; vocês foram essenciais nessa caminhada.

Ao professor Dr. Helio Grassi Filho pela orientação, ensinamentos, confiança e apoio durante todo o trabalho.

A Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - FCA/UNESP, Câmpus de Botucatu/SP, e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Irrigação e Drenagem pela oportunidade.

A Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos, e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Irrigação e Drenagem pelo apoio financeiro.

A todos os professores da FCA/UNESP em especial aos professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Irrigação e Drenagem.

Aos antigos e atuais orientados do professor Dr. Helio Grassi Filho: Dávilla Alessandra, Luciano Menezello, Márcio Henrique Lanza, Patrick Silva, Rodolpho Artur Lima e Thomaz Figueiredo Lobo, pelo apoio, boa vontade em ensinar e ajudar na condução de todo o experimento.

Aos funcionários da Biblioteca Prof. Paulo de Carvalho Mattos, do Departamento de Engenharia Rural e do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, em especial à Adriana, Antônio, Jair, De Pieri, Noel, Pedrinho, por todo auxílio, atenção e carinho.

Ao Prof. Dr. Maurício Dutra Zanotto e ao Doglas Bassegio, do Programa Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura, pela ajuda e pelo processamento das amostras para análise em seus laboratórios.

A todos os amigos e colegas de pós-graduação pela companhia, convivência, e que de alguma maneira contribuíram para realização desse trabalho.

A minha família e amigos, que mesmo com a distância me mantiveram em suas orações, e torceram por mim e por essa conquista.

Meu muito obrigada!

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE FIGURAS .....	IX
LISTA DE TABELAS .....	XI
RESUMO .....	1
ABSTRACT .....	3
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	7
2.1 Reúso de água na agricultura.....	7
2.2 Lodo de esgoto na agricultura .....	10
2.3 Adubação nitrogenada.....	13
2.4 Cultura do crambe .....	14
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
3.1 Caracterização experimental .....	17
3.2 Delineamento experimental.....	18
3.3 Origem e características do lodo de esgoto compostado .....	19
3.4 Origem e característica do efluente de esgoto tratado .....	20
3.5 Sistema e manejo de irrigação.....	22
3.6 Dados climatológicos .....	24
3.7 Etapas de instalação do ensaio .....	25
3.8 Parâmetros avaliados.....	28
3.8.1 Componentes de desenvolvimento e produção .....	28
3.8.2 Diagnose foliar .....	29
3.9 Análise química do solo .....	29
3.10 Análise estatística.....	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	31
4.1 Cultura do crambe .....	31
4.1.1 Componentes de desenvolvimento e produção .....	31
4.1.2 Diagnose foliar .....	38
4.2 Análise química do solo .....	45
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	54
6 CONCLUSÕES .....	55

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....56

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Página</b>
Figura 1. Croqui da área experimental. ....	18
Figura 2. Gotejador autocompensante colocado na extremidade do microtubo (A) e visão geral das 140 unidades experimentais (B). ....	22
Figura 3. Variação diária da temperatura do ar (Tar, °C) no interior do ambiente protegido durante o período experimental de realização do ensaio com a cultura do crambe, de 16/07/2015 a 18/10/2015. ....	24
Figura 4. Variação diária da umidade relativa do ar (%) no interior do ambiente protegido durante o período experimental de realização do ensaio com a cultura do crambe, de 16/07/2015 a 18/10/2015. ....	25
Figura 5. Emergência das plântulas de crambe. ....	28
Figura 6. Altura da planta (cm) em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente a 0 (zero), 17,5, 26, 35 e 44 t ha <sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N. ....	33
Figura 7. Diâmetro da haste da planta (mm) em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente a 0 (zero), 17,5, 26, 35 e 44 t ha <sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N. ....	35
Figura 8. Massa seca da parte aérea (g planta <sup>-1</sup> ) em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente a 0 (zero), 17,5, 26, 35 e 44 t ha <sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N. ....	36
Figura 9. Rendimento de grãos (g planta <sup>-1</sup> ) em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente a 0 (zero), 17,5, 26, 35 e 44 t ha <sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N. ....	38
Figura 10. Teor foliar dos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg aos 96 DAE em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente a 0 (zero), 17,5, 26, 35 e 44 t ha <sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N. ....	42
Figura 11. Teor foliar dos micronutrientes, B, Cu e Fe aos 96 DAE em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente a 0 (zero), 17,5, 26, 35 e 44 t ha <sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N. ....	44
Figura 12. Resultados do pH, matéria orgânica, CTC, SB e V% em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente a 0 (zero), 17,5, 26, 35 e 44 t ha <sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N. ....	47

Figura 13. Concentração dos macronutrientes P, K, Ca, e S no solo em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente a 0 (zero), 17,5, 26, 35 e 44 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N.....50

Figura 14. Concentração dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn no solo em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente a 0 (zero), 17,5, 26, 35 e 44 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N.....52

## LISTA DE TABELAS

	<b>Página</b>
Tabela 1. Característica química do lodo de esgoto compostado.....	20
Tabela 2. Estimativa da quantidade de N, P, K, Ca, Mg, S, Na, B, Fe e Mn acrescentado no ciclo da cultura do crambe via irrigação com EET. ....	21
Tabela 3. Resultados da análise química do solo antecedente à instalação do experimento com a cultura do crambe.....	26
Tabela 4. Resultados médios da altura da planta (cm) aos 15, 30, 45 e 96 dias após a emergência (DAE).....	32
Tabela 5. Resultados médios do diâmetro da haste (mm) aos 15, 30 e 45 dias após a emergência (DAE).....	34
Tabela 6. Resultados médios da massa seca da parte aérea ( $\text{g planta}^{-1}$ ) aos 49 e 96 dias após a emergência (DAE). ....	36
Tabela 7. Resultados médios do rendimento de grãos ( $\text{g planta}^{-1}$ ) e do teor de óleo da semente (%). ....	37
Tabela 8. Resultados médios do teor foliar de Ca e Cu aos 49 dias após a emergência (DAE) .....	39
Tabela 9. Resultados médios do teor foliar dos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg aos 96 dias após a emergência (DAE). ....	40
Tabela 10. Resultados médios do teor foliar dos micronutrientes B, Cu e Zn aos 96 dias após a emergência (DAE).....	43
Tabela 11. Resultados médios do pH, matéria orgânica ( $\text{g dm}^{-3}$ ), CTC, e acidez potencial soma de bases ( $\text{mmolc dm}^{-3}$ ) e saturação por base (V%) no solo. ....	46
Tabela 12. Resultados médios da concentração dos macronutrientes P, K, Ca, Mg e S no solo. ....	49
Tabela 13. Resultados médios da concentração dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn no solo. ....	51

## APLICAÇÃO DA ÁGUA RESIDUÁRIA TRATADA E DE ADUBAÇÃO COM LODO DE ESGOTO NA CULTURA DO CRAMBE.

Botucatu, 2016. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".

Autora: Isabela Seixo de Brito Louzada

Orientador: Prof. Dr. Helio Grassi Filho

### RESUMO

O uso de efluente de esgoto tratado e de lodo de esgoto compostado representam uma boa oportunidade para o setor agrícola de suprimento hídrico e nutricional às plantas, além da agricultura ser um destino adequado, seguro e benéfico desses resíduos quando corretamente manejados. Assim, objetivou-se com esse estudo avaliar o efeito da água residuária tratada e do lodo de esgoto compostado como substituto parcial, total e em doses superiores à adubação nitrogenada convencional, no solo e na cultura do crambe. O experimento foi conduzido em ambiente protegido em vasos de PVC com volume útil de 45,5 L, no Departamento de Solos e Recursos Ambientais, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (FCA/UNESP), Botucatu/SP, no período de julho à outubro de 2015. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado em arranjo de parcelas subdivididas; nas parcelas foram empregados dois tipos de água para irrigação, água potável e efluente de esgoto tratado, e nas subparcelas sete níveis de adubação nitrogenada, totalizando quatorze tratamentos com dez repetições. Os tratamentos dentro de cada parcela são representados por: T0 – sem adubação nitrogenada; T1 – 100% de adubação nitrogenada mineral; T2 – 50% de adubação nitrogenada mineral + 50% adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado; e T3, T4, T5 e T6 correspondem à 100%, 150%, 200% e 250% da adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado, respectivamente. Os dados relativos às variáveis estudadas foram analisados estatisticamente por meio do software SISVAR e submetidos à análise de variância à 5% de probabilidade, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Optou-se por refazer a análise estatística dos tratamentos que receberam somente lodo de esgoto compostado,

adotando-se a análise de regressão. O uso de efluente de esgoto tratado proporcionou incremento dos componentes desenvolvimento, rendimento e teor de óleo da semente. A substituição da adubação nitrogenada convencional pela adubação via lodo de esgoto compostado elevou o rendimento de grãos<sup>-planta</sup>, com melhor rendimento proporcionado pela dose máxima de N aplicada via lodo de esgoto compostado. O aumento das doses de lodo de esgoto no solo elevou o pH, a CTC, SB, V%, os teores de matéria orgânica, P, K, Ca, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, e o uso de efluente de esgoto tratado os teores de Mg, S e Mn.

---

Palavras-chave: efluente de esgoto tratado, reúso, composto orgânico, *Crambe abyssinica* Hochst.

## APPLICATION OF TREATED WASTEWATER AND FERTILIZATION WITH SEWAGE SLUDGE IN CROP CRAMBE.

Botucatu, 2016. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".

Author: Isabela Seixo de Brito Louzada

Advisor: Prof. Dr. Helio Grassi Filho

### ABSTRACT

The usage of treated sewage effluent and composted sewage sludge represents a good opportunity for the agricultural sector of water supply and plant nutrition, besides being an adequate, safe and beneficial end for the agricultural for these residues when correctly handled. Thus, this study was aimed to evaluate the treated sewage effluent and the composted sewage sludge as a partial substitute, total and in doses superior to the conventional nitrogen fertilization, on the soil and on the crambe culture. The experiment was conducted in a protected environment of PVC vases with useful volume of 45,5L, at the Department of Soils and Environmental Resources of Agricultural Sciences Faculty, belonging to Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (FCA/UNESP), Botucatu/SP, between July and October of 2015. The experimental design was completely randomized in a split plot arrangement; using the plots two types of irrigation water, potable water and treated sewage effluent and the subplots seven levels of nitrogen fertilization, adding up fourteen treatments with ten repetitions. The treatments within each parcel are represented by: T0 – no nitrogen fertilization; T1 – 100% mineral nitrogen fertilization; T2 – 50% mineral nitrogen fertilizer; + 50% composted sewage sludge; and T3, T4, T5, T6 corresponding to 100%, 150%, 200% and 250% of nitrogen fertilizer from the composted sewage sludge, respectively. The data concerning the variables were analyzed statistically through the SISVAR software and were submitted to a variance analysis to 5% of probability, being those averages compared using the Tukey test to 5% of significance. It was opted to redo the statistical analysis of the treatments that only had received the composted sewage sludge, adopting the regression analysis. The use of treated sewage effluent provided increment of components development and production. The

conventional nitrogen fertilization substitution by the composted sewage sludge fertilizer elevated the yield of grains<sup>-plant</sup>, with a better yield provided by the maximum dose of N applied through the composted sludge. In the soil, the increasing doses of sewage sludge elevated the pH, the CTC, SB, V%, content of organic matter, P, K, Ca, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn, and the usage of treated sewage effluent elevated the levels of Mg, S and Mn.

---

Keywords: treated sewage effluent, reuse, organic compost, *Crambe abyssinica* Hochst.

## 1 INTRODUÇÃO

A irrigação é o setor que mais impõem pressão sobre os recursos hídricos, tendo a responsabilidade por cerca de 70% da exploração de água doce no mundo, quantia que tende a aumentar. Estimativas de crescimento populacional resultam na expectativa de aumento da demanda por alimentos, o que exigirá uma intensificação da produtividade agrícola e do uso da água (UNESCO, 2012).

Com o aumento da população há o aumento do consumo de água nos grandes centros urbanos também, gerando conseqüentemente o aumento no volume dos efluentes domésticos, responsáveis por relevante parte da poluição dos recursos hídricos superficiais quando não previamente tratados. A quantidade e qualidade dos recursos hídricos tem diminuído devido ao crescimento contínuo da demanda de água, devido a sua contaminação e degradação de suas reservas; um reflexo do mau gerenciamento desse recurso imprescindível à vida e ao desenvolvimento socioeconômico de qualquer país.

A preocupação com a saúde humana e ambiental, e a necessidade de alternativas viáveis de aumento da oferta de água para usos múltiplos, faz com que o reaproveitamento de efluentes de esgoto tratado no setor agrícola se destaque entre as possibilidades, posto seu potencial como fonte de água e nutrientes, tornando disponível ao solo e às plantas teores consideráveis de N e P. Assim, a agricultura torna-se um meio de descarte adequado, seguro e benéfico das águas residuárias tratadas. Os níveis necessários de depuração do efluente, são estabelecidos por fatores como a

qualidade da água, e a finalidade do reúso (HESPANHOL, 2002), processo que gerará um resíduo secundário denominado lodo de esgoto.

A disposição final do lodo de esgoto se mostra tão importante quanto seu tratamento, e dentre as possibilidades, o seu uso para fins agrícolas e florestais apresentam-se como alternativas mais pertinentes. Suas características o torna um potencial insumo agrícola, aconselhando-se seu uso como condicionador do solo e/ou fertilizante (BETTIOL; CAMARGO, 2006); pois mesmo que sua composição varie de acordo com sua procedência e método de tratamento, de maneira geral, o lodo de esgoto contém alta concentração de matéria orgânica, N, P e micronutrientes. A utilização desse subproduto no campo pode ser impossibilitada pela presença de patógenos e altas concentrações de metais pesados em sua composição.

Em experimento conduzido em ambiente protegido, trabalhando com resíduos sólidos orgânicos urbanos e níveis de irrigação no cultivo do crambe, Franco (2013) verificou que o uso desse subproduto compostado no solo promoveu entre outros benefícios o aumento nos valores de matéria orgânica, P, K, Ca e Mg, as plantas respondendo em crescimento e em produção.

Nessa conjuntura, objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos da irrigação com efluente de esgoto tratado e diferentes níveis de adubação com lodo de esgoto tratado, como substituto parcial, total e em doses superiores à adubação nitrogenada convencional, na fertilidade do solo e na cultura do crambe.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Reúso de água na agricultura**

O volume de água doce e limpa está sendo reduzido no mundo todo devido as excessivas extrações de água para suprir as crescentes demandas da indústria, da agricultura e para o abastecimento populacional, e devido as descargas desreguladas ou até ilegais dos efluentes nos corpos hídricos. Frente a essa situação, é necessário que o problema seja conduzido sob diferentes perspectivas, incluindo uma gestão inovadora das águas residuais (CONCORAN et al., 2010). Nas atuais circunstâncias o reúso de efluentes tratados é capaz de amenizar as exigências sobre os recursos hídricos, atuando como instrumento de redução do consumo de água, e simultaneamente minimizar a disposição de esgotos domésticos em rios e córregos, contendo a contaminação hídrica (GIORDANI; SANTOS, 2003).

A irrigação é uma técnica de grande significância no combate à insegurança alimentar uma vez que 20% das áreas irrigadas são responsáveis por cerca de 40% da produção mundial de alimentos (UNESCO, 2012). Mas essa alta e crescente exigência de água pela agricultura irrigada torna a produção de alimentos insustentável, fazendo-se necessária a adoção de novas condições para que as necessidades sejam atendidas sem o comprometimento do meio ambiente (HESPANHOL, 2002). Essa preocupação com sustentabilidade da produção concomitantemente à necessidade de busca por fontes alternativas de água, tornam o reúso de efluentes de esgoto tratados (EET) uma prioridade em atividades agrícolas (IFC, 2012).

Efluentes domésticos têm sido usados para irrigação desde a Idade do Bronze (a.C. 3200-1100 d.C.), por civilizações pré-históricas como a Minóica e Mesopotâmica. Logo o reúso da água não é um conceito novo, mas sim uma prática antiga e comumente utilizada, que passou e vem passando por diferentes estágios de desenvolvimento (ANGELAKIS; SNYDER, 2015). A prática do reúso tornou-se contemporânea não pela ação em si, mas pela intenção de seu uso agora como importante estratégia de desenvolvimento sustentável, podendo também estar ligado a benefícios econômicos.

O reúso de águas residuárias na agricultura apresenta diversas vantagens das quais se destacam: a redução da demanda e conservação da oferta de água de melhor qualidade para usos mais nobres; redução dos impactos sobre os recursos hídricos; reciclagem de nutrientes; economia no uso de fertilizantes; incremento na produção, recuperação de áreas improdutivas e possibilidade de ampliação do perímetro irrigado (FLORÊNCIO et al., 2006; ALVES, 2009). O custo do tratamento de águas residuais utilizadas na irrigação são menores do que o tratamento da água que seria disposta em um corpo hídrico, uma vez que a remoção de nutrientes não se faz necessária.

A irrigação com águas servidas é capaz de atender a demanda hídrica das plantas, e fornecer um acréscimo de nutrientes (LUDWING et al., 2012), em especial N, P e K, sendo suas características as de um potencial fertilizante, o que a faz atraente do ponto de vista agrônomo (FONSECA, 2001). O interessante em dispor os efluentes no solo além do suprimento hídrico e nutricional às plantas, é que o solo promove a decomposição da matéria orgânica presente nas águas residuais, há a depuração da carga orgânica, o solo trabalha como filtro retendo nutrientes, poluentes e organismos patogênicos (BERTONCINI, 2008).

Também podem haver riscos relacionados a essa prática. A qualidade química da água utilizada deve ser observada com o intuito de diminuir os riscos relacionados a ela. Dependendo da origem e tratamento, o efluente utilizado na irrigação pode apresentar alta condutividade elétrica e elevados teores de cloretos, sódio e sólidos dissolvidos, podem causar problemas relacionados a salinidade e sodicidade. Essas características da água salina podem refletir na velocidade de infiltração de água no solo e em sua permeabilidade, além de comprometer a absorção de água pelas

plantas. A utilização dessa água fica restrita ao cultivo de plantas menos sensíveis, em solos bem drenados (BASTOS, 2003).

Devido a possibilidade de conter diferentes organismos patogênicos como ovos de helmintos, cistos de protozoários e vírus, o uso de esgoto doméstico pode apresentar risco a saúde. Esses patógenos possuem formas de vida resistente, podendo sobreviver por longos períodos e adversidades, daí a importância do tratamento e desinfecção das águas residuárias (BERTONCINI, 2008), embora existam divergências quanto ao risco microbiológico, no estabelecimento de padrões de qualidade para o uso seguro do efluente do ponto de vista sanitário (BASTOS; BEVILACQUA, 2006).

Há diretrizes estabelecidas pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 1989) sobre a qualidade microbiológica de efluentes tratados para diferentes finalidades, no Brasil a Resolução N° 54, criada pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos em 2005, estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água no país.

Ainda não há normatização técnica específica para os sistemas de reúso da água no Brasil, e segundo Cunha (2008) a adoção de padrões referenciais internacionais ou orientações técnicas produzidas por instituições privadas pode ser prejudicial, podendo trazer riscos à saúde pública e ao meio ambiente, além do desenvolvimento de práticas inadequadas, etc. Sendo essa regulamentação de normas específicas em escala nacional e estadual necessária para que o uso de efluentes domésticos tratados possa se consolidar com segurança e princípios técnicos adequados inclusive na agricultura.

Estudos tem sido realizados com a finalidade de fomentar o reutilização de EETs na agricultura. Duarte et al. (2008) estudando os efeitos da aplicação de águas residuais tratadas no solo, verificaram que não ocorreram alterações significativas no pH, nem nos teores de P e K, mas devido aos altos teores de N e C contidos na água, houve o favorecimento da mineralização da matéria orgânica no solo, por efeito da concentração de N e C existentes nessas águas.

Analisando os parâmetros físico-químicos de frutos, relacionados à irrigação com efluentes tratados, Oliveira et al. (2013) puderam verificar que não

houveram alterações significativas dos parâmetros nos frutos de moranga, já Feitosa et al. (2009) observaram que a polpa da melancia apresentou variações significativas. Nas duas pesquisas foi constatado que a utilização da água residual tratada não comprometeu a qualidade microbiológica dos frutos.

## **2.2 Lodo de esgoto na agricultura**

As Estações de Tratamento de Esgoto objetivam adequar os efluentes domésticos, no sentido de minimizar seus efeitos potencialmente nocivos aos corpos hídricos receptores (SANEAGO, 2005). No decorrer do processo, mais especificamente na etapa de decantação ou flotação, um subproduto sólido é separado da fase líquida gerando um resíduo de composição variável, rico em matéria orgânica e nutrientes denominado lodo de esgoto (LE) (FERNANDES; SILVA, 1999).

É inegável o auxílio que o tratamento de esgoto dá à qualidade de vida e de saúde da população e do meio ambiente. Ainda assim, se os resíduos gerados durante esse processo não receberem os cuidados necessários, os mesmos trarão prejuízo, invalidando parte dos benefícios adquiridos anteriormente. O manejo do LE necessita de uma visão integrada, com foco tanto no produto final quanto em sua disposição adequada para que o mesmo não se torne um problema ambiental (SNSA, 2008).

Trata-se de um resíduo complexo de ampla variabilidade física, química e biológica, características que podem se alterar de acordo com os hábitos da população, infraestrutura urbana, a maneira com a qual o material é manejado e da escolha do sistema de seu tratamento (ZANTA et al., 2006). De maneira geral, o lodo contém basicamente compostos orgânicos, micro e macronutrientes, colóides, organismos patogênicos e metais pesados mais significativamente em áreas densamente industrializadas (SANEAGO, 2015).

Seu tratamento visa a produção de um material biologicamente estável, com baixa concentração de patógenos, e a diminuição de seu volume com o intuito de facilitar sua manipulação e transporte (ANDREOLI et al., 1998), tudo com o

propósito de se fazer seu uso produtivo, ou destiná-lo com segurança do ponto de vista ambiental e sanitário.

Os aterros sanitários são a alternativa mais comum de disposição do lodo de esgoto, mas sua reintegração ao ciclo produtivo em lugar de seu descarte, apresenta-se como uma alternativa mais pertinente e vantajosa (GODOY, 2013). Dentre as opções de aproveitamento do resíduo Pires e Mattiazzo (2008) citam a reutilização em solos agrícolas como a opção mais interessante sob o ponto de vista econômico e ambiental. Gomes et al. (2001) avaliam que a destinação do lodo de esgoto para uso na agricultura não se resume apenas a uma mera alocação segura do resíduo, mas sobretudo, a recuperação ou otimização do solo como meio de viabilizar lucro à atividade.

Os resultados da utilização do lodo no solo variam de acordo com o tipo de lodo, características do solo, clima local, cultivo explorado e frequência de aplicação (BERTON; NOGUEIRA, 2010). O lodo tende a elevar o pH do solo, diminuir o teor de alumínio trocável, e aumentar a capacidade de troca de cátions (CTC), podendo promover o desenvolvimento de diferentes organismos do solo fundamentais à ciclagem de nutrientes (MALTA, 2001). Contém teores elevados de matéria orgânica, agindo como condicionador do solo melhorando sua estrutura; melhora a retenção de água em solos arenosos, e em solos argilosos favorece a permeabilidade e infiltração. Incorpora ao solo N, P e alguns micronutrientes, mas nem sempre de maneira balanceada e em formas disponíveis para planta imediatamente à sua aplicação (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

O N presente no material orgânico encontra-se predominantemente em sua forma orgânica, ocasionando a necessidade de sua mineralização para torná-lo apto a ser absorvido pelas plantas. Os microrganismos agem gradualmente ao executar o processo de mineralização do N, o que pode dificultar a conciliação entre as necessidades nutricionais da planta durante seu ciclo fisiológico, e a liberação parcelada do N em sua forma disponível às plantas (PIRES; ANDRADE, 2014). Os cálculos de recomendação da dose de lodo de esgoto para melhorar a dinâmica entre a necessidade e disponibilidade de N absorvível, deve levar em consideração a demanda da cultura, o teor de N do LE, o comportamento dos nutrientes após sua aplicação no solo, o que envolve entre outros fatores a taxa de mineralização do N. Essa

medida também visa reduzir a possibilidade de lixiviação do N, em forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), no perfil do solo (BOEIRA et al., 2009).

A reciclagem agrícola pode ter reflexos negativos associados a presença microrganismos patogênicos, concentrações elevadas de metais pesados, e a possibilidade de contaminação do lençol freático e cursos de água. Para reduzir os riscos de contaminação ambiental por essas substâncias, a aplicação do lodo de esgoto na agricultura, é superintendido por diretrizes consideram as características físicas, químicas e biológicas do composto, assim como as da área onde o mesmo será disposto (DYNIA; BOEIRA, 2000).

A Resolução N° 375 do Conselho Nacional do Meio Ambiente é o responsável pela regulamentação do uso agrícola do lodo gerado em Estações de Tratamento de Esgoto e seus derivados, onde são estabelecidos critérios e procedimentos para a aplicação do resíduo com o objetivo de ganhos à agricultura e prevenção de possíveis efeitos nocivos a saúde da população e do meio ambiente (CONAMA, 2006).

Diversas pesquisas que tem como objeto de estudo o LE tem sido realizadas visando um maior e mais abrangente conhecimento a respeito de seu emprego na agricultura. Maia (2012) pôde avaliar que a aplicação de lodo em um latossolo vermelho-amarelo aumentou a porosidade total do solo, assim, reduzindo sua densidade. Chiba et al. (2008) fazendo uso do lodo em um argissolo para cultivo da cana-de-açúcar, concluíram que não foram ocasionados efeitos deletérios na qualidade do solo, mesmo com a alta frequência de reaplicação do material.

Galdos et al. (2004) puderam aferir no segundo ano de cultivo, um aumento na produtividade de milho produzido em solo incorporado com LE, comparado ao tratamento testemunha e ao tratamento com adubação mineral. Quintana et al. (2009) por sua vez, estudando a viabilidade econômica do uso do LE na agricultura no Estado de São Paulo constataram que a adubação com o resíduo orgânico foi mais rentável comparada à fertilização mineral.

### 2.3 Adubação nitrogenada

A qualidade dos solos, entre outros fatores, depende da presença de nutrientes sobretudo em casos de sistemas agrícolas. Um solo passível de produção é necessariamente um solo com boa fertilidade, capaz de proporcionar às plantas os nutrientes necessários (em quantidade apropriada) para o seu desenvolvimento. Em caso de baixa fertilidade ocasionada naturalmente ou por ações antrópicas, a adubação torna-se necessária como meio de reposição de nutrientes (LOPES; GUILHERME, 2007).

Resumindo os critérios estabelecidos por Arnon e Stout (1939) para que um elemento seja considerado essencial, Dechen e Nachtigall (2007) afirmam que o elemento deve fazer parte de uma molécula fundamental ao metabolismo vegetal.

O N é classificado como um elemento essencial, podendo ser absorvido pela planta na forma de ânion  $\text{NO}_3^-$  (nitrato), e de cátion  $\text{NH}_4^+$  (amônio) (YAMADA; ABDALLA, 2000). As plantas o assimilam através de reações químicas para formar ligações covalentes com o carbono e assim criar compostos orgânicos como aminoácidos, amidas, proteínas, ácidos nucleicos, coenzimas, etc. É um nutriente responsável por processos vitais à planta, e quando escasso, é capaz de coibir o crescimento vegetal (YAMADA; ABDALLA, 2000; TAIZ; ZEIGER, 2013).

O processo fotossintético também é influenciado pelo N, que é responsável pela síntese de clorofila. Quando essa síntese é prejudicada pela deficiência de N, a planta fica impossibilitada de usar a luz solar como fonte de energia para realizar a fotossíntese. O que implica na perda da capacidade da planta de realizar alguma de suas funções, como por exemplo, a absorção de nutrientes (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Devido ao papel crucial do N nos processos fisiológicos básicos da planta, e por ser o nutriente mineral que as mesmas exigem em maior quantidade, que é dificilmente suprida pelas quantidades vestigiais do solo, a adubação nitrogenada torna-se indispensável para que a disponibilidade desse nutriente não seja um fator limitante à produção agrícola.

Segundo Taiz e Zeiger (2013) a maioria dos ecossistemas naturais e agrícolas apresentam um expressivo ganho na produtividade após serem fertilizados com N inorgânico; sendo a dose de N a ser aplicada, a decisão mais relevante

no manejo de fertilizantes do ponto de vista econômico e ambiental (OKUMURA et al., 2011). A adubação nitrogenada, de origem orgânica ou mineral, deve ser manejada considerando-se os possíveis riscos ambientais, uma vez que o N está sujeito a diversas reações que podem resultar em perdas por erosão, lixiviação, volatilização, etc. (AMADO et al., 2002).

## 2.4 Cultura do crambe

O crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) é uma cultura oleaginosa proveniente da região do Mediterrâneo da família Brassicaceae, que também inclui a colza, canola e mostarda (PITOL et al., 2010). Caracterizada por ser uma planta herbácea, ereta, ramificada, podendo atingir cerca de um metro de altura. Possui folhas ovaladas assimétricas, lâmina foliar com cerca de 10 cm de comprimento, 7,5 de largura e superfície lisa (OPLINGER et al., 1991).

A inflorescência do crambe se forma em um longo cacho de panícula. Sua floração é indeterminada, ocorrendo cerca de 35 dias após a germinação, com flores amarelas ou brancas típicas das *Cruciferae*. Possui quatro sépalas e quatro pétalas, de aproximadamente 2 e 3 mm de comprimento, e estames sexuais (LESSMAN; ANDERSON, 1981). O fruto é uma síliqua inicialmente verde-clara, tornando-se marrom acinzentada a medida que amadurece. Cada fruto contém uma única semente esférica com cerca de 0,8 a 2,6 milímetros de diâmetro (DESAI et al., 1997), com alto teor de óleo.

Quanto à fertilidade do solo, responde de maneira semelhante à outras culturas da mesma família (KNIGHTS, 2002). Deduz-se pelo alto teor de proteína nos grãos que a planta absorva grandes quantidades de N. No entanto, ainda são insuficientes as informações sobre a reação do crambe em relação à adubação (VIANA, 2012), não havendo recomendação específica para a cultura (ROSOLEM; STEINER, 2014).

Planta de ciclo curto (85 a 90 dias) e de fácil adaptabilidade, tolerando clima seco e frio, o crambe é uma boa alternativa de cultivo de outono/inverno para o Mato Grosso do Sul, parte do centro oeste, sul e sudeste. Seu baixo custo e

rusticidade também auxiliam o seu bom desempenho no campo, com produtividade entre 1000 a 1500 kg ha<sup>-1</sup> (PITOL et al., 2010).

O crambe foi objetivo de cultivo pela primeira vez na Estação Botânica Boronez na União Soviética em 1933, chegando aos Estados Unidos da América na década de 40 pela Estação Experimental de Agricultura de Connecticut (OPLINGER et al., 1991). Cultivado no Brasil desde a década de 1970 (DUARTE et al., 2015), foi objeto de pesquisa da FUNDAÇÃO MS a partir de 1995, com propósito de avaliar o comportamento da cultura como cobertura do solo em sistema de plantio direto. No entanto, não sustentou-se como interesse de cultivo pois não era tão eficaz quanto o nabo forrageiro como cobertura de solo, e não havia mercado para sua comercialização. Com o estímulo à produção e uso de biodiesel o crambe voltou a ser pesquisado, o que resultou em seu reconhecimento como uma das culturas de destaque para produção de biocombustível (PITOL, 2008).

Acredita-se que o crambe preencha os pré-requisitos priorizados por empresas e instituições governamentais que visam à diversificação da cadeia de produção de biodiesel. É uma matéria-prima alternativa, cultivada no inverno, exerce o papel de rotação de cultura, ciclo curto, boa produção de grãos, alto teor de óleo, etc. (JASPER et al., 2010).

O teor de óleo extraído das sementes de crambe pode variar de 33% a 39%, do qual 55% a 63% é ácido erúico (WEICONG et al., 2014), um ácido graxo de cadeia longa, impróprio para consumo humano mas de alto valor industrial (LESSMAN, 1990; JASPER, 2009).

Óleo com baixo ponto de fusão, e boa estabilidade de oxidação, o que o torna vantajoso para a produção de biocombustível (PITOL et al., 2010). Devido suas propriedades funciona de forma excepcional no papel de lubrificante industrial (SELL et al., 1992), possui uma maior biodegradabilidade que os óleos minerais, possibilitando seu uso isolado como aditivo para indústria têxtil, de aço e de transporte (KNIGHTS, 2002). Entre outras utilidades, é usado na fabricação de nylon 1313, em plastificantes para mantê-los macios e flexíveis, em películas plásticas (DUKE, 1983), como inibidor de corrosão, na fabricação de borracha sintética (OPLINGER et al., 1991).

A torta é outro produto obtido através do processamento da semente. Tóxica para monogástricos, pode ser utilizada como suplemento proteico na alimentação de bovinos, respeitando-se a proporção de até 15% da programação alimentar total do animal (FUNDAÇÃO, 2007).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Caracterização experimental**

O experimento foi conduzido em ambiente protegido no Departamento de Solos e Recursos Ambientais, na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Câmpus de Botucatu - SP, localizada a 789 m de altitude, com coordenadas geográficas 22° 52' 55" de latitude Sul e 48° 26' 22" de longitude Oeste. Região de clima tipo Cfa, segundo o método de Köppen, caracterizado como clima temperado quente (mesotérmico) úmido, com temperatura média anual de 20,5°C (CUNHA; MARTINS, 2009).

O experimento foi instalado em vasos de PVC (Policloreto de vinil - plástico) com volume útil de 45,5 L. O solo utilizado é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico de textura média, segundo Carvalho et al. (1983) e revisado por normas da Embrapa (2006).

O Lodo de esgoto (LE) compostado foi utilizado em substituição à adubação nitrogenada convencional, e a irrigação feita com água potável (AP) e com efluente de esgoto tratado (EET), de acordo com o delineamento experimental.

Anteriormente nos mesmos vasos e aplicando-se a mesma estrutura de pesquisa, foram cultivados dois ciclos de trigo, em maio de 2012 e 2013,

dois ciclos de soja, em novembro de 2012 e 2013, e um ciclo de girassol em setembro de 2013.

### 3.2 Delineamento experimental

Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado em arranjo de parcelas subdivididas. Nas parcelas foram empregadas dois tipos de água para irrigação, água potável e efluente de esgoto tratado, e nas subparcelas sete níveis de adubação nitrogenada, totalizando quatorze tratamentos com dez repetições. Cada repetição foi configurada por um vaso, perfazendo cento e quarenta unidades experimentais (Figura 1).

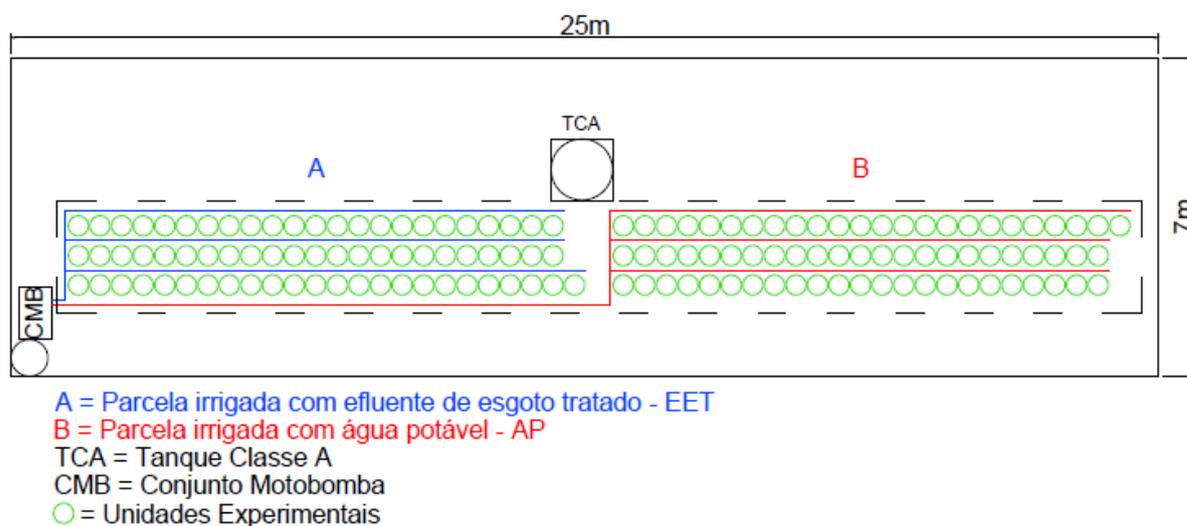


Figura 1. Croqui da área experimental.

A adubação nitrogenada foi baseada na dose de N recomendada para o pleno desenvolvimento da cultura da canola (HALLIDAY et al., 1992), planta da mesma família do crambe, ambas respondendo de maneira semelhante à fertilidade do solo (KNIGHTS, 2002), uma vez que não há recomendação específica para a cultura do crambe (ROSOLEM; STEINER, 2014). Os níveis de adubação com lodo de esgoto compostado de cada tratamento foram definidos em função da substituição parcial, total e superior da dose recomendada. As quantidades de LE de cada tratamento foram calculadas em função do teor de N presente no material, e da sua fração mineralizável. Definiu-se a taxa de mineralização a ser trabalhada como 30%, valor mais apropriado às

condições climáticas brasileiras, diferente da taxa definida pela Resolução do CONAMA nº 375 de 2006, de 10%, porém estabelecida de acordo com padrões norte-americanos (ANDRADE et al., 2010).

Foi adotado o princípio da aleatorização (BANZATTO; KRONKA, 2008) na distribuição dos tratamentos nas parcelas experimentais, sendo assim representados:

- T0 – sem adubação nitrogenada;
- T1 – 100% de adubação nitrogenada mineral;
- T2 – 50% de adubação nitrogenada mineral + 50% adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado;
- T3 – 100% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado;
- T4 – 150% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado;
- T5 – 200% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado;
- T6 – 250% de adubação nitrogenada proveniente do lodo de esgoto compostado.

Todos os tratamentos receberam adubações químicas complementares com superfosfato simples ( $P_2O_5$ ) e cloreto de potássio ( $K_2O$ ), de acordo com recomendação proposta por Halliday et al. (1992), conforme descrito no item 3.7.

### **3.3 Origem e características do lodo de esgoto compostado**

O lodo de esgoto utilizado é originário da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do município de Jundiaí/SP, que produz  $14.000 \text{ m}^3 \text{ mês}^{-1}$  desse resíduo. Para se tornar um composto orgânico, o lodo de esgoto passa pelo processo de compostagem termofílica; é misturado a diferentes resíduos orgânicos, sendo essa mistura revolvida mecanicamente, onde há uma oxidação promovida por intensas atividades de microrganismos. No processo ocorrem temperaturas superiores a  $55 \text{ }^\circ\text{C}$  por mais de 30 dias, higienizando o material ao eliminar os organismos patogênicos. Por fim composto é aditivado com gesso agrícola ( $Ca_2SO_4$ ). Depois do devido tratamento o lodo passa a ser registrado no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) como fertilizante orgânico classe D.

Uma amostra do lodo de esgoto foi enviada ao Laboratório de Fertilizantes e Corretivos do Departamento de Solos e Recursos Ambientais - FCA/UNESP - Botucatu/SP, para realização da análise química do material, de acordo com metodologia descrita no LANARV (1988). Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Característica química do lodo de esgoto compostado.

N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	S	Umid.	M.O.	C
----- % -----								
1,5	1	0,6	1,9	0,5	0,6	24	58	32
Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn		C/N	pH
----- mg kg <sup>-1</sup> matéria seca -----								
1079	180	88	13490	280	237		21/1	6/1

### 3.4 Origem e característica do efluente de esgoto tratado

O efluente de esgoto tratado utilizado no estudo era proveniente da Estação de Tratamento de Esgotos da cidade de Botucatu/SP, operada pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), localizada na Fazenda Experimental Lageado pertencente à FCA/UNESP, campus de Botucatu/SP.

Periodicamente o EET era transportado da ETE ao Departamento de Solos e Recursos Ambientais e armazenado em um reservatório de fibra de vidro com capacidade de 1000 L, posicionado próximo a estufa. Assim que o EET chegava, amostras eram coletadas para realização de análises químicas baseadas na metodologia proposta por Malavolta et al. (1997). Foram determinados o pH, condutividade elétrica, e os teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn, e Zn. Feita a caracterização do EET, foram estimadas as quantidades de nutrientes adicionados no decorrer do ciclo via irrigação. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

A água potável por sua vez, era proveniente da rede de abastecimento público de água do município de Botucatu/SP, operada pela SABESP, sendo armazenada em uma caixa d'água (500 L) localizada no interior da casa de vegetação.

Tabela 2. Estimativa da quantidade de N, P, K, Ca, Mg, S, Na, B, Fe e Mn acrescentado no ciclo da cultura do crambe via irrigação com EET.

Estádio de desenvolvimento	Período (dias)	EET									
		N	P	K	Ca	Mg	S	Na	B	Fe	Mn
		(mg vaso <sup>-1</sup> )									
Plantio ao fim da plântula "roseta"	0 - 26	282,49	8,19	97,74	70,01	29,21	66,34	351,14	0,93	3,34	0,46
Crescimento vegetativo	27 - 48	317,88	0	124,48	76,66	35,64	62,39	420,03	0,59	0,43	0,26
Início florescimento ao fim da granação	49 - 84	818,89	0	328,6	238,34	89,62	194,39	1049,78	2,05	7,24	1,26
Maturação	85 - 96	155,02	0	54,13	41,83	14,76	34,44	167,32	0,24	1,50	0,22
<b>Total</b>		<b>1574,29</b>	<b>8,19</b>	<b>604,97</b>	<b>426,85</b>	<b>169,25</b>	<b>357,58</b>	<b>1988,22</b>	<b>3,82</b>	<b>12,53</b>	<b>2,21</b>

### 3.5 Sistema e manejo de irrigação

Cada parcela experimental possuía um sistema de irrigação localizada por gotejamento independente, composto por um conjunto Motobomba Ferrari modelo IDB-35 de 1/3 CV, filtro de discos de 1 e 1/2" 50 microns e um manômetro regulado a 10 m.c.a.

A rede hidráulica do sistema foi constituída por mangueira de polietileno (PELBD) de 26,3 mm de diâmetro interno na linha principal, e de 13,8 mm de diâmetro interno nas linhas laterais, onde foram inseridos microtubos PELBD de 5 mm de diâmetro interno. Na extremidade de cada microtubo foi instalado um gotejador autocompensante com vazão nominal de 4 L h<sup>-1</sup>, totalizando 140 gotejadores, 1 por unidade experimental (Figura 2).



Figura 2. Gotejador autocompensante colocado na extremidade do microtubo (A) e visão geral das 140 unidades experimentais (B).

A demanda hídrica da cultura foi baseada em sua evapotranspiração, e estimada diariamente pelo método do tanque Classe A, equipamento instalado no centro da casa de vegetação.

A evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) foi determinada pela seguinte equação:

$$ET_c = ETo \times Kc$$

Onde:

- $ETo$  é a evapotranspiração calculada pela razão entre a evaporação do tanque Classe A (ECA) e o coeficiente do tanque ( $Kp$ ), determinado pelo método de Snyder (1992);
- $Kc$  é o coeficiente de cultivo, onde foram adotados valores específicos para cada estágio de cultivo da cultura; 0,85 na fase inicial, 1,37 no florescimento e 1,04 na maturação do crambe (JÚNIOR, 2013).

Assim, a lâmina de água a ser aplicada em cada unidade experimental foi determinada pela equação:

$$Lap = \frac{ET_c \times A}{Ef}$$

Onde:

- $Lap$  = Lâmina a ser aplicada (mm);
- $ET_c$  = Evapotranspiração da cultura;
- $A$  = Área do vaso ( $m^2$ );
- $Ef$  = Eficiência do sistema de irrigação (95%).

O tempo de irrigação foi calculado pela razão entre a lâmina a ser aplicada e a intensidade de aplicação do gotejador,  $4 \text{ L h}^{-1}$ .

### 3.6 Dados climatológicos

Foram registrados os dados de temperatura do ar ( $T_{ar}$ , °C) e umidade relativa do ar ( $UR_{ar}$ , %) no interior do ambiente protegido durante todo o período experimental, com o uso de um termo-higrômetro da marca Incoterm. As variações de temperatura e de umidade relativa do ar para o ensaio são apresentadas nas Figuras 3 e 4, respectivamente.

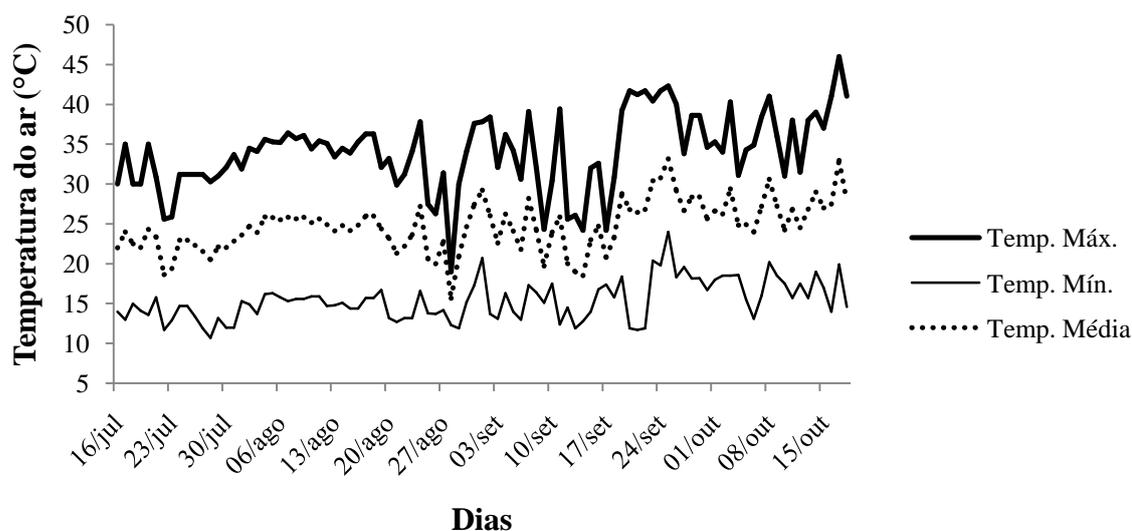


Figura 3. Variação diária da temperatura do ar ( $T_{ar}$ , °C) no interior do ambiente protegido durante o período experimental de realização do ensaio com a cultura do crambe, de 16/07/2015 a 18/10/2015.

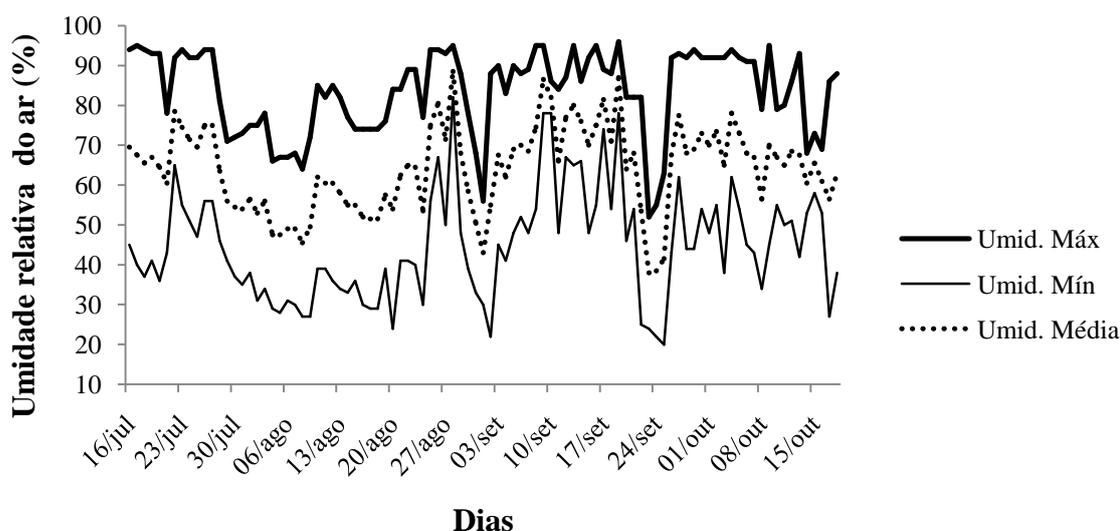


Figura 4. Variação diária da umidade relativa do ar (%) no interior do ambiente protegido durante o período experimental de realização do ensaio com a cultura do crambe, de 16/07/2015 a 18/10/2015.

### 3.7 Etapas de instalação do ensaio

**Análise química do solo** – Antecedendo à instalação do experimento foi realizada uma análise química do solo para fins de adubação e calagem quando necessário. Os resultados são apresentados na Tabela 3.

**Adubação mineral** – Feita a análise química do solo, foram calculadas as doses necessárias de N, P e K de acordo com a recomendação de adubação para a cultura (HALLIDAY et al., 1992);  $40 \text{ mg dm}^{-3}$  de N,  $10 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $15 \text{ mg dm}^{-3}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . Os fertilizantes selecionados foram Uréia, Superfosfatos Simples (SS) e Cloreto de Potássio (KCl). Todos os tratamentos receberam a mesma dose de SS e de KCl, 1,39 e 0,63 g respectivamente, por unidade experimental. No T1, a adubação de N mineral foi realizada em duas etapas,  $5 \text{ mg dm}^{-3}$  no plantio, até 10 dias após a emergência (DAE), e  $35 \text{ mg dm}^{-3}$  em cobertura, 30 DAE. Para o T2 a recomendação de N mineral foi de  $20 \text{ mg dm}^{-3}$ , total aplicado em cobertura

Tabela 3. Resultados da análise química do solo antecedente à instalação do experimento com a cultura do crambe.

Parcela	Trat.	pH	M.O.	P <sub>resina</sub>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----	mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	mg dm <sup>-3</sup>	-----	-----
<b>EET</b>	T0	5,5	24	66	0	27	1,6	37	13	52	75	69	0	0,17	1,6	33	1,3	1,5
	T1	5,4	28	72	0	24	1,8	40	9	50	75	67	0	0,16	2,0	36	2,2	5,1
	T2	5,4	29	66	0	27	1,7	36	9	47	74	63	0	0,2	3,2	52	3,5	4,6
	T3	5,5	36	102	0	26	1,9	59	11	72	98	74	0	0,22	4,5	62	4,9	4,7
	T4	5,7	41	171	0	25	2,0	54	9	66	91	72	0	0,28	5,2	69	6,0	4,5
	T5	5,9	40	175	0	22	1,7	66	10	78	100	78	0	0,26	5,4	67	6,4	4,6
	T6	5,8	43	173	0	23	1,6	70	10	81	104	78	0	0,27	6,5	75	7,3	4,6
<b>AP</b>	T0	5,4	23	42	0	25	1,6	31	16	49	74	66	0	0,09	1,5	29	0,8	1,7
	T1	5,4	23	51	0	28	1,6	29	11	42	70	60	0	0,10	1,6	34	1,1	2,3
	T2	5,6	26	69	0	28	1,6	55	15	72	100	72	0	0,15	3,0	48	2,7	6,2
	T3	5,6	28	79	0	23	1,7	49	14	65	88	74	0	0,17	4,0	58	3,4	5,4
	T4	5,8	39	194	0	25	1,7	84	17	103	128	80	0	0,22	4,8	65	5,0	4,8
	T5	5,7	37	155	0	23	1,8	75	15	91	114	80	0	0,23	5,8	72	4,0	4,7
	T6	5,7	42	190	0	23	1,6	79	13	94	118	80	0	0,24	6,8	79	6,1	4,7

\*EET: efluente de esgoto tratado; AP: água potável; Trat.: tratamentos; M.O.: matéria orgânica; SB: saturação de bases; CTC: capacidade de troca de cátions; V%: percentagem de saturação por bases.

**Adubação via lodo de esgoto** – O cálculo das doses de lodo de esgoto destinadas a cada tratamento foram baseadas na taxa de mineralização do lodo, 30%, e na quantidade de N presente no material orgânico, considerando que em 100 kg de lodo na base seca tem-se 1,5 kg de N. As quantidades de lodo de esgoto aplicadas em cada tratamento foram:

- T0 – tratamento sem lodo de esgoto (dose 0);
- T1 – tratamento sem lodo de esgoto (dose 0);
- T2 – 111,5 g/vaso, dose equivalente à aproximadamente 9 t ha<sup>-1</sup> (metade da dose de N recomendada, via lodo de esgoto – 40 kg de N ha<sup>-1</sup>);
- T3 – 223 g/vaso, dose equivalente à aproximadamente 17,5 t ha<sup>-1</sup> (100% da dose de N recomendada, via lodo de esgoto – 80 kg de N ha<sup>-1</sup>);
- T4 – 334,5 g/vaso, dose equivalente à aproximadamente 26 t ha<sup>-1</sup> (150% da dose de N recomendada, via lodo de esgoto – 120 kg de N ha<sup>-1</sup>);
- T5 – 446 g/vaso, dose equivalente à aproximadamente 35 t ha<sup>-1</sup> (200% da dose de N recomendada, via lodo de esgoto – 160 kg de N ha<sup>-1</sup>); e
- T6 – 557,5 g/vaso, dose equivalente à aproximadamente 44 t ha<sup>-1</sup> (250% da dose de N recomendada, via lodo de esgoto – 200 kg de N ha<sup>-1</sup>).

**Preparo dos vasos** – De cada vaso retirou-se o solo da profundidade de 0 - 20 cm, o qual foi colocado sobre uma lona plástica, incrementando-se os adubos minerais e o lodo de esgoto compostado.

**Semeadura** – Dia 16/07/2015 foi realizado a semeadura com 10 sementes por vaso. A cultivar escolhida foi a FMS Brilhante. Após a emergência (Figura 5), aos 10 DAE procedeu-se o primeiro desbaste, deixando 5 plantas por vaso, e aos 20 DAE foi realizado o segundo desbaste, restando 2 plantas por vaso. Durante o ciclo da cultura foram realizados os tratos culturais necessários.



Figura 5. Emergência das plântulas de crambe.

### 3.8 Parâmetros avaliados

#### 3.8.1 Componentes de desenvolvimento e produção

**Altura da planta** – Medição realizada aos 15, 30, 45 e 96 DAE, com régua de madeira graduada. Foi mensurada a distância entre a base e o ápice da haste principal (cm).

**Diâmetro do caule** – Medição realizada aos 15, 30 e 45 DAE, com um paquímetro digital. Determinou-se o diâmetro da haste no colo da planta (mm).

**Massa seca da parte aérea** – No início da floração, aos 49 DAE, e na maturidade fisiológica, 96 DAE, 4 plantas de cada tratamento foram colhidas e reservadas em sacos de papel identificados. Depois de pesadas foram dispostas em estufa com temperatura de 65°C e circulação forçada de ar, até que seu peso torna-se constante. O material foi pesado onde foi obtida a massa seca ( $\text{g planta}^{-1}$ ).

**Rendimento de grãos** – Determinada pela massa total de grãos por unidade experimental/vaso, expressa em  $\text{g planta}^{-1}$ .

**Teor de óleo** – Determinado a partir de um TD-NMR, no espectrômetro SLK-SG-200 (SpinLock Magnetic Resonance Solutions) a 25°C, equipado com um ímã permanente de 0,23 T (9 MHz para  $^1\text{H}$ ) e uma sonda de 13 mm  $\times$  30 mm de área útil, utilizando-se o software Condor IDE com a sequência de pulso CPMG com Qdamper (COLNAGO et al., 2011).

### **3.8.2 Diagnose foliar**

No início do florescimento, 49 DAE, e por ocasião da maturidade fisiológica, 96 DAE, foi realizada a diagnose foliar. As plantas que haviam sido usadas anteriormente para a obtenção da massa seca da parte aérea, foram moídas em moinho tipo Willey, e as amostras encaminhadas para o Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, da FCA/UNESP, Botucatu/SP, para que fossem determinados os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

### **3.9 Análise química do solo**

Com o objetivo de avaliar o comportamento dos componentes químicos do solo que já havia sido manejado com o mesmo delineamento experimental, foi realizada uma análise do solo depois do cultivo do crambe. Foram feitas 3 amostras compostas de cada tratamento, onde foram determinados os teores de P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, além do pH, M.O., acidez potencial ( $\text{H}+\text{Al}$ ), e calculada a soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions (CTC) e saturação por bases (V%), segundo metodologia descrita por Raij et al. (2001).

### **3.10 Análise estatística**

Os dados relativos às variáveis estudadas foram analisados estatisticamente por meio do software SISVAR e submetidos à análise de variância à 5% de probabilidade, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância. Optou-se por refazer a análise estatística dos tratamentos que receberam somente lodo de esgoto compostado, adotando-se a análise de regressão. A presença de significância para esta análise possibilitou a confecção de gráficos, mostrando o

comportamento dos parâmetros estudados em função do aumento da dose do composto orgânico.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Cultura do crambe**

#### **4.1.1 Componentes de desenvolvimento e produção**

Na Tabela 4 foram apresentadas as médias da altura da planta, sendo que apenas na avaliação realizada aos 45 dias após a emergência (DAE) foi observada interação significativa entre as parcelas e subparcelas, onde a média de maior valor pôde ser observada no T5 da parcela irrigada com água potável (138,87 cm), porém sem diferir significativamente da média do tratamento equivalente da parcela irrigada com EET (133,55 cm). O uso de EET só se mostrou significativamente superior comparando-se as doses T2 das duas parcelas.

Aos 15 e 30 DAE nota-se que o tipo de água influenciou significativamente a altura de plantas, onde as maiores médias puderam ser observadas com o uso de efluente de esgoto tratado, sendo essas, superiores estatisticamente às da parcela irrigada com água potável. Também se observa nessas duas avaliações e aos 96 DAE a influência significativa dos níveis de adubação sobre a altura, sendo as maiores médias observadas no T6, adubação com 250% da necessidade de N via lodo de esgoto compostado, que diferiu significativamente apenas do T0 aos 15 e 96 DAE, e do T0 e T1 aos 30 DAE.

Tabela 4. Resultados médios da altura da planta (cm) aos 15, 30, 45 e 96 dias após a emergência (DAE).

Tipos de Água	Tratamentos <sup>(1)</sup>							Médias
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
<b>Altura da planta 15 DAE (cm)</b>								
AP	–	–	–	–	–	–	–	7,64 A
EET	–	–	–	–	–	–	–	9,08 B
Médias	7,81 b	8,10 ab	8,23 ab	8,41 ab	8,54 ab	8,59 ab	8,87 a	
CV1 (%) = 22,82; CV2 (%) = 11,86; DMS3 = 0,78; DMS4 = 0,99.								
<b>Altura da planta 30 DAE (cm)</b>								
AP	–	–	–	–	–	–	–	25,42 A
EET	–	–	–	–	–	–	–	29,14 B
Médias	22,52 b	23,36 b	27,36 a	28,98 a	29,26 a	29,55 a	29,95 a	
CV1 (%) = 16,42; CV2 (%) = 13,66; DMS3 = 1,84; DMS4 = 3,73.								
<b>Altura da planta 45 DAE (cm)</b>								
AP	109,46 bA	82,63 cB	138,46 aA	136,03 aA	138,21 aA	138,87 aA	133,61 Aa	–
EET	121,06 abA	115,17 bA	135,12 abA	138,60 aA	137,99 aA	133,55 abA	131,02 abA	–
CV1 (%) = 14,36; CV2 (%) = 11,79; DMS1 = 14,08; DMS2 = 21,35.								
<b>Altura da planta 96 DAE (cm)</b>								
AP	–	–	–	–	–	–	–	–
EET	–	–	–	–	–	–	–	–
Médias	156,71 b	170,71 ab	171,06 ab	171,64 ab	173,10 ab	176,72 a	177,37 a	
CV2 (%) = 10,90; DMS4 = 18,69.								

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 177,7 kg ha<sup>-1</sup> de uréia; T2 = 88,85 kg ha<sup>-1</sup> de uréia + 9 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N ; T3, T4, T5 e T6 referem-se à 17,5, 26, 35 e 44 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N, respectivamente. \*AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente da variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela; DMS3 = diferença mínima significativa da parcela; DMS4 = diferença mínima significativa da subparcela. \*\*Médias seguidas das mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Figura 6 é possível analisar o comportamento dessa variável em função dos tratamentos adubados com o material orgânico. Os valores médios da altura das plantas ajustam-se à equação quadrática de maneira crescente até 150% aos 15 e 45 DAE, e até 250% aos 30 DAE, em função dos níveis de adubação com lodo de esgoto.

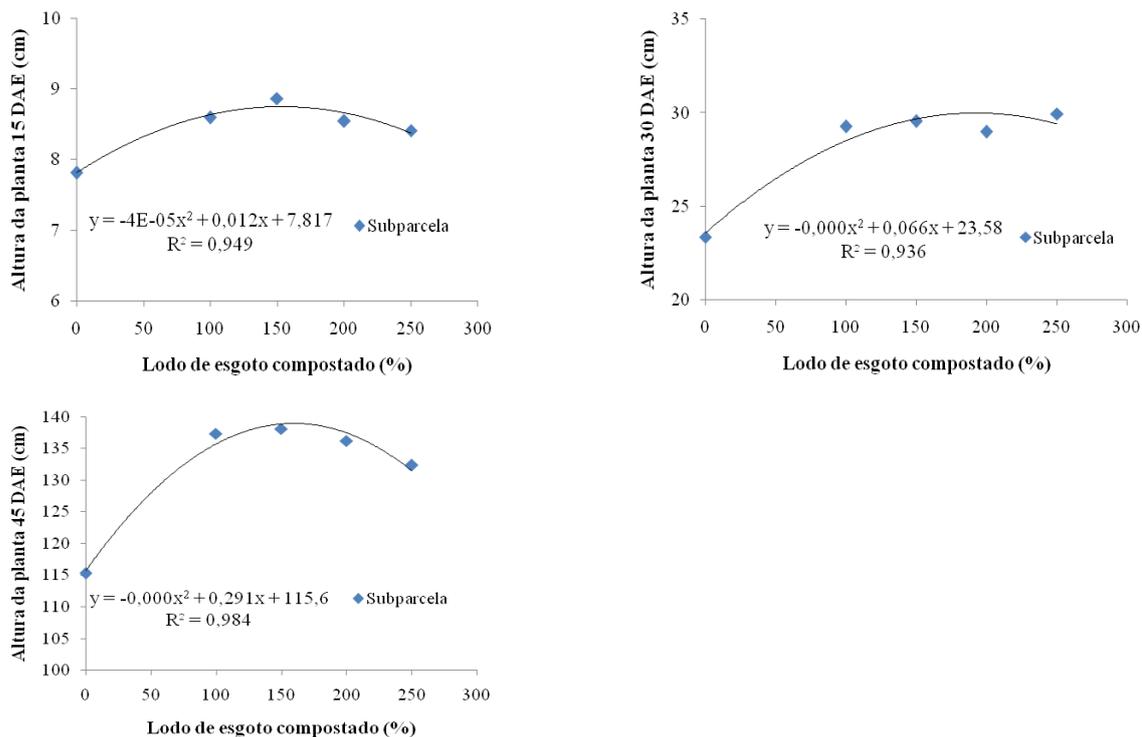


Figura 6. Altura da planta (cm) em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente a 0 (zero), 17,5, 26, 35 e 44 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N.

Realizando estudos sob o mesmo delineamento experimental, Lima (2015) observou comportamento semelhante no girassol, o aumento das doses do composto orgânico até 200% foram responsáveis pelo aumento da altura das plantas. Kummer (2013) por sua vez, trabalhando nas mesmas condições, constatou um decréscimo da altura da soja em função do aumento das doses de lodo de esgoto, afirmando que tais resultados foram ocasionados provavelmente pelo excesso de nutrientes proporcionados às plantas pelo LE e EET.

O diâmetro da haste da planta por sua vez, foi influenciado significativamente pelos fatores estudados nas três épocas em que foi avaliado, apresentando suas maiores médias nas parcelas irrigadas com EET, sendo que aos 15 DAE sem diferença significativa entre as subparcelas, e aos 30 e 45 DAE apenas o tratamento testemunha (T0) apresentou média significativamente inferior às demais (Tabela 5). Observa-se que o uso de EET ocasiona pouca ou nenhuma variabilidade significativa do diâmetro da haste entre os tratamentos, enquanto nota-se a discrepância entre as médias da mesma variável entre as subparcelas dentro da parcela AP.

Tabela 5. Resultados médios do diâmetro da haste (mm) aos 15, 30 e 45 dias após a emergência (DAE).

Tipos de Água	Tratamentos <sup>(1)</sup>						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
<b>Diâmetro da haste 15 DAE (mm)</b>							
<b>AP</b>	1,80 cB	1,87 cB	2,29 bB	2,42 abB	2,41 abB	2,39 abB	2,58 aA
<b>EET</b>	2,44 aA	2,55 aA	2,57 aA	2,65 aA	2,64 aA	2,63 aA	2,60 aA
CV1 (%) = 14,84; CV2 (%) = 8,16; DMS1 = 0,18; DMS2 = 0,27.							
<b>Diâmetro da haste 30 DAE (mm)</b>							
<b>AP</b>	6,23 cB	8,43 bB	10,53 abB	10,51 abB	11,59 aA	12,17 aB	12,42 aB
<b>EET</b>	11,46 bA	12,59 abA	13,37 abA	13,56 abA	12,73 abA	13,77 aA	14,51 aA
CV1 (%) = 12,75; CV2 (%) = 12,93; DMS1 = 1,41; DMS2 = 2,14.							
<b>Diâmetro da haste 45 DAE (mm)</b>							
<b>AP</b>	9,84 cB	10,75 bcB	12,33 abB	11,98 abB	13,18 aB	13,90 aB	13,92 aB
<b>EET</b>	12,83 bA	15,42 aA	14,92 aA	14,61 abA	14,67 abA	15,31 aA	15,65 aA
CV1 (%) = 6,00; CV2 (%) = 10,67; DMS1 = 1,34; DMS2 = 2,04.							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 177,7 kg ha<sup>-1</sup> de uréia; T2 = 88,85 kg ha<sup>-1</sup> de uréia + 9 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N; T3, T4, T5 e T6 referem-se à 17,5, 26, 35 e 44 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N, respectivamente. \*AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente da variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela. \*\*Médias seguidas das mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observando o comportamento da variável discutida apenas em relação aos níveis de adubação com lodo de esgoto compostado, percebe-se que as médias das parcelas irrigadas com AP ajustam-se à equação quadrática crescente, e as demais apresentam ajuste linear também crescente, sendo que a dose de 250% de N via lodo de esgoto obteve os melhores desempenhos aos 15, 30 e 45 DAE (Figura 7). Fica claro a influência das crescentes doses de lodo sobre o comportamento do diâmetro da planta.

Trabalhando com doses crescentes (0, 15, 30, 60 e 120 mg ha<sup>-1</sup>) de resíduo sólido orgânico urbano (RSOU) no cultivo do crambe, Franco (2013) observou um aumento com ajuste linear do diâmetro médio do caule das plantas em função do aumento das doses do RSOU. Assim como Bertozzo et al. (2011) e Albuquerque (2012) que ao aplicarem lodo de esgoto como fonte de N para o cultivo do crambe e do girassol, verificaram diferença significativa do diâmetro e da altura da planta conforme o aumento das doses do composto orgânico.

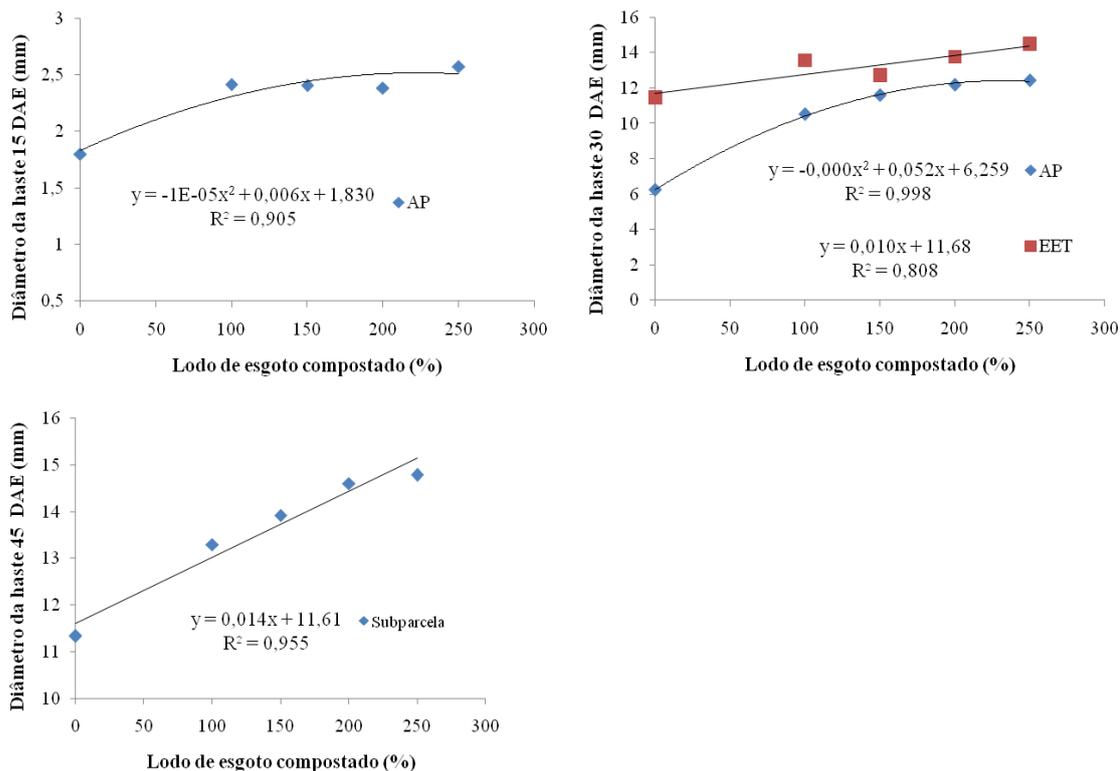


Figura 7. Diâmetro da haste da planta (mm) em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente a 0 (zero), 17,5, 26, 35 e 44 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N.

Na análise da massa seca da parte aérea (Tabela 6), percebe-se que aos 49 DAE não houve diferença significativa entre parcela e subparcela, mas sim diferença isolada para o tipo de água e para os níveis de adubação, sendo as maiores médias constatadas para o uso de EET, e no tratamento T6 que diferiu estatisticamente dos tratamentos que não receberam lodo de esgoto compostado, T0 e T1, com incremento de 111,19% e 81,65% sobre os mesmos respectivamente.

Na segunda avaliação (96 DAE) houve interação significativa entre os tipos de água e os níveis de adubação, onde a maior média observada para o uso de efluente de esgoto tratado é 39,79 mm (T2), sendo que não ocorreu diferença estatística entre os tratamentos dentro dessa mesma parcela. (Tabela 6). Os tratamentos irrigados com efluente de esgoto tratado foram superiores no T0, T1, T2 e T3, e foram estatisticamente iguais aos irrigados com água potável no T4, T4 e T6.

Tabela 6. Resultados médios da massa seca da parte aérea ( $\text{g planta}^{-1}$ ) aos 49 e 96 dias após a emergência (DAE).

Tipos de Água	Tratamentos <sup>(1)</sup>							Médias
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
<b>Massa seca parte aérea 49 DAE (<math>\text{g planta}^{-1}</math>)</b>								
AP	–	–	–	–	–	–	–	12,66 A
EET	–	–	–	–	–	–	–	18,27 B
Médias	10,27 c	11,94 bc	13,68 abc	13,96 abc	17,43 abc	19,30 ab	21,69 a	
CV1 (%) = 12,41; CV2 (%) = 35,49; DMS3 = 1,63; DMS4 = 8,53.								
<b>Massa seca parte aérea 96 DAE (<math>\text{g planta}^{-1}</math>)</b>								
AP	10,36 cB	19,20 bcB	26,08 abB	24,68 abB	28,98 abA	34,33 aA	33,72 aA	–
EET	32,49 aA	32,51 aA	39,79 aA	34,22 aA	36,71 aA	39,06 aA	37,90 aA	–
CV1 (%) = 26,18; CV2 (%) = 28,06; DMS1 = 8,05; DMS2 = 12,22.								

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 177,7  $\text{kg ha}^{-1}$  de uréia; T2 = 88,85  $\text{kg ha}^{-1}$  de uréia + 9  $\text{t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto compostado como fonte de N ; T3, T4, T5 e T6 referem-se à 17,5, 26, 35 e 44  $\text{t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto compostado como fonte de N, respectivamente. \*AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente da variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela; DMS3 = diferença mínima significativa da parcela; DMS4 = diferença mínima significativa da subparcela. \*\*Médias seguidas das mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

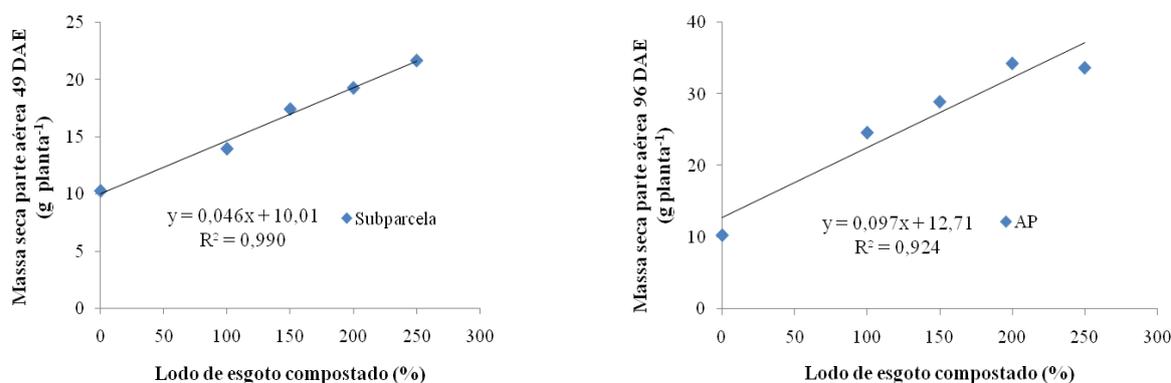


Figura 8. Massa seca da parte aérea ( $\text{g planta}^{-1}$ ) em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente a 0 (zero), 17,5, 26, 35 e 44  $\text{t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto compostado como fonte de N.

Ao analisar o comportamento da variável apenas em função do aumento das doses de LE, observa-se que houve um incremento da massa seca da parte aérea tanto aos 49 quanto aos 96 DAE a medida que os níveis de aplicação do composto orgânico foram aumentando, sendo que as curvas das médias apresentam comportamentos lineares semelhantes (Figura 8). Esse comportamento também foi observado por Simonete et al. (2003) e Lobo (2010), que ao trabalharem com os efeitos

do lodo de esgoto na desenvolvimento do milho e do girassol e feijão, observaram o aumento da produção de matéria seca.

Na Tabela 7 nota-se que o rendimento de grãos foi influenciado significativamente pelo tipo de água utilizada, sendo a maior média apresentada para o uso de EET, diferindo significativamente do uso de AP com incremento sobre o mesmo de 125,21%. O melhor rendimento de grãos de plantas irrigadas com efluente de esgoto tratado comparado à irrigação com água potável, também foi observado por Kummer (2013) no cultivo da soja, verificando um aumento de cerca de 86% do uso de EET sobre o uso de AP.

Tabela 7. Resultados médios do rendimento de grãos ( $\text{g planta}^{-1}$ ) e do teor de óleo da semente (%).

Tipos de Água	Tratamentos <sup>(1)</sup>							Médias
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
<b>Rendimento de grãos (<math>\text{g planta}^{-1}</math>)</b>								
<b>AP</b>	–	–	–	–	–	–	–	13,72 A
<b>EET</b>	–	–	–	–	–	–	–	30,90 B
<b>Médias</b>	15,88 c	17,59 bc	24,05 ab	24,08 ab	24,18 ab	24,58 ab	25,80 a	
CV1 (%) = 37,23; CV2 (%) = 35,59; DMS3 = 3,41; DMS4 = 7,96.								
<b>Teor de óleo (%)</b>								
<b>AP</b>	–	–	–	–	–	–	–	24,00 A
<b>EET</b>	–	–	–	–	–	–	–	29,95 B
CV1 (%) = 10,55; DMS4 = 2,28.								

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 177,7  $\text{kg ha}^{-1}$  de uréia; T2 = 88,85  $\text{kg ha}^{-1}$  de uréia + 9  $\text{t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto compostado como fonte de N; T3, T4, T5 e T6 referem-se à 17,5, 26, 35 e 44  $\text{t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto compostado como fonte de N, respectivamente. \*AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente da variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS3 = diferença mínima significativa da parcela; DMS4 = diferença mínima significativa da subparcela. \*\*Médias seguidas das mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Também ocorreu diferenciação significativa da variável em relação aos níveis de adubação, com pior e melhor média iguais a 15,88 (T0) e 25,80 (T6)  $\text{g planta}^{-1}$  respectivamente. Observa-se que entre os tratamentos que receberam a mesma quantidade de N (T1, T2 e T3) via adubação mineral e/ou lodo de esgoto, não houve diferença significativa entre as médias, mostrando que o emprego do lodo de esgoto como substituto total ou parcial da adubação nitrogenada no cultivo do crambe, não traz prejuízo ao rendimento da produção.

As doses de lodo de esgoto como suprimento de N à cultura do crambe não influenciaram o teor de óleo das sementes. Lobo (2006) trabalhando com o cultivo do girassol e doses crescentes de lodo de esgoto semelhantes às desse experimento, observou que os teores de óleo dos grãos de girassol também não diferenciaram significativamente entre os tratamentos que receberam diferentes doses do composto orgânico ou não. Lima (2015) observou a influência das doses de lodo no teor de óleo das sementes de girassol quando irrigadas com água residuária, e a não influência quando irrigadas com água potável.

O efluente de esgoto tratado foi capaz de proporcionar um incremento de aproximadamente 25% do teor de óleo quando comparado à parcela irrigada com água potável, embora ambas as médias tenham ficado abaixo da faixa de variação de teor de óleo de crambe relatada por Weicong et al. (2014), entre 33% e 39%.

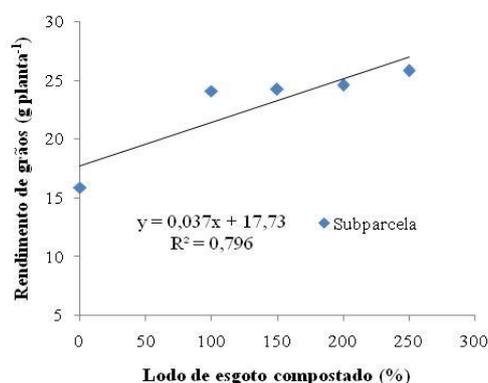


Figura 9. Rendimento de grãos (g planta<sup>-1</sup>) em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente a 0 (zero), 17,5, 26, 35 e 44 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N.

#### 4.1.2 Diagnose foliar

Na diagnose foliar realizada aos 49 DAE, não foram observadas interações estatísticas significativas entre parcelas, subparcelas e os macronutrientes N, P, K e Mg e os micronutrientes S, B, Fe, Mn e Zn.

Analisando os resultados médios do Ca (Tabela 8), observa-se que não houve diferença significativa entre os tipos de água utilizada, e quanto aos níveis

de adubação, os teores do nutriente foram estatisticamente semelhantes com exceção do tratamento testemunha da parcela irrigada com efluente de esgoto tratado, que apresentou média inferior às demais.

Os teores de Cu na planta foram crescentes em relação aos tratamentos da subparcela, sem demonstrar diferença significativa entre suas médias, com exceção do tratamento testemunha, que apresentou média significativamente inferior às demais. Relacionado ao tipo de água, o teor de Cu encontrado na planta foi cerca de 18% superior para utilização de EET comparado à AP.

Tabela 8. Resultados médios do teor foliar de Ca e Cu aos 49 dias após a emergência (DAE).

Tipos de Água	Tratamentos <sup>(1)</sup>							Médias
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
<b>Ca (g kg<sup>-1</sup>)</b>								
<b>AP</b>	19,25 aA	20,50 aA	17,75 aA	16,00 aA	16,75 aA	15,50 aA	18,25 aA	–
<b>EET</b>	14,25 bA	16,75 aA	18,75 aA	19,50 aA	19,50 aA	19,00 aA	16,25 aA	–
CV1 (%) = 15,14; CV2 (%) = 16,58; DMS1 = 4,20; DMS2 = 6,45.								
<b>Cu (mg kg<sup>-1</sup>)</b>								
<b>AP</b>	–	–	–	–	–	–	–	5,57 A
<b>EET</b>	–	–	–	–	–	–	–	6,60 B
<b>Médias</b>	5,37 b	5,50 ab	5,50 ab	5,62 ab	6,00 ab	7,25 ab	7,37 a	
CV1 (%) = 14,50; CV2 (%) = 20,69; DMS3 = 0,75; DMS4 = 1,95.								

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 177,7 kg ha<sup>-1</sup> de uréia; T2 = 88,85 kg ha<sup>-1</sup> de uréia + 9 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N ; T3, T4, T5 e T6 referem-se à 17,5, 26, 35 e 44 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N, respectivamente. \*AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela; DMS3 = diferença mínima significativa da parcela; DMS4 = diferença mínima significativa da subparcela. \*\*Médias seguidas das mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Não houve ajuste de curva de regressão para nenhuma das variáveis da diagnose aos 49 DAE em função das doses de lodo de esgoto compostado.

Nas Tabelas 9 e 10 observam-se os resultados médios do teor foliar de cada um dos macronutrientes e micronutrientes, respectivamente, aos 96 dias após a emergência das plantas.

Tabela 9. Resultados médios do teor foliar dos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg aos 96 dias após a emergência (DAE).

Tipos de Água	Tratamentos <sup>(1)</sup>							Médias
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
<b>N (g kg<sup>-1</sup>)</b>								
<b>AP</b>	8,75 aA	8,75 aA	4,00 abB	4,25 abB	5,00 abB	3,25 bB	5,00 abB	–
<b>EET</b>	6,25 aA	8,75 aA	8,75 aA	11,00aA	10,00 aA	10,25 aA	10,75 aA	–
CV1 (%) = 23,76; CV2 (%) = 28,97; DMS1 = 3,10; DMS2 = 4,76.								
<b>P (g kg<sup>-1</sup>)</b>								
<b>AP</b>	–	–	–	–	–	–	–	1,58 A
<b>EET</b>	–	–	–	–	–	–	–	1,11 B
<b>Médias</b>	0,78 b	1,01 b	1,17 ab	1,33 ab	1,58 ab	1,62 ab	1,92 a	
CV1 (%) = 35,80; CV2 (%) = 43,04; DMS3 = 0,41; DMS4 = 0,90.								
<b>K (g kg<sup>-1</sup>)</b>								
<b>AP</b>	16,50 cdA	9,25 eA	15,25 deB	23,00 bcA	25,00 bB	29,00 abB	32,25 aA	–
<b>EET</b>	11,50 dB	12,00 dA	21,25 cA	27,00 bcA	30,50 abA	34,00 aA	36,50 aA	–
CV1 (%) = 7,65; CV2 (%) = 13,63; DMS1 = 4,49; DMS2 = 6,91.								
<b>Ca (g kg<sup>-1</sup>)</b>								
<b>AP</b>	11,00 aA	10,7 5aA	8,00 aA	8,00 aA	9,25aA	7,50 aA	7,75 aA	–
<b>EET</b>	6,00 aB	7,00 aB	7,75 aA	8,00 aA	8,75 aA	8,50 aA	7,75 aA	–
CV1 (%) = 26,92; CV2 (%) = 23,48; DMS1 = 2,78; DMS2 = 4,27.								
<b>Mg (g kg<sup>-1</sup>)</b>								
<b>AP</b>	5,60 aA	4,65 abA	2,73 bcA	1,98 cA	2,38 cA	1,63 cA	2,05 cA	–
<b>EET</b>	1,48 aB	1,33 aB	1,90 aA	1,45 aA	1,35 aA	1,23 aA	1,18 aA	–
CV1 (%) = 49,07; CV2 (%) = 45,40; DMS1 = 1,43; DMS2 = 2,20.								

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 177,7 kg ha<sup>-1</sup> de uréia; T2 = 88,85 kg ha<sup>-1</sup> de uréia + 9 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N ; T3, T4, T5 e T6 referem-se à 17,5, 26, 35 e 44 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N, respectivamente. \*AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela; DMS3 = diferença mínima significativa da parcela; DMS4 = diferença mínima significativa da subparcela. \*\*Médias seguidas das mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os nutrientes N, K, Ca e Mg apresentaram diferença estatística significativa entre o uso de água potável ou efluente de esgoto tratado, e os níveis de adubação com lodo de esgoto compostado aos 96 DAE na planta do crambe (Tabela 9).

Nota-se que os teores de N foram estatisticamente inferiores nos tratamentos com lodo de esgoto e irrigados com água potável. Não houve diferença significativa entre os tratamentos irrigados com efluente de esgoto tratado, e os tratamentos testemunha, e com adubação 100% mineral da parcela irrigada com água potável.

Para os teores de Ca e Mg, não houve diferença significativa entre os tipos de água utilizadas, com exceção do T0 e T1 irrigados com efluente de esgoto tratado, que apresentaram média inferior às médias dos tratamentos equivalentes da outra parcela.

O P por sua vez diferiu significativamente mas de maneira isolada para parcela e subparcela. As melhores médias foram observadas no uso de efluente de esgoto tratado, com incremento sobre o uso de água potável de 42,3%, e nas subparcelas o T2, T3, T4, T5 e T6, todos os tratamentos que contêm alguma porcentagem de lodo de esgoto.

A influência dos níveis do composto orgânico sobre os teores de nutrientes pode ser melhor observada na Figura 10. O uso da água residuária ajustou-se à equação quadrática crescente para o teor de N e K. O uso de água potável apresentou valores crescentes para os teores de K, com ajuste linear, e valores decrescentes para os teores de N e Mg, com ajuste à equação quadrática, e para os teores de Ca com ajuste linear. Os teores de nutrientes que demonstraram comportamento crescente quanto aos níveis de LE, apresentaram suas maiores médias para a dose mais elevada de lodo (T6), e os de comportamento decrescente tiveram menores médias a partir da dose de 200% de lodo.

Junio et al. (2013) ao desenvolverem estudo com milho adubado com composto de lodo de esgoto, relataram que os teores de N, P e K aumentaram, e o teor de Mg diminuiu nas folhas com a adição do composto orgânico, enquanto os teores de Ca e S não foram influenciados pela adubação. Macedo et al. (2012) no entanto não observou

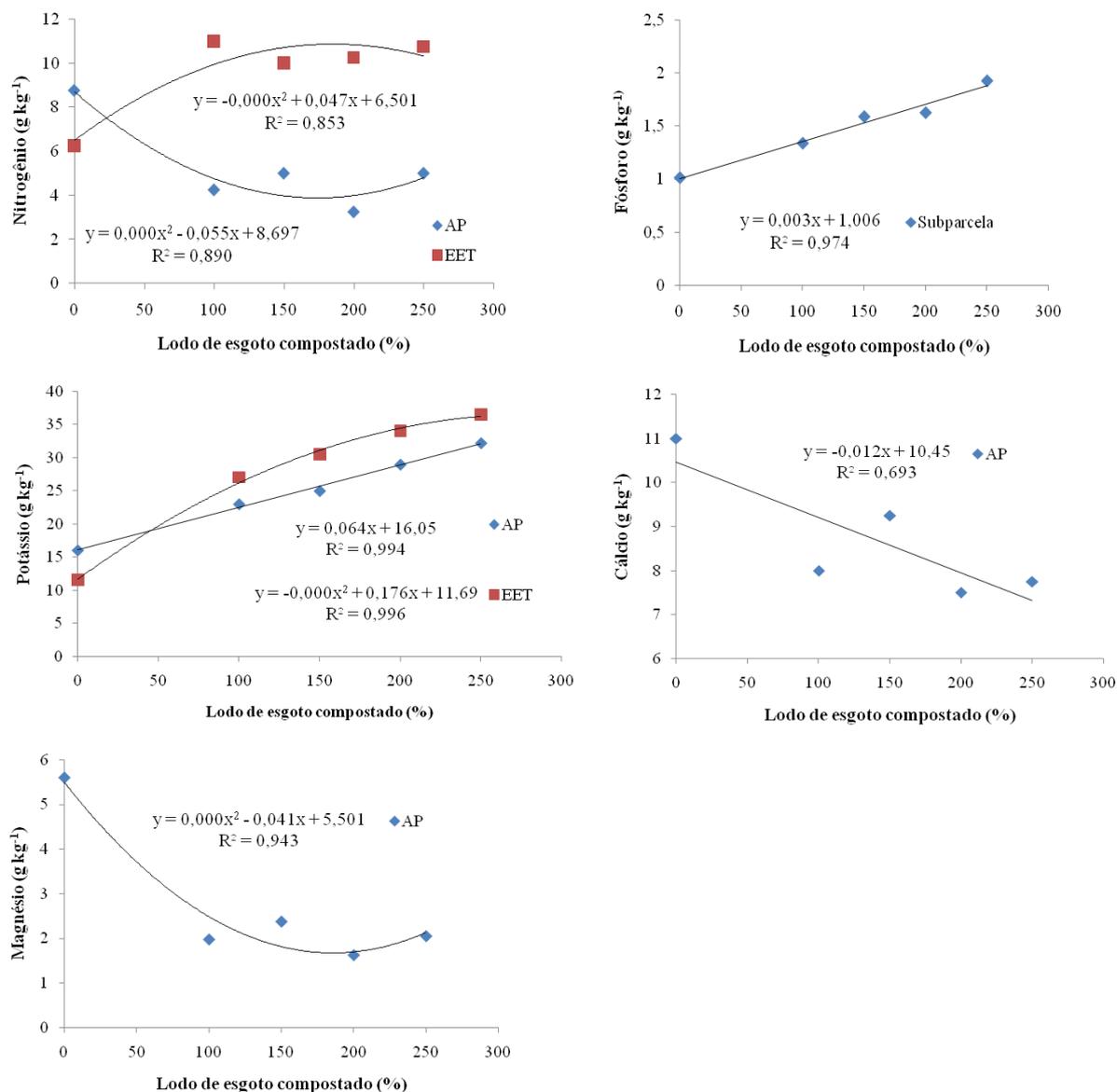


Figura 10. Teor foliar dos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg aos 96 DAE em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente a 0 (zero), 17,5, 26, 35 e 44 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N.

A interação entre parcela e subparcela foi significativa para o teor de Cu, com maior média no tratamento com adubação 100% mineral irrigado com água potável, sendo 46% superior à média do tratamento equivalente irrigado com efluente de esgoto tratado, nos demais tratamentos não houve interação significativa entre os tipos de água, e pouca diferença significativa entre as subparcelas irrigadas com AP, e nenhuma nas irrigadas com EET (Tabela 10).

Os teores de B na planta apresentaram diferença significativa dentro da parcela, com incremento de cerca de 18% do uso de EET sobre o uso de AP, os de Zn por sua vez foram influenciados pelos níveis de adubação, variando de 11,87 (T0) a 121,25 mg kg<sup>-1</sup> (T6).

Tabela 10. Resultados médios do teor foliar dos micronutrientes B, Cu e Zn aos 96 dias após a emergência (DAE).

Tipos de Água	Tratamentos <sup>(1)</sup>							Médias
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
<b>B (mg kg<sup>-1</sup>)</b>								
AP	–	–	–	–	–	–	–	20,60 b
EET	–	–	–	–	–	–	–	24,75 a
CV1 (%) = 17,48; DMS3 = 3,37.								
<b>Cu (mg kg<sup>-1</sup>)</b>								
AP	4,25 abA	5,50 aA	3,50 bA	3,25 bA	3,00 bA	3,00 bA	4,25 abA	–
EET	4,75aA	3,75 aB	3,50 aA	3,50 aA	3,50 aA	3,75 aA	3,50 aA	–
CV1 (%) = 9,11; CV2 (%) = 15,91; DMS1 = 0,86; DMS2 = 1,32.								
<b>Zn (mg kg<sup>-1</sup>)</b>								
AP	–	–	–	–	–	–	–	–
EET	–	–	–	–	–	–	–	–
Médias	11,87 c	26,25bc	47,75 abc	82,50 abc	87,12 abc	110,62 ab	121,25 a	
CV1 (%) = 84,56; DMS4 = 91,48.								

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 177,7 kg ha<sup>-1</sup> de uréia; T2 = 88,85 kg ha<sup>-1</sup> de uréia + 9 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N ; T3, T4, T5 e T6 referem-se à 17,5, 26, 35 e 44 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N, respectivamente. \*AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente da variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela; DMS3 = diferença mínima significativa da parcela; DMS4 = diferença mínima significativa da subparcela. \*\*Médias seguidas das mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O B e o Fe tiveram comportamento semelhante quanto ao aumento das doses de lodo, se ajustando à equação quadrática, com incremento até 150 % de lodo, e depois um decréscimo; enquanto o Cu ajustou-se à equação quadrática decrescente, até a dose de 150% de lodo, e a partir do T4, houve um incremento (Figura 11).

Comportamento contrário do teor Cu no trigo em relação à crescentes doses de lodo de esgoto, foram constatados por Lobo (2010), que também observou decréscimo dos teores de B e Fe e acréscimo dos teores de Mn e Zn com o aumento dos níveis do composto orgânico.

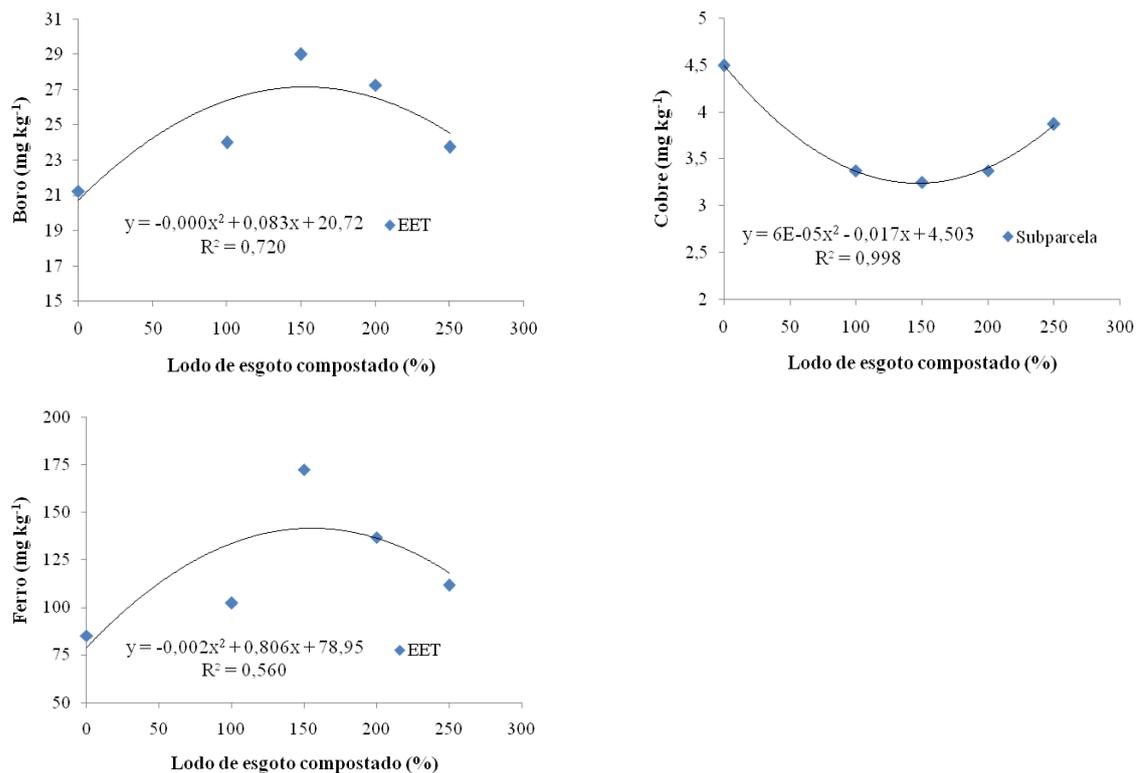


Figura 11. Teor foliar dos micronutrientes, B, Cu e Fe aos 96 DAE em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente a 0 (zero), 17,5, 26, 35 e 44 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N.

No cultivo da soja irrigada com EET e AP e doses crescente de lodo de esgoto compostado, Kummer (2013) observou resultados semelhante quanto ao teor de B nas plantas, crescente até 150% de LE quando irrigado com EET; e contrários quanto ao teor de Mg, que ajustou-se à equação quadrática crescente para o uso de água potável com maior média na dose de 200%, e ao teor de Ca, que independente do tipo de água, teve ajuste quadrático crescente em função do aumento das doses de lodo.

De acordo com as variações dos teores de nutrientes estabelecidas para as plantas em geral (MALAVOLTA, 1980; MALAVOLTA et al., 1989; PAIS; JONES JUNIOR, 1996; FURLANI, 2004, apud DECHEN; NACHTIGALL, 2007, p. 94-124), todas as médias dos teores de macro e micronutrientes foliares estudados estão dentro da faixa de variação. Dentro dessa faixa, alguns dos nutrientes apresentaram teores foliares que podem ser deficientes ao desenvolvimento da planta, entre eles as médias dos teores de N, nos tratamentos irrigados com água potável e nos tratamentos T0, T1 e T2 da parcela EET; as de P e Zn

apenas no tratamento testemunha; todas as médias dos teores de Mg com exceção de T0 e T1 da parcela AP, e as de Cu nos tratamentos T2, T3 e T4 das duas parcelas, e no T1 e T6 das parcelas EET.

#### 4.2 Análise química do solo

Os tipos de água utilizadas (EET e AP) não apresentaram influência sobre as propriedades químicas do solo apresentadas na Tabela 11: pH, matéria orgânica, capacidade de troca de cátions (CTC), acidez potencial (H+Al), soma de bases (SB) e saturação por base (V%) do solo.

O  $Al^{3+}$  não estava disponível no sistema solo-planta, assim como em experimento com lodo de esgoto realizado por Maia (2013), que justificou essa ausência devido a capacidade do lodo alcalinizado de precipitar o cátion de caráter ácido. Segundo Fageria (1998) a concentração de Al no solo depende sobretudo do pH, que entre 5,5 e 7,5 torna a solubilidade do Al praticamente nula.

Na Tabela 11 nota-se que todas as variáveis mostraram-se significativamente influenciadas apenas pelos níveis de adubação, com suas maiores médias no tratamento referente à adubação com 250% de lodo compostado, sendo 10,88% (pH), 112,89% (M.O.), 42,35% (CTC), 54,94% (H+Al), 76,45% (SB), 29,78% (V%) superiores às menores médias, apresentadas no tratamento testemunha.

Quando observados apenas os tratamentos que receberam a mesma quantidade de N (T1, T2 e T3), é possível verificar que não houve diferença estatística significativa entre eles em nenhuma das variáveis discutidas. Os tratamentos que receberam N em doses superiores à recomendação para a cultura, por meio do LE (T4, T5 e T6), não apresentaram médias com diferença estatística entre si nas variáveis apresentadas na Tabela 11, com exceção do T4 da matéria orgânica.

Tabela 11. Resultados médios do pH, matéria orgânica ( $\text{g dm}^{-3}$ ), CTC, e acidez potencial soma de bases ( $\text{mmolc dm}^{-3}$ ) e saturação por base (V%) no solo.

Tipos de Água	Tratamentos <sup>(1)</sup>						
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6
<b>pH</b>							
AP	–	–	–	–	–	–	–
EET	–	–	–	–	–	–	–
Médias	5,42 c	5,55 b	5,74 abc	5,79 abc	5,94 ab	5,99 ab	6,01 a
CV2 (%) = 4,29; DMS4 = 0,45.							
<b>Matéria Orgânica (<math>\text{g dm}^{-3}</math>)</b>							
AP	–	–	–	–	–	–	–
EET	–	–	–	–	–	–	–
Médias	17,60 e	21,75 de	23,62 d	26,28 cd	30,16 bc	34,39 ab	37,47 a
CV2 (%) = 9,14; DMS4 = 4,60.							
<b>CTC</b>							
AP	–	–	–	–	–	–	–
EET	–	–	–	–	–	–	–
Médias	79,04d	81,25 cd	88,38 cd	95,73 bc	106,80 ab	110,81 ab	112,52 a
CV2 (%) = 8,78; DMS4 = 15,59.							
<b>H+Al (<math>\text{mmolc dm}^{-3}</math>)</b>							
AP	–	–	–	–	–	–	–
EET	–	–	–	–	–	–	–
Médias	17,78 b	17,87 b	18,87 ab	22,37 ab	22,42 ab	23,32 ab	27,55 a
CV2 (%) = 24,09; DMS4 = 9,52.							
<b>SB (<math>\text{mmolc dm}^{-3}</math>)</b>							
AP	–	–	–	–	–	–	–
EET	–	–	–	–	–	–	–
Médias	53,69 c	55,71 c	65,96 bc	73,36 abc	87,93 ab	92,94 a	94,74 a
CV2 (%) = 16,72; DMS4 = 23,07.							
<b>V (%)</b>							
AP	–	–	–	–	–	–	–
EET	–	–	–	–	–	–	–
Médias	64,80 b	70,22 ab	73,81 ab	76,21 ab	82,31 a	83,75 a	84,10 a
CV2 (%) = 10,62; DMS4 = 14,96.							

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 177,7  $\text{kg ha}^{-1}$  de uréia; T2 = 88,85  $\text{kg ha}^{-1}$  de uréia + 9  $\text{t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto compostado como fonte de N; T3, T4, T5 e T6 referem-se à 17,5, 26, 35 e 44  $\text{t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto compostado como fonte de N, respectivamente. \*AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente da variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS4 = diferença mínima significativa da subparcela. \*\*Médias seguidas das mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

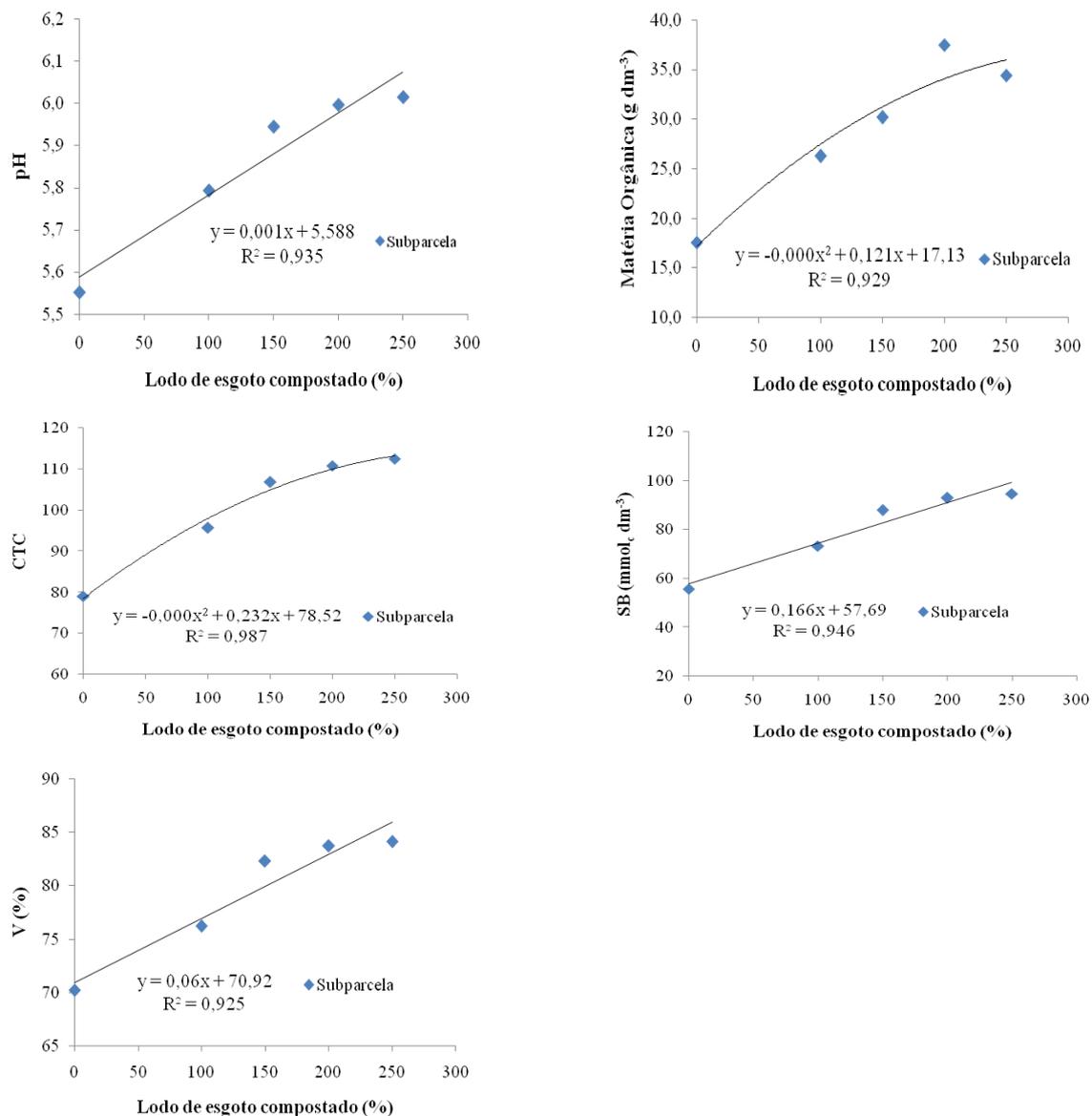


Figura 12. Resultados do pH, matéria orgânica, CTC, SB e V% em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente a 0 (zero), 17,5, 26, 35 e 44 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N.

Na análise de regressão (Figura 12) observa-se que o lodo proporcionou incremento de todas essas variáveis no solo, independente do tipo de água utilizada, em função das doses do composto orgânico, sendo que as médias de pH, SB e V% apresentaram ajuste linear crescente e as de matéria orgânica e CTC ajustaram-se à equação quadrática crescente.

O lodo de esgoto é rico em matéria orgânica, que por sua vez, é capaz de alterar propriedades físicas, químicas e biológicas do solo devido sua boa

interação com os demais componentes do mesmo, o que afeta o desenvolvimento das plantas, além de aumentar a CTC do solo, ao gerar cargas negativas (MEURER, 2007), o que pode justificar o comportamento da CTC em relação a matéria orgânica observadas na Figura 12.

Resultados semelhantes dos efeitos de doses de lodo de esgoto no solo foram constatados em pesquisas desenvolvidas por Rei et al. (2009) e Franco (2013), ao trabalharem com diferentes intervalos e níveis de irrigação, e por Kummer (2013) trabalhando com efluente de esgoto tratado.

Contudo, Simonete et al. (2003), ao trabalharem com lodo sem nenhum tipo de tratamento para higienização, e Lobo et al. (2013) analisando os efeitos do lodo ao longo do tempo, puderam constatar comportamento contrário quanto ao pH no solo. Nas pesquisas realizadas por eles, houve decréscimo do pH conforme o aumento do lodo de esgoto. Essa divergência dos resultados pode estar associada à composição química do composto orgânico (BARCELAR, 2000), que no presente estudo, era alcalinizado; ou pelo tempo de aplicação do lodo de esgoto no solo, que segundo Melo (2000) tende a diminuir com o passar do tempo.

Na Tabela 12 é possível observar os resultados médios das concentrações de macronutrientes no solo. O P e K tiveram resposta significativa para a relação entre parcela e subparcela, apresentando pouca variabilidade entre os tipos de água utilizada, com maiores médias nos tratamento T6 da parcela irrigada com água potável. O Ca respondeu isoladamente aos níveis de adubação, variando sua concentração de 40,53 (T0) a 78,93 (T6). Houve interação entre os tipos de água para irrigação na concentração de Mg, com maior média na parcela AP, e para o S, com maior média na parcela EET.

Tabela 12. Resultados médios da concentração dos macronutrientes P, K, Ca, Mg e S no solo.

Tipos de Água	Tratamentos <sup>(1)</sup>							Médias
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
<b>P (mg dm<sup>-3</sup>)</b>								
<b>AP</b>	43,70 cA	45,01 cA	75,98 bcA	86,82 bA	181,84 aA	184,95 aA	194,03 aA	–
<b>EET</b>	47,68 dA	61,65 dA	70,77 cdA	96,58 bcA	124,62 bB	162,65 aB	188,60 aA	–
CV1 (%) = 9,33; CV2 (%) = 11,66; DMS1 = 21,87; DMS2 = 33,96.								
<b>K (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)</b>								
<b>AP</b>	0,28 cA	0,34 cA	0,40 cA	0,74 bcA	1,25 abA	1,90 aA	1,90 aA	–
<b>EET</b>	0,60 bA	0,60 bA	0,51 bA	0,94 abA	1,39 aA	1,36aB	1,45 aB	–
CV1 (%) = 57,65; CV2 (%) = 27,69; DMS1 = 0,45; DMS2 = 0,70.								
<b>Ca (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)</b>								
<b>AP</b>	–	–	–	–	–	–	–	–
<b>EET</b>	–	–	–	–	–	–	–	–
<b>Médias</b>	40,53 d	40,74 d	50,77 cd	58,66 bc	72,53 ab	76,80 a	78,93 a	–
CV2 (%) = 14,65; DMS4 = 16,15.								
<b>Mg (mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>)</b>								
<b>AP</b>	–	–	–	–	–	–	–	15,10 A
<b>EET</b>	–	–	–	–	–	–	–	13,05 B
CV1 (%) = 7,88; DMS3 = 1,47.								
<b>S (mg dm<sup>-3</sup>)</b>								
<b>AP</b>	–	–	–	–	–	–	–	18,21 A
<b>EET</b>	–	–	–	–	–	–	–	43,74 B
CV1 (%) = 53,70; DMS3 = 22,08.								

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 177,7 kg ha<sup>-1</sup> de uréia; T2 = 88,85 kg ha<sup>-1</sup> de uréia + 9 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N; T3, T4, T5 e T6 referem-se à 17,5, 26, 35 e 44 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N, respectivamente. \*AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela; DMS3 = diferença mínima significativa da parcela; DMS4 = diferença mínima significativa da subparcela. \*\*Médias seguidas das mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Figura 13, observa-se o comportamento dos macronutrientes em função dos tratamentos adubados com o material orgânico. Todas os nutrientes responderam de maneira crescente aos níveis de adubação com LE, o P, K e S com ajuste linear, e o Ca ajustando-se à curva quadrática. As melhores médias estão relacionadas à maior dose de lodo, 250%. O acúmulo dos teores de P, K, Ca e S no solo após adubação com doses de composto de lodo de esgoto também foi observado por Junio et al. (2013).

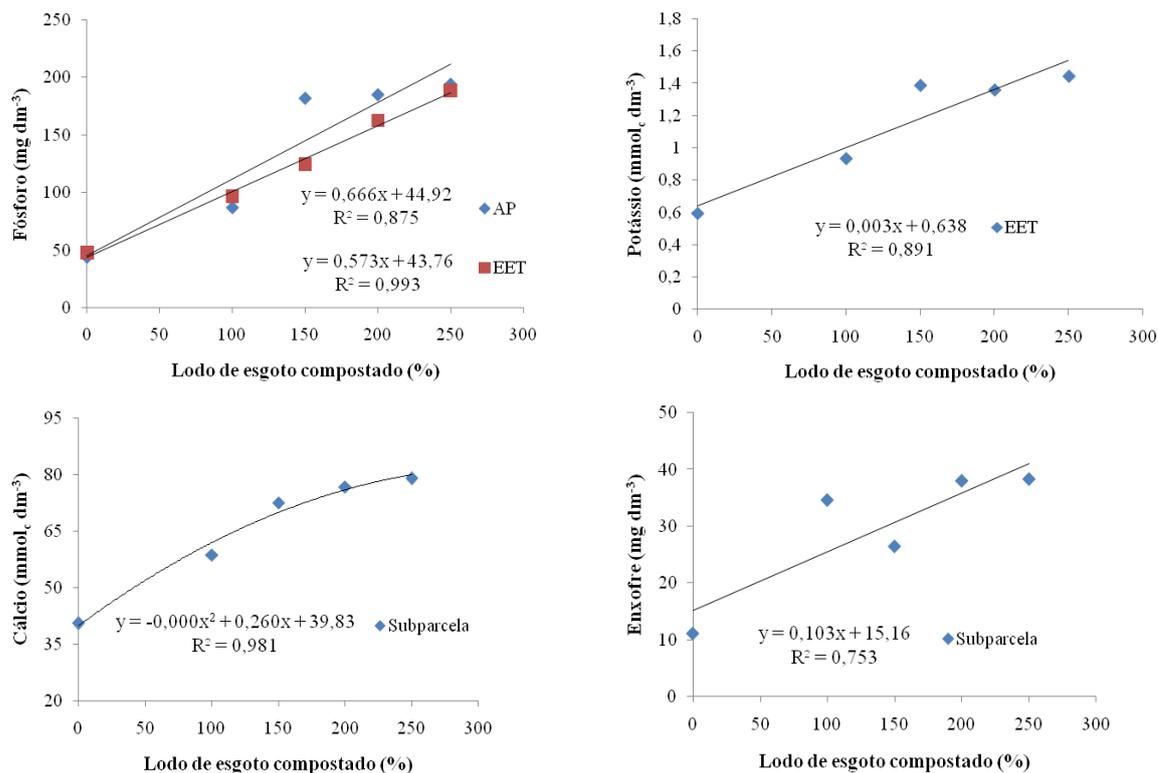


Figura 13. Concentração dos macronutrientes P, K, Ca, e S no solo em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente a 0 (zero), 17,5, 26, 35 e 44  $\text{t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto compostado como fonte de N.

Entre os resultados dos micronutrientes (Tabela 13), apenas a concentração Zn no solo apresentou diferença significativa entre os fatores estudados. Houve pouca variação entre as parcelas, sendo que apenas no tratamento com adubação 100% mineral, o uso de efluente de esgoto tratado se mostrou estatisticamente superior ao uso de água potável, com incremento de cerca de 287% sobre ele.

O EET e os níveis de lodo elevaram isoladamente as médias de B e Mn no solo. O Cu e o Fe responderam apenas às subparcelas, sendo observadas menores e maiores médias nos tratamentos T6 (250%) e T0 (testemunha).

Se analisados os tratamentos que receberam a mesma quantidade de N (T1, T2 e T3), nota-se que as concentrações de B, Fe e Mn foram superiores nos tratamentos que receberam 50 e 100% de lodo de esgoto, o que mostra a eficiência do lodo em relação à adubação 100% mineral, que por sua vez, se igualou significativamente ao tratamento testemunha, sem adubação nitrogenada.

Tabela 13. Resultados médios da concentração dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn no solo.

Tipos de Água	Tratamentos <sup>(1)</sup>							Médias
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	
<b>B (mg dm<sup>-3</sup>)</b>								
AP	-	-	-	-	-	-	-	0,20 A
EET	-	-	-	-	-	-	-	0,45 B
Médias	0,18 d	0,18 d	0,28 c	0,34 bc	0,42 ab	0,44 a	0,45 a	
CV1 (%) = 16,80; CV2 (%) = 14,13; DMS3 = 0,07; DMS4 = 0,08.								
<b>Cu (mg dm<sup>-3</sup>)</b>								
AP	-	-	-	-	-	-	-	-
EET	-	-	-	-	-	-	-	-
Médias	0,64 f	0,92 f	1,91 e	2,91 d	3,55 c	4,06 b	4,90 a	
CV2 (%) = 9,93; DMS4 = 0,49.								
<b>Fe (mg dm<sup>-3</sup>)</b>								
AP	-	-	-	-	-	-	-	-
EET	-	-	-	-	-	-	-	-
Médias	17,80 d	25,80 d	40,63 c	44,94 bc	51,22 bc	55,43 ab	63,21 a	
CV2 (%) = 13,64; DMS4 = 10,73.								
<b>Mn (mg dm<sup>-3</sup>)</b>								
AP	-	-	-	-	-	-	-	1,09 A
EET	-	-	-	-	-	-	-	1,53 B
Médias	0,39 f	0,77 ef	1,11 de	1,35 cd	1,54 bc	1,93 ab	2,08 a	
CV2 (%) = 24,09; DMS4 = 9,52.								
<b>Zn (mg dm<sup>-3</sup>)</b>								
AP	2,11 eA	1,90 cB	18,41 dA	24,30 cA	27,69 bA	28,91 abA	30,42 aA	-
EET	0,83 fA	7,36 eA	19,21 dA	25,44 cA	26,73 bcA	28,00 abA	29,47 aA	-
CV1 (%) = 1,86; CV2 (%) = 4,59; DMS1 = 1,49; DMS2 = 2,31.								

(1) T0 = sem adubação nitrogenada; T1 = 177,7 kg ha<sup>-1</sup> de uréia; T2 = 88,85 kg ha<sup>-1</sup> de uréia + 9 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N ; T3, T4, T5 e T6 referem-se à 17,5, 26, 35 e 44 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto compostado como fonte de N, respectivamente. \*AP = água potável; EET = efluente de esgoto tratado; CV1 = coeficiente de variação da parcela; CV2 = coeficiente de variação da subparcela; DMS1 = diferença mínima significativa da parcela dentro da subparcela; DMS2 = diferença mínima significativa da subparcela dentro da parcela; DMS3 = diferença mínima significativa da parcela; DMS4 = diferença mínima significativa da subparcela. \*\*Médias seguidas das mesmas letras, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na Figura 14 há a resposta das concentrações de B, Cu, Fe, Mn e Zn, relacionadas apenas às doses do material orgânico. Nota-se um comportamento com ajuste quadrático crescente para todos os micronutrientes relacionados, sendo que para o Zn, as curvas de sua concentração foram praticamente idênticas independente do tipo de água. As maiores médias de todos os micronutrientes puderam ser observadas no tratamento T6, com 250% de lodo de esgoto.

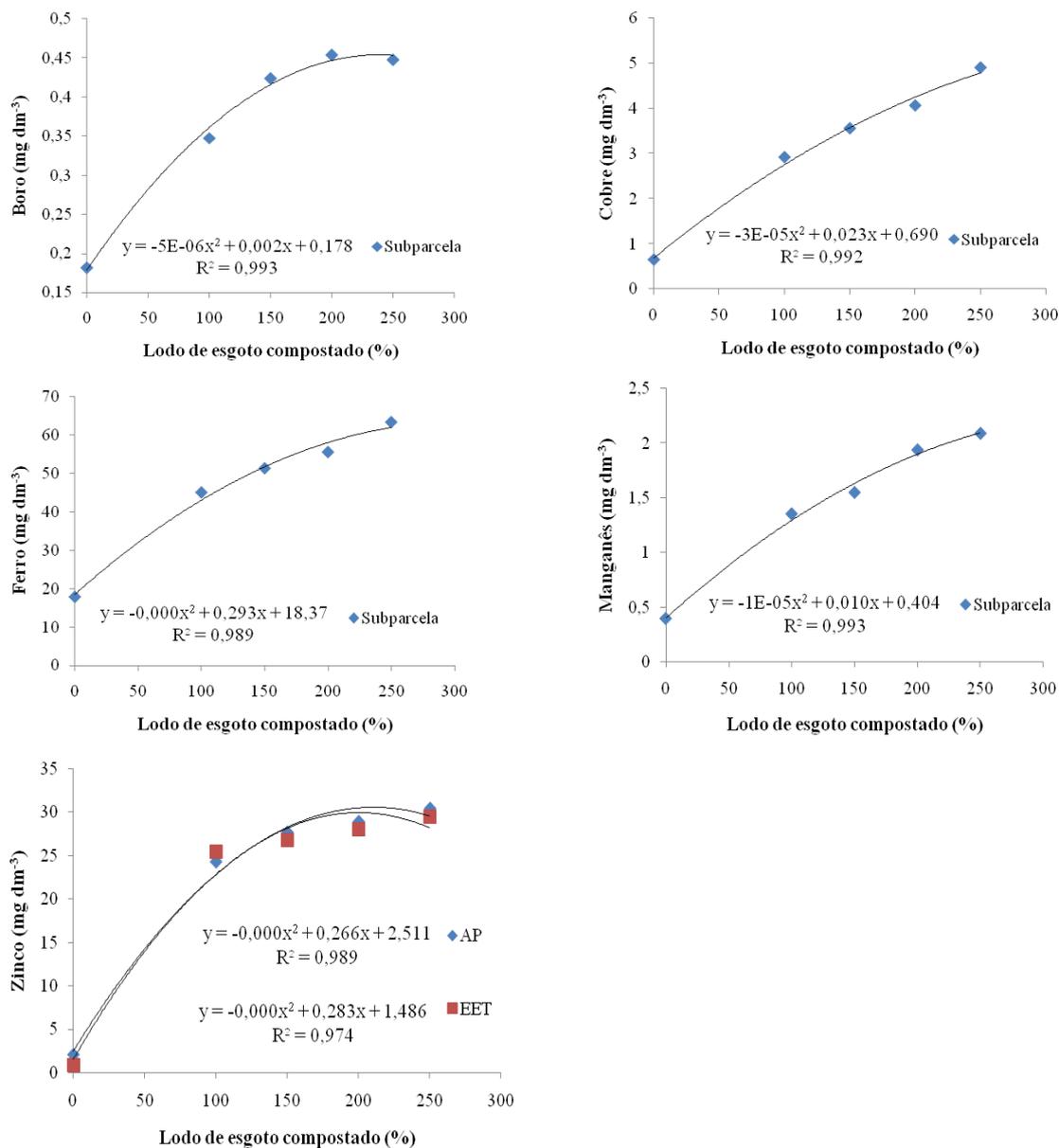


Figura 14. Concentração dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn no solo em função da aplicação de 0, 100, 150, 200 e 250% de lodo de esgoto compostado, equivalente a 0 (zero), 17,5, 26, 35 e 44  $\text{t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto compostado como fonte de N.

Souza (2015) alcançou resultados semelhantes ao analisar os efeitos de doses de biochar de lodo de esgoto sobre o solo e o rabanete. O autor notou que os níveis do composto orgânico aumentaram a concentração dos nutrientes no solo, com exceção do K, além de elevar a CTC e SB, observando, que conseqüentemente houve um aumento dos nutrientes na planta.

Já Albuquerque (2012), trabalhando com doses de até 30 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto no cultivo do girassol, não observou influência dos crescentes níveis de adubação no pH, SB, CTC, V%, H+Al, Al, nem nos teores de P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Mn, Fe e B no solo e nem na folha da planta. Mas notou um comportamento crescente com ajuste linear do teor de matéria orgânica da solo e de N na folha do girassol.

Após sucessivas aplicações de lodo de esgoto no solo, Bueno (2010) por sua vez concluiu que as alterações na qualidade do solo onde foi incorporado lodo foram semelhantes aos tratados com adubo químico sem lodo.

## **5 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Nesse estudo notou-se que a adição de nutrientes via efluente de esgoto tratado e lodo de esgoto compostado, favoreceu os componentes de desenvolvimento e de produção do cultivo do crambe.

O uso do lodo de esgoto, mesmo que estabilizado, proporcionou incremento significativo dos teores de nutrientes da planta, em especial os teores de Zn. As crescentes doses de lodo de esgoto influenciaram os parâmetros do solo, além de aumentar os teores de macro e micronutrientes no solo.

Dentro das condições de realização do ensaio com a cultura do crambe, foi possível observar que o lodo de esgoto compostado é uma boa alternativa de suprimento nutricional às plantas, como substituto à adubação nitrogenada convencional.

## 6 CONCLUSÕES

O uso de efluente de esgoto tratado proporcionou incremento dos componentes desenvolvimento e produção.

Para os componentes de desenvolvimento e produção não houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos que receberam apenas adubação nitrogenada via lodo de esgoto.

A substituição da adubação nitrogenada convencional pela adubação via lodo de esgoto compostado elevou o rendimento de grãos<sup>-planta</sup>.

O melhor rendimento de grãos foi proporcionado pela dose máxima de N aplicada via lodo de esgoto compostado.

As doses crescentes de lodo de esgoto no solo elevaram o pH, a CTC, SB, V%, os teores de matéria orgânica, P, K, Ca, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, e o uso de efluente de esgoto tratado os teores de Mg, S e Mn.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, H.C. **Produtividade e avaliação nutricional do girassol adubado com lodo de esgoto**. 2012. 71 f. Dissertação (Mestrado) - Agroecologia, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros. 2012.

ALVES, R. C. V. 2009. 89 f. **Comparação de diferentes sistemas de tratamento biológico de águas residuárias domésticas na produção de efluentes para reúso agrícola**. Dissertação (Mestrado) – Saneamento Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2009.

AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 26:241-248, 2002.

ANDRADE, C. A.; BOEIRA, R. C.; PIRES, A. M. M. Nitrogênio presente em lodo de esgoto e a resolução nº 374 do Conama. In: COSCIONE, A. R.; PIRES, A. M. M. **Uso agrícola de lodo de esgoto: Avaliação após a resolução nº 375 do Conama**. Botucatu: FEPAF, 407 p. 2010.

ANDREOLI, C. V. (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001, p. 165-186 (Projeto PROSAB).

ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERREIRA, A. C.; BONNET, B. R.; PEGORINI, E. S. A gestão dos biossólidos gerados em estações de tratamento de esgoto doméstico. **Engenharia e Construção**, Curitiba, setembro, n. 24, 1998.

ANGELAKIS, A. N; SNYDER, S. A. Wastewater Treatment and Reuse: Past, Present, and Future. **Water (Switzerland)**, vol. 7, n. 9, p. 4887-4895, 2015.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. do N. **Experimentação Agrícola**. 4 ed. Jaboticabal: Funep, 237 p. 2008.

BARCELAR, C. A.; ROCHA, A. A.; LIMA, M. R.; POHLMANN, M. Efeito residual do lodo de esgoto alcalinizado em atributos químicos e granulométricos de um cambissolo húmico. 24º Reunião Brasileira de Fertilidade do solo e Nutrição de Plantas, Santa Maria, out., 2000.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; NETO, C. O. A.; VON-SPERLING, M. Introdução. In: BASTOS, R. K. X. (Coord.). **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e psicultura**. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, p. 1-21, 2003 (Projeto PROSAB).

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D. Normas e critérios de qualidade para reúso da água. In: FLORÊNCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M.M. (Org.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, p. 17-62, 2006 (Projeto PROSAB).

BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, jun., 2008.

BERTON, R. S.; NOGUEIRA, T. A. R. Uso de lodo de esgoto na agricultura. In.: COSCIONE, A. R.; NOGUERA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. **Uso Agrícola de Lodo de Lodo de Esgoto: Avaliação após a Resolução Nº 357 do CONAMA**. Botucatu: FEPAF, p. 31-50, 2010.

BERTOZZO, F.; JANEGITZ, M. C.; LARA A. C.; SILVA T. M. N.; SILVA, I. P. F.; GRASSI FILHO, H. Composto orgânico como fonte de nitrogênio no desenvolvimento de plantas de crambe. II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – **Anais. SIGERA**. São Pedro, 2011.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. **Lodo de esgoto**: impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 349 p. 2006.

BOEIRA, R. C.; LIGO, M. A. V.; MAXIMILIANO, V. C. B.; MORENO, A. M. **Determinação da Fração de Mineralização de Compostos Nitrogenados de Lodos de Esgoto Aplicados em Solos Agrícolas**. Jaguariúna: Embrapa Meio ambiente, 5p., 2009 (Embrapa Meio Ambiente. Circular Técnica, 20).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução No 54, de 28 de Novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. **Diário Oficial da União, Brasília**. Disponível em <<http://www.cnrh-srh.gov.br/>> Acesso em: 10 mar. 2016.

BUENO, J. R. P. **Qualidade do solo após sucessivas aplicações de lodo de esgoto para o cultivo do milho**. 2010, 55 f. Dissertação (Mestrado) - Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agronômico, Campinas, 2010.

CARVALHO, W.A.; ESPÍNOLA, C.R.; PACCOLA, A.A. **Levantamento de solos da Fazenda Lageado - Estação Experimental "Presidente Médici"**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agronômicas, 1983. 95 p. (Boletim Técnico,1).

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Cultivo de cana-de-açúcar em argissolo tratado com lodo de esgoto: II - Fertilidade do solo e nutrição da planta. **Rev. Bras. Ciênc. Solo** [online]. Vol.32, n.2, p.653-662. , 2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832008000200020&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-06832008000200020&script=sci_abstract&tlng=pt)>. Acesso em: 22 nov. 2015.

COLNAGO, L. A. ; AZEREDO, R. B. V. ; MARCHI Netto, A. ; ANDRADE, F. D. ; VENÂNCIO, T. Rapid analyses of oil and fat content in agri-food products using continuous wave free precession time domain NMR. **Magnetic Resonance in Chemistry**, v. 49, p. 113-120, 2011.

Companhia de Saneamento de Goiás - SANEAGO. **Operação de Estação de Tratamento de Esgoto**. Manual de operações de Estação de Tratamento de Esgoto. Revisão 01, 122 p. 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução n.º 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 30 ago. 2006. Seção I, p. 141-146.

CORCORAN, E.; NELLEMAN, C.; BAKER, E.; BOS, R.; OSBORN, D.; SAVELLI, H. (eds.). **Sick water? The central role of wastewater management in sustainable development**. A Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme, UN-HABITAT, GRID-Arendal. 2010.

CUNHA, A. R., MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n.1, p. 1-11, 2009.

CUNHA, V. D. **Estudo para proposta de critérios de qualidade da água para reúso urbano**. 2008. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Hidráulica e Saneamento Ambiental, Escola Politécnica da Universidade São Paulo, São Paulo, 2008.

DECHEN A. R.; NACHTIGALL G. R. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: SBCS/UFV, Cap. 3, 1017 p. 2007.

DESAI, B. B.; KOTECHA, P.M.; SALUNKHE, D. K. **Seeds handbook: biology, production processing and storage**. 10 ed., 627 p. 1997.

DUARTE, A. C. M. B.; FURTADO, P. G.; CANUTO, K. M.; BRITO, E. S.; RODRIGUES, T. H. S.; RIBEIRO, P. R. V. **Isolamento do (5R)-5-vinil-oxazolidina-2-tiona (5-VOT) presente nas sementes de Crambe (*Crambe abyssinica*)**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 18 p.: il. 2015 – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Agroindústria Tropical).

DUARTE, A. M. S.; AIROLDIS, R. P. S.; FOLEGATTIS, M. V.; BOTREL, T. A.; SOARES, T. M. Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.12, n.3, p. 302–310, 2008.

DUKE, J. A. *Crambe abyssinica* Hochst. ex R. E. Fries. In: Handbook of Energy Crops. Unpublished report, Center for New crops and plant products, Purdue University. 1983. Disponível em: <[http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke\\_energy/Crambe\\_abyssinica.html](http://www.hort.purdue.edu/newcrop/duke_energy/Crambe_abyssinica.html)>. Acesso em: 5 de mar. 2016.

DYNIA, J. F.; BOEIRA, R. C. **Implicações do uso do lodo de esgoto como fertilizante em culturas anuais: nitrato no solo**. Jaguariúna: Embrapa Meio ambiente, 2p. 2000. (Embrapa Meio Ambiente. Comunicado Técnico, 4).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Produção e Informação, 2006.

FAGERIA, N. K. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, p.6-16, 1998.

FEITOSA, T.; GARRUTI, D. S.; LIMA, J. R.; MOTA, S.; BEZERRA, F. M. L.; SANTOS, A. B. Qualidade de frutos de melancia produzidos com reúso de água de esgoto doméstico tratado. **Rev. Tecnol.**, Fortaleza, v.30, n.1, p. 53-60. 2009.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. Manual prático para a compostagem de biossólidos. Rio de Janeiro, ABES-FINEP, 84 p. 1999.

FLORENCIO, L.; AISSE, M. M.; BASTOS, R. K. X.; PIVELI, R. P. Utilização de esgotos sanitários - Marcos conceituais e regulatórios. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (Coord.). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, p. 1-16, 2006, (Projeto PROSAB).

FONSECA, A. F. **Disponibilidade de nitrogênio, alterações nas características químicas do solo e do milho pela aplicação de efluentes de esgoto tratado**. 2001. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Solos e nutrição de plantas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

FRANCO, C. F. **Resíduo sólido orgânico urbano e níveis de irrigação no cultivo de crambe**. 2013. 59 f. Tese (Doutorado) - Produção Vegetal, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, Jaboticabal. 2013.

FUNDAÇÃO DO MATO GROSSO DO SUL. Culturas para biodiesel, **Crambe**, Maracajú, 2007. Disponível em: <[www.fundacaoms.com.br](http://www.fundacaoms.com.br)>. Acesso em: 15 mar 2016.

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**, 28:569-577, 2004.

GIORDANI, S.; SANTOS, D. C. Possibilidades de reúso dos efluentes domésticos gerados nas Bacias do Alto Iguaçu e Alto Ribeira - Região de Curitiba - Paraná. **Revista Técnica da Sanepar**, Curitiba, v.19, n.19, p. 06-14, jan./jun. 2003.

GODOY, L. C. A logística na destinação do lodo de esgoto. **Revista Científica On-line Tecnologia – Gestão – Humanismo**. V. 2, n. 1, nov., 2013.

GOMES, L. P.; COELHO, O. W.; COSTA, A. N.; MARQUES, M. O. Critérios de Seleção de Áreas para Reciclagem Agrícola de Lodos de Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs). In: ANDREOLI, C. V. (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RiMa, ABES, 2001, p. 165-186 (Projeto PROSAB).

HALLIDAY, D. J.; TRENKEL, M. E.; WICHMANN, W. **IFA world fertilizer use manual**. Paris: International Fertilizer Industry Association - IFIA, 632 p. 1992.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de Água no Brasil: agricultura, industria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Catarinense - IFC Reúso de água com enfoque na produção da agricultura familiar. Camboriú, 38 f.: il., 2012.

JASPER, S. P.; BIAGGIONI, M. A.; SILVA, P. R. A.; SEKI, A.; BUENO, O. C. Análise energética da cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) produzida em plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 395-403, 2010.

JASPER, S. P. **Cultura do crambe (*Crambe abyssinica* Hochst): Avaliação energética, de custo de produção e produtividade em sistema de plantio direto**. 2009. 103f. Tese (Doutorado) - Energia na Agricultura, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

JUNIO, G. R. Z.; SAMPAIO, R. A.; NASCIMENTO, A. L.; SANTOS, G. B.; SANTOS, L. D. T.; FERNANDES, L. A. Produtividade de milho adubado com composto de lodo de esgoto e fosfato natural de Gafsa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. vol.17 no.7, Campina Grande, Jul, 2013.

JÚNIOR, C. A. F. **Adaptabilidade da cultura do crambe no Estado de Mato Grosso**. 2013. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola, Universidade do Estado de Mato Grosso, Tangará da Serra, 2013.

KNIGHTS, E. G. Crambe: A North Dakota case study. A Report for the Rural Industries Research and Development Corporation, **RIRDC Publication** No.W02/005, Kingston, 2002. 25p. Disponível em: <<http://www.rirdc.gov.au>>. Acesso em: 09 mar. 2016.

KUMMER, A. C. B. **Efeito de efluente de esgoto tratado e lodo de esgoto compostado no solo e nas culturas de trigo e soja**. 2013. 178 f. Tese (Doutorado) - Irrigação e Drenagem, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

LANARV - Laboratório Nacional de Referência Vegetal. Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes: métodos oficiais do Laboratório Nacional de Referência Vegetal. Brasília: LANARV, 1988. 104 p.

LESSMAN, K. J.; ANDERSON, W. P. Crambe. p. 223-246. In: PRYDE, E.H., PRINCEN, L.H., MUKHERJEE, K. D. (Eds.). **New sources of fats and oils**. AOCS Monograph #9. American Oil Chemists' Society. Champaign, IL. 1981.

LESSMAN, K. J. Crambe: A new industrial crop in limbo. p. 217-222. In: JANICK, J.; SIMON, J.E. (Eds.). **Advances in new crops**. Timber Press, Portland, OR. 1990.

LIMA, R. A. S. **Utilização de resíduos de tratamento de esgoto como suprimento hídrico e nutricional na cultura do girassol**. 2015. 59 f. Dissertação (Mestrado) - Irrigação e Drenagem, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H.; BULL, L. T.; MOREIRA, L. L. Q. Manejo do lodo de esgoto e nitrogênio mineral na fertilidade do solo ao longo do tempo. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 2705-2726, nov/dez, 2013.

LOBO, T. F. **Manejo de lodo de esgoto em rotações de cultura no sistema de plantio direto**. 2010. 198 f. Tese (Doutorado) - Agricultura, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

LOBO, T. F. **Níveis de lodo de esgoto no desenvolvimento, nutrição e produtividade da cultura do girassol**. 2006. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Agricultura, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. G. Fertilidade do Solo e Produtividade agrícola. In.: NOVAIS, R. F., ALVAREZ V., V. H., BARROS, N.F., FONTES, R.L.F., CANTARUTTI, R.B. & NEVES, J.C.L. (Eds.) **Fertilidade do Solo**. Viçosa, SBCS/UFV, 2007, Cap. 1, 1017 p.

LUDWIG, R.; PUTTI, F. F.; BRITO, R. R. Revisão sistemática sobre o uso de efluentes na agricultura. VIII Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 8, n. 6, 2012, p. 167-176.

MACEDO, F. G.; MELO, W. J.; MERLINO, L. C. S.; GUEDES, A. C. T. P.; MELO, G. M. P.; CAMACHO, M. A. Lodo de esgoto como fonte de nitrogênio: concentração no perfil do solo e em plantas de milho. **Eng. Sanitária e Ambiental**, v.17, n.3, p. 263-268, jul/set 2012.

MAIA, F. C. V. **Alterações de atributos químicos e físicos de um latossolo vermelho-amarelo em função de doses de lodo de esgoto**. 2012. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Produção Vegetal, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2012.

MAIA, F. G. **Efeito da adubação com lodo de esgoto nas características químicas do solo, desenvolvimento vegetativo, produtividade e qualidade de frutos de abacaxizeiro cv**. 2013. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Biologia Vegetal, Centro de Ciências Humanas e Naturais Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MALTA, T. S. **Aplicação de lodos de Estação de Tratamento de Esgotos na agricultura: Estudo de caso do Município de Rio das Ostras - RJ.** 2001. 67 p. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Sanitária e Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Escola Nacional de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 2001.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto. Jaguariúna:** Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 109-141.

MEURER, E. J. Fatores que influenciam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. In: NOVAIS R. F; ALVAREZ V. V. H.; BARROS N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds). **Fertilidade do Solo.** Viçosa: SBCS/UFV, 2007, Cap. 3, 1017 p.

OKUMURA R. S.; MARIANO, D. C.; ZACCHEO, P. V. C. Uso de fertilizante nitrogenado na cultura do milho: uma revisão. **Pesquisa Aplicada Agrotecnologia**, v. 4, n. 2, p. 26-244, 2011.

OLIVEIRA, O. C. P.; GLOAGUEN, T. V.; GONÇALVES, R. A. B.; SANTOS, D. L. Produção de moranga irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, v.17, n.8, p. 861–867, 2013.

OMS. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture. Genebra. 1989.

OPLINGER, E. S.; OELKE, E. A.; KAMINSKI, A. R.; PUTNAM, D. H.; TEYNOR, T. M.; DOLL, J. D.; KELLING, K. A.; DURGAN, B. R.; NOETZEL, D.M. Crambe: alternative field crops manual. University of Wisconsin and University of Minnesota. St. Paul, MN 55108. July, 1991. Disponível em: <https://www.hort.purdue.edu/newcrop/afcm/crambe.html>. Acesso em 15 de março de 2016.

Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura - UNESCO. Fatos e dados: Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos

hídricos 4: **O manejo dos recursos hídricos em condições de incerteza e risco**. United Nations World Water Assesment Programme, 2012. Disponível em: <[http://www.icmbio.gov.br/educacaoambiental/images/stories/biblioteca/rio\\_20/wwdr4-fatos-e-dados.pdf](http://www.icmbio.gov.br/educacaoambiental/images/stories/biblioteca/rio_20/wwdr4-fatos-e-dados.pdf)>. Acesso em: 19 out. 2014.

PIRES, A. M. M.; ANDRADE, C. A. **Recomendação de dose de lodo de esgoto: a questão do nitrogênio**. Jaguariúna: Embrapa Meio ambiente, 8 p. 2014 (Embrapa Meio Ambiente. Comunicado Técnico, 52).

PIRES, A. M. M.; MATTIAZZO, M. E. **Avaliação da Viabilidade do Uso de Resíduos na Agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio ambiente, 9 p. 2008 (Embrapa Meio Ambiente. Circular Técnica, 19).

PITOL, C.; BROCH, D. L.; ROSCOE, R. **Tecnologia e produção: crambe**. Maracajú: FUNDAÇÃO MS, 60 p. 2010.

PITOL, C. **Crambe: uma nova opção para produção de biodiesel**. Maracajú: Fundação MS, 2008.

QUINTANA, N. R. G.; CARMO, M. S.; MELO, W. J. Viabilidade econômica do uso de lodo de esgoto na agricultura, Estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, SP, v.39, n.6, jun. 2009.

RAIJ, B. Van et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas Instituto Agrônômico, 285p. 2001.

REI, E. F.; MAIA, L. R.; ARAUJO, G. L.; GARCIA, G. O.; PASSO, R. R. Alterações no pH, matéria orgânica e CTC efetiva do solo, mediante a aplicação elevadas doses de lodo de esgoto em diferentes intervalos de irrigação. **Revista Verde**, Mossoró, v. 4, n. 2, p. 31-38, 2009.

ROSOLEM, C. A.; STEINER, F. Adubação potássica para o crambe. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 1, p. 140-146, 2014.

SELL, R. S; WATT, D. L; JOHNSON, R. G. Crambe as a specialty crop in North Dakota. **Agricultural Economics**. Report N° 286. 1992.

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

SNSA - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (Org.). Transversal: lodo gerado durante o tratamento de água e esgoto: guia do profissional em treinamento: nível 2 / Ministério das Cidades – Brasília : Ministério das Cidades, 90 p. 2008.

SNYDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversion. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering of ASCE**, New York, v. 118, n. 6, 1992, p. 977-980.

SOUZA, A. A. T. C. **Biochar de lodo de esgoto: efeitos no solo e na planta no cultivo de rabanete**. 2015. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Agronomia, Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília. 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. [tradução: Armando Molina Divan Junior ... et al.]; revisão técnica: Paulo Luiz de Oliveira. - 5. ed. - Porto Alegre: Artmed, 2013.

VIANA, O. H.; SANTOS, R. F.; SECCO, D.; SOUZA, S. N. M.; CATTANÊO, A. J. Efeito de diferentes doses de adubação de base no desenvolvimento e produtividade de grãos e óleo na cultura do crambe. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.1, n.1, p. 33-41, 2012.

WEICONG, Q.; TINNENBROEK-CAPEL, I. E. M.; SCHAART, J. G.; BANGQUAN, H.; JIHUA, C.; VISSER, R. G. F.; VAN LOO, E. N.; KRENS, F. A. **BMC Plant Biology**, vol. 14, n. 1, 235 p. 2014.

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. Cultura do milho: a importância da tecnologia. **Informações Agronômicas**, p. 5, n. 91, set., 2000.

ZANTA, V. M.; MARINHO, M. J. M. R.; LANGE, L. C.; PESSIN, N. Resíduos Sólidos, Saúde e Meio Ambiente: Impactos Associados aos Lixiviados de Aterro Sanitário. In.: JÚNIOR, A. B. C (Coord.). **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água**: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Rio de Janeiro: ABES, 2006, p. 1-16 (Projeto PROSAB).