

**MARCIO HENRIQUE LANZA**

**UTILIZAÇÃO DE LODO DE ESGOTO COMPOSTADO E IRRIGAÇÃO COM ÁGUA  
RESIDUÁRIA NA SUBSTITUIÇÃO DE ADUBOS QUÍMICOS E ÁGUA POTÁVEL  
EM LARANJEIRA 'VALÊNCIA'**

**Botucatu - SP**

**2018**



**MARCIO HENRIQUE LANZA**

**UTILIZAÇÃO DE LODO DE ESGOTO COMPOSTADO E IRRIGAÇÃO COM ÁGUA  
RESIDUÁRIA NA SUBSTITUIÇÃO DE ADUBOS QUÍMICOS E ÁGUA POTÁVEL  
EM LARANJEIRA 'VALÊNCIA'**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientador: Prof. Dr. Hélio Grassi Filho

**Botucatu –SP**

**2018**

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

Lanza, Marcio Henrique, 1988-  
L297u Utilização de lodo de esgoto compostado e irrigação com água residuária na substituição de adubos químicos e água potável em laranjeira 'Valência' / Marcio Henrique Lanza. - Botucatu: [s.n.], 2018  
72 p.: fots. color., grafs. color., tabs.

Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018  
Orientador: Hélio Grassi Filho  
Inclui bibliografia

1. Laranja - Irrigação. 2. Água - Reutilização. 3. Lodo de esgoto. I. Grassi Filho, Hélio. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA TESE: UTILIZAÇÃO DE LODO DE ESGOTO COMPOSTADO E IRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA NA SUBSTITUIÇÃO DE ADUBOS QUÍMICOS E ÁGUA POTÁVEL EM LARANJEIRA "VALÊNCIA"

**AUTOR: MÁRCIO HENRIQUE LANZA**  
**ORIENTADOR: HÉLIO GRASSI FILHO**

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



Prof. Dr. HÉLIO GRASSI FILHO  
Depto de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP



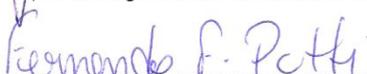
Profa. Dra. SARITA LEONEL  
Depto de Horticultura / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Prof. Dr. RODRIGO DOMINGUES BARBOSA  
Depto de Agronomia / EDUVALE - ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL DO VALE DA JURUMIRIM



Prof. Dr. RAIMUNDO NONATO FARIAS MONTEIRO  
Depto. de Engenharia / Faculdade de Tecnologia Paulista



Prof. Dr. FERNANDO FERRARI PUTTI  
Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia de Tupã

Botucatu, 31 de agosto de 2018



*O que as suas mãos tiverem que fazer, que o façam com toda a sua força,  
pois na sepultura, para onde você vai, não há atividade nem planejamento,*

*não há conhecimento nem sabedoria.*

*Eclesiastes 9:10*



## **AGRADECIMENTOS**

Nessa finalização de mais um etapa da minha vida estou muito grato à DEUS em primeiro lugar pela vida e por me abençoar em todos aspectos do meu cotidiano me mostrando o caminho que seguir através de pessoas realmente iluminadas.

À minha família pelo apoio e incentivo, que através dos meus pais Ivair Natal Lanza e Clarice Antônia Cruz Lanza que sempre valorizando o ensino, estando sempre ao meu lado com um amor incondicional e ao meu irmão Michel Augusto Lanza pela grande amizade e cumplicidade.

A Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” pela oportunidade da realização do curso de mestrado e pela contribuição na minha formação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida. Ao Prof. Dr. Hélio Grassi Filho pela orientação, pelo grande companheirismo, dedicação, e muita paciência ao compartilhar seus conhecimentos e me ajudar na construção de meu caráter.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Irrigação e Drenagem, especialmente ao Prof. Dr. Rodrigo Máximo S. Román pelos ensinamentos e confiança ao meu trabalho demonstrado.

A Faculdade EDUVALE Avaré por iniciar minha formação profissional, e também por me dar oportunidade de lecionar, experiência unica.

Aos membros da banca Prof<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Sarita Leonel, Prof<sup>o</sup> Dr. Rodrigo Domingues Barbosa, Prof<sup>o</sup> Dr. Fernando Ferrari Putti, Prof<sup>o</sup> Dr. Raimundo Nonato Farias Monteiro por aceitarem o convite e pelas valorosas contribuições e sugestões nesse trabalho.

A minha namorada Marineia Silviene Romano, pelo carinho, amizade, compreensão, ajuda e por estar sempre ao meu lado.

Ao Pedrinho por toda ajuda, apoio e comprometimento durante a condução do experimento. Sua ajuda foi fundamental e de grande preciosidade.

Aos funcionários do Departamento de Ciência do Solo e Recursos Ambientais, em especial o José Carlos, Antônio, Silvinha, Neia, Drika, Adenir, Dorival, Emerson e Daniel.

A todos os funcionários da biblioteca e da Seção de Pós-Graduação pela atenção e pelo atendimento de altíssima qualidade. E a todos que, de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho.



## RESUMO

A citricultura brasileira já conseguiu uma boa eficiência em sua cadeia produtiva, desde mudas e viveiros certificados, plantio e cultivo da laranja, produção do suco de laranja até a distribuição internacional. Embora a maioria dos citros sejam relatados como plantas capazes de suportar longos períodos secos quando adultos, um apropriado manejo da água é necessário para se obter produções comercialmente aceitáveis e de alta qualidade de frutos. Com a irrigação localizada é possível de maneira eficiente realizar a aplicação de água e nutrientes, de maneira a fracionar de acordo com a fase fenológica e demanda da cultura. O reaproveitamento da água é uma alternativa utilizada em diversos países para economizar água potável e incrementar ou substituir parcialmente a fertirrigação, pois na água de reuso estão presente macro e micronutrientes essenciais para planta. Juntamente com a água de reuso, outros excedentes de impurezas são reaproveitados para a agricultura, como o lodo de esgoto compostado, o qual evita que seja indevidamente despejado no meio ambiente e assim, aproveitado como fonte de adubação para cultura da laranja. Objetivou-se com este trabalho avaliar se os efeitos nutricionais, no solo e nas plantas, provenientes da adubação com resíduos orgânicos (lodo de esgoto compostado e água residuária), viabilizam a substituição da fonte de nutrientes utilizada. O trabalho foi realizado em Botucatu-SP, na área experimental do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP/Botucatu. Conclui-se que o uso de lodo de esgoto compostado na substituição da adubação química pode suprir a necessidade nutricional da cultura e a irrigação com água residuária suplementa essa nutrição, promovendo reciclagem dos resíduos e reduzindo custos.

**Palavras-chave:** laranja, água de reuso, lodo de esgoto, irrigação.



## ABSTRACT

The Brazilian citrus industry has already achieved a good efficiency in its productive chain, from seedlings and certified nurseries, planting and cultivation of orange, production of orange juice to international distribution. Although most citrus are reported as plants capable of withstanding long dry periods as adults, proper water management is necessary to obtain commercially acceptable and high quality fruit yields. With the localized irrigation it is possible to efficiently perform the application of water and nutrients, in order to fractionate according to the phenological phase and crop demand. The reuse of water is an alternative used in several countries to save potable water and to increase or partially replace fertirrigation, because in the reuse water are present macro and micronutrients essential for plant. Together with reuse water, other impurities are reused for agriculture, such as composted sewage sludge, which prevents it from being improperly dumped into the environment and thus used as a source of fertilizer for growing orange. The objective of this study was to evaluate if the nutritional effects on the soil and the plants, from fertilization with organic residues (composted sewage sludge and wastewater), enable the substitution of the nutrient source used. The work was carried out in Botucatu-SP, in the experimental area of the Department of Soils and Environmental Resources, Faculty of Agronomic Sciences - UNESP / Botucatu. It is concluded that the use of composted sewage sludge in the substitution of chemical fertilization can supply the nutritional need of the crop and irrigation with wastewater supplements this nutrient, promoting waste recycling and reducing costs.

**Keywords:**orange, reuse water, sewage sludge, irrigation.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Precipitação em Botucatu de janeiro de 2014 a janeiro de 2017.....	30
Figura 2. Temperatura média do ar em Botucatu de janeiro de 2014 a janeiro de 2017.....	31
Figura 3. a – Vista geral do experimento. b – Instalação dos gotejadores.....	32
Figura 4. Evapotranspiração de referência de janeiro de 2014 a janeiro de 2017.....	34
Figura 5. Atributos químicos médios do pH do solo em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).....	48
Figura 6. Atributos químicos médios do M.O do solo em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).....	48
Figura 7. Atributos químicos médios do P do solo em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).....	49
Figura 8. Atributos químicos médios do K do solo em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).....	50
Figura 9. Atributos químicos médios do Ca do solo em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).....	51
Figura 10. Atributos químicos médios do Mg do solo em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).....	51
Figura 11. Atributos químicos médios da soma de bases (SB) e da CTC do solo em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).....	52

<b>Figura 12. Média dos teores sólidos solúveis (S.S) dos frutos da laranja 'Valência' em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 13. Média de acidez titulável (Ac. T) dos frutos da laranja 'Valência' em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 14. Média de Ratio dos frutos da laranja 'Valência' em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 15. Média da vitamina C (Vit. C.) dos frutos da laranja 'Valência' em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 16. Média do pH dos frutos da laranja 'Valência' em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).....</b>	<b>59</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise química inicial do solo da área experimental por tratamento no ano de 2014 na profundidade de 0-20cm e 20-40cm.....	29
Tabela 2. Descrição dos tratamentos.....	36
Tabela 3. Composição química do material orgânico (LEC) utilizado no experimento.....	36
Tabela 4. Análise química inicial do solo da área experimental por tratamento no ano de 2014, na profundidade de 0-20cm.....	38
Tabela 5. Resultados médios da análise química do solo da área experimental por tratamento <i>no ano de 2015, na profundidade de 0-20cm</i> .....	39
Tabela 6. Resumo da análise de variância do tecido foliar para a cultura da laranja submetida a irrigação com água residuária e potável e diferentes doses de lodo de esgoto compostado.....	44
Tabela 7. Comparação das médias dos macronutrientes do tecido vegetal irrigados com água residuária e potável.....	44
Tabela 8. Resumo da análise de variância do tecido foliar de micronutrientes para a cultura da laranja submetida a irrigação com água residuária e potável e diferentes doses de lodo de esgoto compostado.....	46
Tabela 9. Comparação das médias dos micronutrientes do tecido vegetal irrigados com água residuária e potável.....	47
Figura 10. Atributos químicos médios do Mg do solo em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).....	53
Tabela 11. Características físicas do peso unitário (g) e número de sementes de frutos de laranja Valência submetidas a doses de lodo de esgoto e irrigadas com AP e AR, Botucatu - SP, 2015.....	54
Tabela 12. Médias dos diâmetros longitudinais (DL) e transversais (DT) e relação DL/DT] de frutos de laranja-Valência, Botucatu - SP, 2015.....	55
Tabela 13. Valores médios da produção em kg ha <sup>-1</sup> , quantidade de frutos e volume de copa em m <sup>3</sup> , da laranjeira 'Valencia', Botucatu - SP, 2015.....	60
Tabela 14. Resumo da análise de variância para a cultura da laranja submetida a irrigação com água residuária e potável e diferentes doses de lodo de esgoto.....	61

<b>Tabela 15. Comparação das médias da altura e diâmetro de copa, altura e diâmetro de tronco e número de frutos irrigados com água residuária e potável.....</b>	<b>61</b>
---	-----------

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1	A Importância da citricultura	22
2.2	Irrigação na Laranjeira	23
2.3	Água de Reuso	24
2.4	Lodo de esgoto	26
3	MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1	Caracterização da área experimental	29
3.2	Caracterização do solo e análise química inicial	29
3.3	Dados meteorológicos	30
3.4	Descrições da copa e porta-enxerto	31
3.5	Sistema e manejo da Irrigação	32
3.6	Delineamento experimental e tratamentos	35
3.7	Instalação e condução do experimento	37
3.8	Parâmetros avaliados nas plantas	40
3.8.1	Parâmetros biométricos	40
3.8.1.1	Diâmetro do caule	40
3.8.1.2	Altura da planta	40
3.8.1.3	Volume da copa	40
3.8.2	Concentração de nutrientes na lâmina foliar	41
3.8.3	Parâmetros de produção	41
3.8.4	Teores e acúmulo de metais pesados nas plantas	41
3.9	Características avaliadas no solo	42
3.9.1	Análise química do solo	42

3.9.2	Teores de metais pesados	42
3.10	Análise estatística	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1	Análise do Tecido Foliar	44
4.2	Atributos químicos do solo	47
4.3	Características físicas químicas dos frutos	53
4.4	Produção de frutos	60
4.5	Parâmetros biométricos	61
4.6	Teores de metais pesado	61
5	CONCLUSÃO	63
	REFERÊNCIAS	65

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população mundial demanda quantidades de água de boa qualidade a uma taxa superior à de renovação do ciclo biológico; em contrapartida, a produção de resíduos gerados pelos setores domésticos e industriais acompanha este aumento, sem ter-se criado um destino viável a estes resíduos, resultando em preocupação entre os órgãos competentes de todo país.

A necessidade de se utilizar maior quantidade possível de solos agricultáveis vem impulsionando o uso da irrigação não só para complementar as necessidades hídricas das regiões úmidas, como para tornar produtivas as regiões áridas e semi-áridas do globo, que consistem cerca de 55% das áreas continentais.

No Brasil, cerca de 69% do total de água consumida destina-se ao setor agrícola para produção de alimentos. Este consumo elevado de água no setor agrícola quando comparado aos setores urbano e industrial pode ser explicado, entre outros motivos, pela baixa eficiência dos sistemas de irrigação, em média de apenas 37%, o que acarreta em grandes perdas tanto do ponto de vista econômico como ambiental. Levando-se em consideração a escassez hídrica enfrentada com o passar dos anos pelo mau uso dos recursos naturais, deve-se inicialmente buscar melhorar os índices de eficiência no uso da água nas operações de irrigação, bem como buscar alternativas de uso de águas residuárias no sistema agrícola, dentre elas, o uso da água residuária de estações de tratamento de esgoto.

A laranja é uma planta originária do sudeste asiático, que encontrou no Brasil condições climáticas ótimas para o seu desenvolvimento, possibilitando a produção de frutos com baixo custo, quando comparado a outros países. Ocupa posição de destaque no cenário nacional de produção de frutas, na liderança das estatísticas, e por isso se torna necessária a busca de novas tecnologias para o desenvolvimento da cultura em níveis de produção e qualidade satisfatórias do ponto de vista agrônomo-econômico-ambiental.

Com o passar dos anos, as mudanças climáticas se tornam evidentes, e com isso, algumas mudanças estão ocorrendo no cultivo desta fruteira. Invernos cada vez mais secos, veranicos presentes com grande intensidade e longevidade na estação chuvosa, bem como algumas doenças severas advindas de práticas de cultivo inadequadas estão dificultando o seu cultivo e onerando a cadeia produtiva, dificultando a competição do produto brasileiro no mercado externo.

A irrigação na citricultura torna-se cada vez mais necessária, não só para obtenção de produções economicamente viáveis, como também para produção de uma fruta de qualidade e/ou produções na entressafra visando o abastecimento da indústria citrícola brasileira. Assim, esta prática visa o fornecimento artificial de água às culturas, onde e quando as dotações pluviométricas, ou qualquer outra forma natural de abastecimento não são suficientes para suprir as necessidades hídricas das plantas.

Além da disponibilidade hídrica, a laranjeira requer uma quantidade elevada de nutrientes no solo, visto que a extração destes por parte da cultura é bastante elevada. Em especial, Ca, N e K são os elementos extraídos em maior quantidade, respectivamente, devendo-se ter atenção especial à eles para que a planta consiga expressar todo seu potencial produtivo.

Uma forma de disponibilizar nutrientes às plantas é a adição de matéria orgânica ao solo. Presente em pequenas quantidades na maioria dos solos brasileiros, atua de maneira bastante favorável ao sistema de cultivo, já que além de fornecer nutrientes de maneira contínua ao longo do ano, melhora as condições físicas do solo como porosidade, aeração, estruturação, permeabilidade e principalmente, a capacidade de retenção de água deste solo, favorecendo o crescimento do sistema radicular, bem como o armazenamento de água no solo, diminuindo assim os riscos de estresse hídrico da planta. Esta característica é importante do ponto de vista ambiental e econômico, já que armazenando uma maior quantidade de água no solo na região das raízes, menores serão as lâminas aplicadas em função do aumento da eficiência de utilização da água por meio da redução das perdas por percolação.

É neste contexto que a utilização de lodo de esgoto e água residuária na citricultura ganha importância, já que são materiais ricos em matéria orgânica e nutrientes, fonte de grandes preocupações dos órgãos competentes do mundo já que ainda não se criou uma destinação técnica, econômica e ambiental a estes materiais. A citricultura, em especial a cultura da laranja, está presente em 20720 propriedades do Estado de São Paulo, ocupando uma área total de 741.316 ha. Sendo assim, apresenta uma excelente possibilidade de absorver a crescente produção destes resíduos gerados pelos centros urbanos.

O lodo de esgoto é um resíduo proveniente do tratamento dos esgotos sanitários, que apresenta uma alta quantidade de matéria orgânica, presença de quantidades razoáveis da maioria dos nutrientes essenciais às plantas, exceção feita

ao K, mas que apresenta alguns problemas, como a presença de metais pesados e organismos patogênicos, além de compostos persistentes no meio ambiente. Apesar das limitações, desde que obedecidos os critérios estabelecidos pelas entidades oficiais, estes problemas podem ser seguramente superados. Já a água residuária é a porção líquida restante da retirada do lodo de esgoto, representando a maior porcentagem do resíduo final do tratamento do esgoto.

Assim, objetivou-se com este trabalho avaliar se os efeitos nutricionais, no solo e nas plantas, provenientes da adubação com resíduos orgânicos (lodo de esgoto compostado e água residuária), viabilizam a substituição da fonte de nutrientes utilizada. Visando avaliar: a distribuição dos metais pesados ao longo do perfil do solo; o acúmulo de metais pesados nas diversas partes das plantas, como raízes, caules, ramos, folhas e frutos (casca, bagaço, suco e sementes); as características físicas deste solo adubado com lodo de esgoto compostado e nos parâmetros vegetativos das laranjeiras (altura de plantas, diâmetro de caule e volume de copa), bem como nas características químicas (pH, M.O., P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn, CTC e V%) dos solos e nos teores nutricionais (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) das plantas.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A Importância da citricultura

As plantas cítricas são originárias de regiões úmidas tropicais e sub-tropicais do continente asiático, e seu cultivo situado majoritariamente em regiões sub-tropicais, entre 20° e 40° de latitudes dos dois hemisférios (Webber, 1967; Rodriguez, 1991).

Com 34% da produção mundial de laranjeiras-doces e 75% da produção global de suco concentrado congelado de laranja, o sistema agroindustrial cítrico nacional movimenta aproximadamente R\$ 6,5 bilhões anuais, gerando em torno de 400 mil empregos diretos e indiretos (NEVES; TROMBIN, 2017). Assim, o Brasil ostenta também a posição de maior produtor, bem como maior exportador mundial de suco concentrado e congelado de laranja. Dispondo de aproximadamente 270 milhões de plantas distribuídas principalmente entre os Estados de São e Minas Gerais em todos os estados do País. Com área superior a 900 mil ha (ANUÁRIO..., 2017), sendo a maioria, cerca de 800 mil ha, ocupada por laranjeiras-doces (ANUÁRIO..., 2017; NEVES; TROMBIN, 2017).

O Estado de São Paulo é o maior produtor de citros do Brasil, com cerca de 80% da produção, que, no ano agrícola 2016/2017, foi de 414 milhões de caixas (40,8 kg), de acordo com Anuário da citricultura (2017). Em termos de área, a cultura da laranja ocupa uma área total de aproximadamente 800.000 ha, distribuídos em mais de 12 mil propriedades, de acordo com dados do Fundecitrus. A região de Botucatu vem se tornando um importante pólo de produção de laranja, visto a migração ocorrida dos pomares cítricos das regiões norte e noroeste do estado para as regiões sudoeste e centro-oeste, onde localiza-se Botucatu, impulsionado principalmente pela incidência de doenças nas regiões ao norte. Atualmente o município de Botucatu possui cerca de 16 mil ha ocupados com laranja, configurando-se como o oitavo maior município produtor do Estado, ultrapassando municípios tradicionais no cultivo desta fruta como Araraquara e Matão (LUPA, 2016).

Segundo Fernandes & Bassanezi (2003), as variedades de laranja doce (*Citrus sinensis* L. Osbeck) mais utilizadas para fins industriais são 'Pêra', 'Valência', 'Natal' e 'Hamlin', que representam 85% das laranjeiras cultivadas, com 193,2

milhões de plantas. A variedade 'Pêra', com 82 milhões de árvores, representa 36%. Esta variedade é predominante no país, e chega a ser quase exclusiva nos Estados da Bahia, Sergipe, Paraná e Minas Gerais.

Atualmente a citricultura brasileira está reagindo as dificuldades impostas por longo período de preços baixos, pagos pelas indústrias processadoras, adicionados aos altos estoques de sucos, interferências climáticas e elevados índices de doenças nos pomares resultaram na redução da área plantada e pouco investimento em tecnologia (CITRUSB, 2016).

## 2.2 Irrigação na Laranjeira

De acordo com Cruz (2003), a citricultura, em sua grande maioria é conduzida em condições de sequeiro, sendo a deficiência hídrica um dos fatores mais limitantes à produção. O déficit hídrico é produzido quando a absorção de água pelas raízes é insuficiente para atender, de forma completa, a demanda transpiratória da planta. O déficit hídrico, quando ocorrido durante a fase de florescimento e início da frutificação ocasionam queda de flores e frutos reduzindo a produtividade das plantas cítricas (BERTONHA et al., 2004).

Dessa maneira, o uso da irrigação em pomares de citros pode suprir a deficiência hídrica e assim proporcionar inúmeros benefícios. Autores apontam que a irrigação possibilita o aumento de produtividade, melhor desenvolvimento das plantas, maior pegamento de flores e frutos, redução da queda de "chumbinhos", melhor qualidade dos frutos e maior quantidade de óleo na casca (Grizzoto, 2012; PIRES et al., 2005).

Alves Júnior et al. (2004) observaram diferença significativa na produção de frutos em pomar irrigado por gotejamento de lima ácida Tahiti enxertado em *citrumelo Swingle*, aos 31 meses após o plantio. Para as condições em que o experimento foi desenvolvido, a produção do tratamento não irrigado correspondeu apenas a 34% do irrigado.

Os métodos de irrigação (superfície, aspersão e microirrigação) têm sido amplamente usados nas culturas cítricas. Porém a determinação e escolha do método mais adequado, se faz necessário analisar alguns fatores como eficiência, o

que pode representar economia de água e energia sem redução na produtividade da cultura (COELHO et al., 2000). Assim sendo, os sistemas de irrigação localizados apresentam como principal vantagem a eficiência de uso e de aplicação da água. Porém alguns fatores afetam a uniformidade de aplicação de água como: de natureza química, relacionadas à precipitação de elementos como cálcio e ferro; de natureza física, sendo partículas do solo e pequenos animais (formigas, aranhas, ovos de lesmas, etc.), e de natureza biológica, relacionada a algas e mucilagem bacteriana. Além das características inerente ao material, como coeficiente de variação de fabricação, expoente de descarga do emissor, sensibilidade do emissor à temperatura, variações de pressão, e outros (Solomon, 1985, Gilbert & Ford, 1986).

Há um conjunto de parâmetros, químicos, físicos e biológicos, que devem ser considerados na avaliação da qualidade da água. Geralmente são determinados: Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CE), Total de Sais Dissolvidos (TSD), íons: sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ), cálcio ( $\text{Ca}^{++}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{++}$ ), cloretos ( $\text{Cl}^-$ ), sulfatos ( $\text{SO}_4^{++}$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{--}$ ) e bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ) (ALMEIDA, 2010). Assim sendo, o conjunto de todos os parâmetros e características interferem diretamente na eficiência da aplicação de água como também nas respostas da cultura ao sistema e manejo escolhido.

### **2.3 Água de Reuso**

Com a problemática a respeito da eficiência na utilização dos recursos hídricos, não somente a redução do consumo como tornar o seu uso eficiente apresenta-se como um dos grandes desafios da atualidade. É de grande valia gerenciar os recursos hídricos utilizados, para que estes atendam às demandas, sem causar danos à saúde ambiental (DORIGON e TESSARO, 2010).

O setor agrícola no Brasil é responsável por aproximadamente 70% do total. Com essa demanda significativa, aliada a escassez de recursos hídricos leva a ponderar que as atividades agrícolas devem ser consideradas como prioritária em termos de reuso de efluentes tratados, uma vez que a água de reuso possui características desejáveis para seu uso como fertilizante, sendo rico em nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio.

A água de reuso previamente tratada é rica em nutrientes básicos que são essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, destacando-se os macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio e outros elementos como:As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb, Se e Zn, sendo que alguns destes são imprescindíveis ao crescimento e outros potencialmente tóxicos (LEAL et al.2010).

A utilização da água de reuso oferece entre outros benefícios a redução da demanda de uso das águas de superfície e subterrâneas, além de proteger o meio ambiente, gerar economia de energia, redução de investimentos em infraestrutura e proporcionar melhoria dos processos industriais. Conseqüentemente, o uso eficiente da água apresenta uma economia para consumidores, empresas e a sociedade como um todo (SANTOS, 1993).

Definida pela Resolução CNRH nº 54/2005 como água residuária que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas. Essa água atende aos parâmetros de qualidade exigidos na legislação brasileira e pode ser usada para fins que não sejam o consumo humano, como, por exemplo, na indústria para geração de energia e resfriamento de equipamentos; para fins urbanos como a lavagem de ruas e praças; e na agricultura para a irrigação das culturas.

Os estudos que reportam sobre o emprego de efluentes na irrigação têm revelado alto potencial deste em relação ao aumento da produtividade, uma vez que contribui com o fornecimento de alguns nutrientes essenciais ao desenvolvimento da cultura e garante o suprimento total da necessidade hídrica requerida pela mesma (GOMES et al., 2009).

Gomes (2016) avaliando diversas culturas de interesse agrônomo relatou que os nutrientes fornecidos pela água de reuso promoveram incremento com relação a nutrição da planta, fisiologia, produtividade e fertilidade do solo. Dessa maneira, constatou-se que a carga de nutrientes contida na água é suficiente para atender à necessidade das culturas estudadas.

## 2.4 Lodo de esgoto

O lodo de esgoto, resíduo de maior volume produzido durante o tratamento de esgotos, é composto por aproximadamente 5% de sólidos e 95% de água. De acordo com Bettiol e Camargo (2006), a parte sólida possui em torno de 40% de matéria orgânica (MO). Além de ser rico em matéria orgânica, possui também uma lenta liberação dos nutrientes, aumentando a eficiência da adubação nitrogenada (ANGLE, 1994). Dessa maneira, o lodo de esgoto pode substituir, mesmo que parcialmente a adubação, exercendo relevante papel na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo (NOGUEIRA et al., 2008).

O lodo de esgoto possui altos teores de N, P e baixos de K, enquanto os micronutrientes se apresentam em quantidades menores. Contudo, vale ressaltar, que quando a necessidade de N é suprida, a demanda dos micronutrientes também é sanada (SANEPAR, 1997). O N é um fator restritivo a definição da dosagem máxima de lodo de esgoto a ser aplicada ao solo, pois em quantidades elevadas, acima do permitido, pode ocorrer o processo de lixiviação de nitrato, contaminando o lençol freático.

Diversos autores (TSUTIYA, 2000; MELFI & MONTES, 2001; CARVALHO 2015) confirmam que a melhora da capacidade de armazenamento e infiltração da água no solo, o aumento a resistência dos agregados e a redução da erosão são provenientes da matéria orgânica contida no lodo de esgoto. Devido ao seu grande potencial como fertilizante, elevados teores de nitrogênio, e condicionador de solo, esse resíduo tem sido testado em trigo (KUMMER, 2013), eucalipto (BERTOLAZI, 2016), feijão (LOBO, 2012), laranja (LAMBERT, 2013) e gramados (MOTA, 2016).

Em 29 de Agosto de 2006, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA estabeleceu a resolução nº 375, que regulamenta o uso de lodo de esgoto, a fim de evitar o uso indiscriminado, visando benefícios à agricultura e evitando riscos à saúde pública e ao meio ambiente.

A resolução nº 375 do CONAMA define critérios e procedimentos para o uso agrícola do lodo de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto e seus produtos derivados. Essa resolução estabelece qual é a declividade da área a ser tratada, a distância mínima de nascentes de água e leitos de rios, os teores totais de alguns metais pesados no solo e a espécie vegetal de interesse. Quanto ao lodo de

esgoto, aspectos relacionados à degradação da fração orgânica do resíduo, taxa de mineralização do nitrogênio, teores totais de metais pesados e conteúdo de organismos patogênicos. A resolução também restringe a aplicação deste resíduo em diversas culturas como as olerícolas, pastagens, tubérculos e raízes inundadas e outras culturas, cuja parte comestível entre em contato com o solo.

Além dos benefícios que o lodo de esgoto proporciona com relação as alterações físicas e químicas no solo, a expressiva produção de lodo de esgoto, principalmente nos grandes centros corroboraram com a intensificação das pesquisas para utilização desses resíduos para fins agrícolas (LOPES et al., 2008).

De acordo com a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), o lodo gerado pelas 502 estações de tratamento de esgoto (ETE) é destinada aos aterros sanitários, e essa disposição final em aterros sanitários compromete os efeitos favoráveis da coleta e tratamento (BRADY; WEIL, 2012). Devido à alta umidade do lodo de esgoto e o risco de contaminação do lençol freático e do solo, a sua disposição em aterros torna-se inviável, aumentando as restrições para escolha do local onde esse resíduo será depositado (FEAM, 1995).

O Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) através das Instruções Normativas 23 de 31/08/2005 e 27 05/06/2006 e do Decreto Federal 4954 de 14/01/2004, regulamentaram a compostagem desse resíduo, classificando-o como Produto Fertilizante Orgânico Composto Classe D. Contudo, o composto gerado deverá atender aos limites de patogenicidade, helmintos, salmonela, coliformes termo-tolerantes, porém não há restrição para vírus.

O processo de compostagem não somente transforma materiais biodegradáveis em húmus, mas também, reduz e inativa patógenos, diminui a concentração de metais pesados, adequando-o para o uso como fertilizante e assim proporcionando uma reciclagem de nutrientes para o solo (KIEHL, 1985; PAREDES FILHO, 2011; RASHAD et al. 2010). Pelegrino et al. (2008) ainda destacam que este processo tem como vantagem a economia diária em área no aterro sanitário, aumentando assim a sua vida útil.

Madejon et al. (2003) e Lambert et al. (2013) observaram que aplicações de lodo de esgoto compostado no cultivo de laranjeiras promoveram efeitos positivos nas propriedades químicas e bioquímicas do solo, assim como na produção dos frutos.

Moreira (2013) relatou aumento de M.O no solo após aplicação de lodo de esgoto compostado em cultivo de laranjeiras 'Valência', assim como demanda de N

foi suprida totalmente pela adubação orgânica proveniente do resíduo. E os teores de metais pesados não indicaram risco de contaminação, uma vez que, os teores encontrados tanto no solo quanto nos frutos estavam abaixo dos limites estabelecidos na legislação.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi instalado e conduzido em área experimental do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, da Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP/Botucatu. As coordenadas geográficas da área são aproximadamente: 22°52' de latitude Sul e 48°26' a oeste de Greenwich e altitude média de 786m.

#### 3.2 Caracterização do solo e análise química inicial

O solo utilizado para preenchimento das caixas de 500L é classificado como LATOSSOLO VERMELHO segundo a classificação da EMBRAPA (2006).

Para caracterização química do solo, foram coletadas amostras (compostas por quatro amostras simples) nas profundidades 0-20, em toda área experimental, com a utilização de um trade de rosca.

As análises foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo, do Departamento de Solo e Recursos Ambientais - FCA/Unesp, segundo metodologia adaptada descrita por Raij et al., (2001), os resultados são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1. Análise química inicial do solo da área experimental por tratamento no ano de 2014 na profundidade de 0-20cm e 20-40cm.**

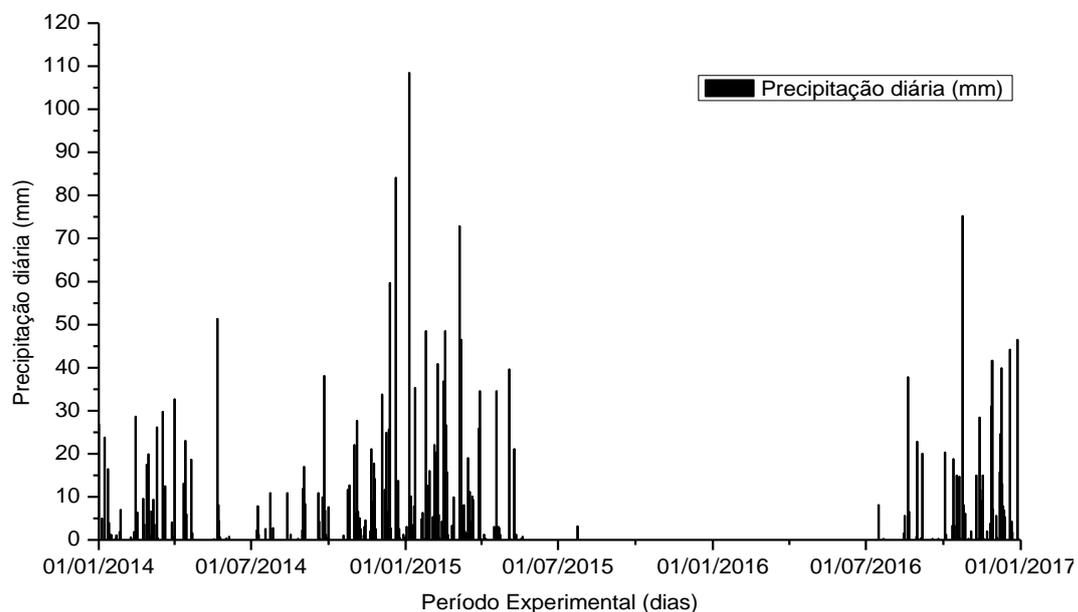
Prof. Cm	pH CaCl <sub>2</sub>	MO g dm <sup>-3</sup>	P <sub>resina</sub> mg dm <sup>-3</sup>	Al <sup>3+</sup> -----mmolc dm <sup>-3</sup> -----	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V %	B ----- mg dm <sup>-3</sup> -----	Cu	Fe	Mn	Zn
0-20	4,3	12	5	5	31	0,5	7	1	9	40	22	0,24	0,6	21	8,1	0,8
20-40	4,4	9	3	4	24	0,6	6	1	8	32	26	0,15	0,8	17	7,9	0,7

Fonte: Laboratório de Fertilidade do solo. DCS-FCA.

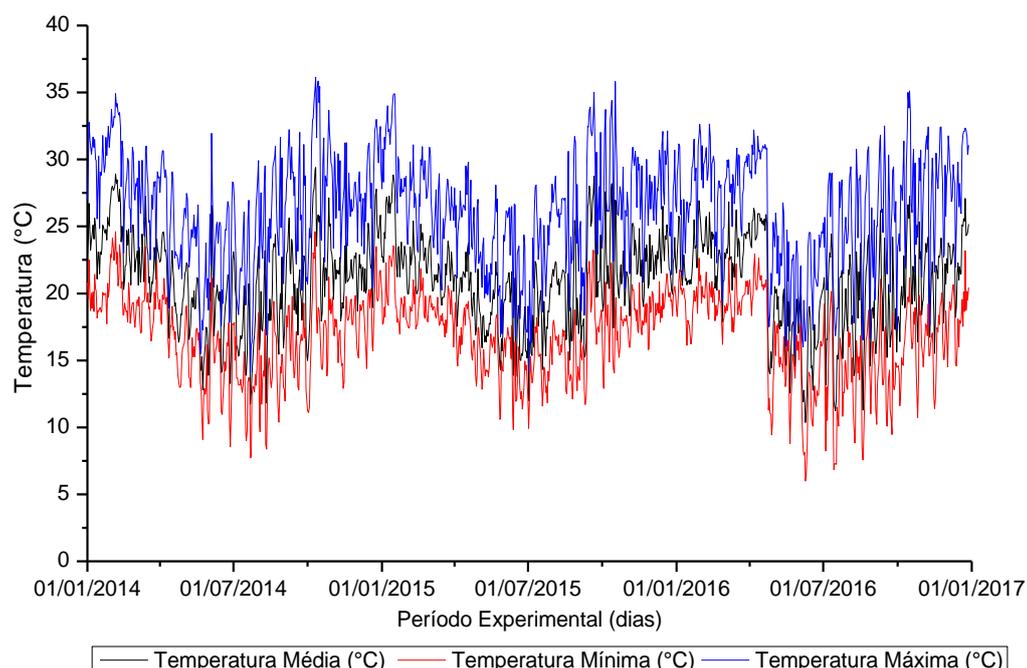
### 3.3 Dados meteorológicos

Os dados de precipitação (mm) e temperatura média (graus Celsius) diária, no período de agosto de 2014 a janeiro de 2017, foram obtidos através de observações feitas na Estação Agrometeorológica da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp. Foram selecionados os dados compreendidos entre a implantação e o final do ciclo de dois ciclos da cultura. (Figuras 1 e 2).

**.Figura 1. Precipitação em Botucatu de janeiro de 2014 a janeiro de 2017.**



**Figura 2. Temperatura média do ar em Botucatu de janeiro de 2014 a janeiro de 2017.**



O clima da região é classificado como temperado quente (mesotérmico) com chuvas no verão e seca no inverno (Cwa - Köppen), com temperatura média mais quente superior a 22°C (CUNHA et al., 1999).

### 3.4 Descrições da copa e porta-enxerto

O pomar foi composto por laranjeiras 'Valência' como variedade copa que apresenta frutos com 3 – 4 sementes, massa média de 145g por fruto e valores aproximados de 52% de teor de suco, 11,8° Brix e 0,95% de acidez (FIGUEIREDO, 2001; POMPEU JÚNIOR, 2005). Essa cultivar torna-se relevante devido também, a sua dupla aptidão, ou seja, seus frutos são destinados tanto para o mercado de consumo *in natura* quanto para indústria.

O porta-enxerto utilizado foi o limoeiro - citrumelo 'Swingle'. Este porta-enxerto é representativo em todo Estado de São Paulo, onde é utilizado desde meados de 1920, intensificando seu uso a partir da década de 50. De acordo com Pompeu Júnior (2005), o híbrido possui como principais características, a facilidade na formação de mudas, ser compatível com quase todas as copas utilizadas, produção precoce, tolerância ao vírus da tristeza dos citros e a gomose.

### 3.5 Sistema e manejo da Irrigação

O sistema de irrigação dispunha de 4 reservatórios com capacidade de 1000L cada, onde, 2000L foram utilizados para armazenamento de água de abastecimento e os outros 2000L para armazenagem da água residuária. Contava com um conjunto moto-bomba, com bomba centrífuga de 1cv, a fim de pressurizar do sistema. Foi instalado uma válvula reguladora de pressão da NETAFIM – Série 2000, auxiliada por uma válvula para retirada de ar, garantindo uma pressão de 25 m.c.a e conseqüentemente uniformizando a aplicação de água.

O método de irrigação utilizado foi localizado por gotejamento. No qual, a linha principal foi composta por tubulação de PVC DN50, derivando os tratamentos através de tubulação de PVC DN32. Cada tratamento apresentava um registro para abertura e fechamento manual, permitindo a aplicação de água e fertilizantes de maneira individualizada. As linhas laterais foram compostas por mangueiras de polietileno com 16mm de diâmetro, instaladas ao lado dos troncos das laranjeiras, paralela a linha de plantio e com gotejadores autocompensantes, com vazão de  $4L h^{-1}$ , espaçados entre si as 0,30 m. Foram instalados dois gotejadores por planta.

**Figura 3. a – Vista geral do experimento. b – Instalação dos gotejadores.**



De acordo com a metodologia descrita por Bernardo (2008) e com dados coletados em campo, foi determinado o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) do sistema de irrigação através da equação 1 (Eq. 1).

$$CUC = 100 \left[ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - \bar{q}|}{n\bar{q}} \right] \quad \text{Eq. 1}$$

Onde:

$CUC$  = Coeficiente de uniformidade Christiansen, %;

$q_i$  = vazão no gotejador  $i$ , L h<sup>-1</sup>;

$\bar{q}$  = vazão média dos gotejadores, L h<sup>-1</sup>;

$n$  = número de gotejadores observados;

Para fins deste experimento, foi estimado um coeficiente de 95% de eficiência do sistema.

O manejo da irrigação foi realizado pelo método do Tanque Classe A, de acordo com a metodologia descrita por Doorembos; Pruitt (1977). A irrigação foi realizada diariamente de maneira a repor a quantidade de água utilizada pelas plantas de acordo com a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>). A ET<sub>c</sub> é obtida através da estimativa da ET<sub>o</sub> mediante a leitura da evaporação da água (Eva) do Tanque Classe A corrigida pelo coeficiente do tanque (K<sub>p</sub>). (Figura 4) (Eq.2 e 3):

$$ET_o = Eva * K_p \quad \text{Eq. 2}$$

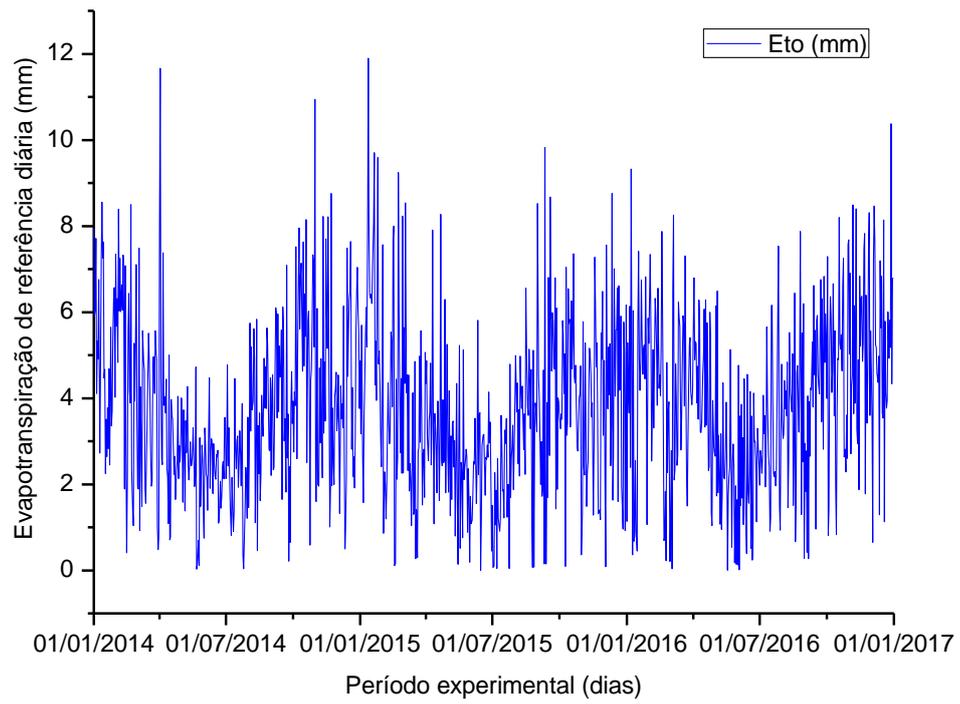
Onde:

ET<sub>o</sub> = Evapotranspiração de referência, mm d<sup>-1</sup>;

Eva = Evaporação da água no tanque Classe A, mm d<sup>-1</sup>;

K<sub>p</sub> = Coeficiente do tanque.

Figura 4. Evaporação de referência de janeiro de 2014 a janeiro de 2017.



$$ET_c = ET_o * K_c \quad \text{Eq. 3}$$

Onde:

$ET_c$  = Evapotranspiração da cultura,  $\text{mm d}^{-1}$ ;

$ET_o$  = Evapotranspiração de referência,  $\text{mm d}^{-1}$ ;

$K_c$  = Coeficiente da cultura;

A lâmina de água aplicada foi determinada de acordo com a equação 4 (Eq. 4):

$$L_{ap} = \frac{ET_c \times K_p \times K_c}{E_f} \quad \text{Eq. 4}$$

$L_{ap}$  = lâmina a ser aplicada, unidade;

$ET_c$  = Evapotranspiração da cultura, Unidade;

$K_p$  = coeficiente do tanque, unidade;

$K_c$  = coeficiente da cultura, unidade;

$E_f$  = eficiência do sistema, %;

O tempo de irrigação foi obtido pela razão entre a lâmina a ser aplicada e a intensidade de aplicação do gotejador.

### 3.6 Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em esquema fatorial 6x2, com 6 repetições e 12 tratamentos, onde cada repetição/parcela é representada por uma planta, ou seja, 6 plantas/tratamento, totalizando 72 plantas. Os tratamentos foram definidos por seis doses de lodo de esgoto compostado (LEC) (0, 25, 50, 75, 100 e 125% da recomendação de N para a cultura) e 2 tipos de água para irrigação (água de abastecimento (AB) e água residuária (AR)) (Tabela 2).

**Tabela 2. Descrição dos tratamentos.**

Tratamento	Fonte de Nitrogênio		Tipos de água
	Inorgânico Nitrato	Orgânico LEC	
T1	100	0	T
T2	100	0	R
T3	75	25	T
T4	75	25	R
T5	50	50	T
T6	50	50	R
T7	25	75	T
T8	25	75	R
T9	0	100	T
T10	0	100	R
T11	0	125	T
T12	0	125	R

\*T – Tratada R - Residuária

Todos os tratamentos receberam adubações complementares de cobertura simultaneamente com a água de irrigação (fertirrigação), com objetivo de suprir as necessidades nutricionais da cultura quanto aos elementos P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, de acordo com a adubação recomendada por Quaggio et al., 1996.

O lodo de esgoto compostado utilizado no experimento foi oriundo da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), localizado no município de Jundiaí – SP. A composição química do lodo de esgoto compostado pode ser observada na Tabela 3.

**Tabela 3. Composição química do material orgânico (LEC) utilizado no experimento.**

pH	C/N	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MO	C	Ca	Mg	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
					% na MS					mg kg <sup>-1</sup> MS				
6,6	12/1	2,44	2,0	0,4	53	29,4	1,9	0,3	1,6	1340	304	23250	472	3750

Fonte: Laboratório de análises de fertilizantes e corretivos. FCA/UNESP.

Para determinação do N disponível no lodo de esgoto compostado, foi considerada uma taxa de mineralização de 30%, diferente do 10% estabelecido pela Resolução do CONAMA nº 375/2006 (CONAMA, 2006), pois a taxa estabelecida pela resolução é específica para solos de clima temperado que se difere das condições tropicais (ANDRADE et al., 2013).

A água residuária foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto da cidade de Botucatu – SP, localizada na Fazenda Experimental Lageado, FCA/UNESP.

### **3.7 Instalação e condução do experimento**

O experimento conduzido entre os meses de agosto de 2014 a janeiro de 2017, e foi instalado em recipientes com capacidade de 500L de solo.

Foram coletadas amostras simples na camada de 0-20 cm, de todos os tratamentos, que posteriormente foram homogeneizadas, secas em estufa com circulação forçada de ar em temperatura variando entre 65-70°C e enviadas ao laboratório, para determinação dos teores de macro e micronutrientes disponíveis (P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn), pH, teor de matéria orgânica (M.O.), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%), conforme metodologia descrita por Raij et al. (2001) (Tabela 4).

As análises químicas para a determinação da quantidade de Boro foram realizadas em extrato de água quente, enquanto para os nutrientes Cu, Mn e Zn em extrato de DTPA a pH 7,3.

De acordo com a recomendação de adubação para a cultura dos citros (QUAGGIO et al., 1997), e os resultados da análise química inicial (Tabela 4), foram calculadas as recomendações de adubação (N, P e K), em conformidade com estágio fonológico das plantas.

No primeiro ano de condução do experimento (2014/2015), as adubações fosfórica e potássica, variaram de acordo com os teores apresentados na tabela 4 em função dos tratamentos empregados desde o plantio. Com relação a adubação nitrogenada, foram aplicados 200g de N planta<sup>-1</sup> em todos os vasos, variando as proporções entre N-inorgânico e N-orgânico de acordo com os respectivos tratamentos. Foram utilizados como fontes de fornecimento de N, P e K, Nitrato de Cálcio, Fosfato Monoamônico (MAP) e Cloreto de Potássio, respectivamente.

**Tabela 4. Análise química inicial do solo da área experimental por tratamento no ano de 2014, na profundidade de 0-20cm.**

Trat	pH	MO	P	K	Ca	Mg	S	SB	CTC	V	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>				
1	5.6	14	39	0.7	25	16	23	41	63	65	0.29	0.9	33	0.8	5.0
2	5.3	19	47	2.0	27	10	93	39	71	55	0.39	1.0	39	0.9	7.3
3	4.9	24	45	1.2	19	7	49	27	69	39	0.37	1.1	77	1.7	6.6
4	4.8	21	54	2.6	17	7	55	26	66	39	0.38	1.4	92	2.1	13.2
5	5.2	22	52	0.6	32	9	34	42	70	60	0.34	1.1	60	1.5	6.2
6	5.4	21	68	1.2	22	10	127	33	61	54	0.51	1.4	81	1.8	13.4
7	5.3	29	128	1.2	29	9	133	39	83	47	0.55	3.1	148	3.2	30.8
8	5.2	29	128	1.2	29	9	174	39	79	49	0.59	4.3	189	3.3	37.0
9	5.1	30	135	1.7	32	10	9	43	93	46	0.52	2.1	85	2.1	21.8
10	5.5	27	153	2.6	36	12	149	50	78	64	0.58	3.5	155	2.6	23.3
11	5.4	29	147	1.0	31	9	49	41	75	55	0.46	2.1	106	2.7	21.6
12	5.3	28	178	1.5	31	9	124	41	75	55	0.60	2.6	128	2.9	24.6

A aplicação foi realizada via sistema de irrigação através do injetor tipo Venturi com auxílio de bomba centrífuga específica para tal finalidade. Durante os meses de setembro de 2014 a março de 2015, as adubações foram feitas de acordo com as seguintes proporções: de 5% (set-14); 5% (out-14); 10% (nov-14); 20% (dez-14); 30% (jan-15); 20% (fev-15) e 10% (mar-15) do total recomendado.

No segundo ano de condução do experimento (2015/2016) a recomendação de adubação foi calculada de acordo com resultado da análise química do solo realizada em abril de 2015 (Tabela 5).

**Tabela 5. Resultados médios da análise química do solo da área experimental por tratamento no ano de 2015, na profundidade de 0-20cm.**

Trat	pH	MO	P	K	Ca	Mg	S	SB	CTC	V	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> -----				
1	5.7	17.6	18.0	4.6	31.9	9.2	10.9	45.6	61.5	74.1	0.2	3.7	34.8	0.6	4.2
2	5.7	16.2	59.0	5.3	28.6	6.7	8.1	40.7	61.7	65.3	0.3	1.0	42.3	0.7	5.8
3	5.4	21.7	66.7	2.8	33.3	6.9	18.4	43.0	73.4	58.5	0.3	1.9	102.7	1.0	12.1
4	5.5	22.4	82.9	3.4	37.3	5.3	17.4	46.0	73.4	62.5	0.2	13.6	79.9	1.0	15.9
5	5.4	26.9	135.5	2.7	44.9	5.3	39.5	52.9	82.9	63.8	0.4	23.2	121.2	2.5	36.4
6	5.5	27.1	97.7	2.1	46.4	3.8	57.2	52.3	82.4	63.6	0.4	8.5	114.4	2.2	31.0
7	5.8	22.2	56.8	2.1	43.8	5.8	59.8	51.7	73.1	70.6	0.2	1.8	90.6	1.2	17.3
8	5.3	23.1	57.3	2.4	39.1	2.4	102.9	44.0	73.6	59.7	0.2	2.2	95.5	1.7	23.8
9	5.4	33.0	95.9	2.3	68.5	3.1	262.7	73.8	104.3	70.8	0.4	3.5	118.0	2.6	40.8
10	5.1	30.1	99.5	2.4	59.0	3.2	323.1	64.7	104.6	61.8	0.5	6.4	135.4	3.0	42.5
11	5.1	45.5	169.9	1.9	90.9	3.5	597.4	96.3	141.2	68.4	0.5	22.4	197.7	4.0	52.9
12	5.2	36.2	121.8	2.2	72.8	3.3	394.4	78.3	116.7	67.0	0.5	10.8	150.4	3.2	45.4

Fonte: Laboratório de Fertilidade do Solo. DCS-FCA.

A adubação de formação do segundo ano de condução foi realizada do mesmo modo que o primeiro ano. Mantiveram-se as mesmas fontes de nutrientes como também a via de aplicação, porém a fertirrigação iniciou-se no mês de junho 2015 estendendo-se até março de 2016, mensalmente nas proporções de 2,5% (jun-15); 2,5% (jul-15); 5%(ago-15); 5% (set-15); 7,5% (out-15); 7,5% (nov-15); 20% (dez-15); 25% (jan-16); 15% (fev-16) e 10% (mar-16) do total.

A proporção do N adicionado ao solo via lodo de esgoto foi aplicado em cobertura, parcelado em duas vezes iguais, nas adubações 2013/2014, 2014/2015, 2015/2016 nos meses de setembro e novembro.

### 3.8 Parâmetros avaliados nas plantas

Foram avaliados parâmetros biométricos, nutricionais e produção das plantas.

#### 3.8.1 Parâmetros biométricos

##### 3.8.1.1 Diâmetro do caule

O diâmetro do caule foi medido a 10 cm acima do ponto de enxertia, com auxílio de um paquímetro digital Starrett 727.

##### 3.8.1.2 Altura da planta

A altura da planta foi medida com auxílio de uma régua previamente marcada.

##### 3.8.1.3 Volume da copa

De acordo com GRASSI FILHO (1995), a projeção da copa nos fornece um bom indicador da velocidade de ocupação da área de plantio. Para determinar o volume da copa, foi necessário determinar também o diâmetro médio das copas (DMC). O DMC foi obtido através da média entre os valores obtidos no sentido Norte-Sul e Leste-Oeste.

Com os dados de altura e diâmetro médios, foi determinado o volume da copa, de acordo com a equação 5 (Eq. 5), adotada por MENDEL (1968,1969) e MOURÃO FILHO (1989):

$$V = 2/3\pi HR^2, \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:

V = volume da copa (m<sup>3</sup>);

H = altura de planta (m);

R = raio da copa (m);

As medidas de diâmetro do caule, altura da planta e volume da copa foram realizadas a cada 3 meses, set-2014, dez-2014, mar-2015, jun-2015, set-2015, dez-2015, mar-2016, jun-2016.

### **3.8.2 Concentração de nutrientes na lâmina foliar**

Foram coletadas folhas fisiologicamente maduras de ramos não frutíferos, na altura mediana da copa, em cada quadrante.

Após a coleta, as folhas foram lavadas com detergente e água deionizada e colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar e temperatura variando entre 65-70°C, até peso constante. Após a secagem, as folhas foram moídas e encaminhadas ao laboratório para determinar a concentração de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e Al segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997) e As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb e Se, determinados por espectrometria de emissão atômica por plasma (ICP-AES segundo Raij et al., 2001).

As análises foram realizadas nos meses de outubro a novembro e maio a junho, durante o experimento.

### **3.8.3 Parâmetros de produção**

Os parâmetros de produção da planta como número de furtos, peso do fruto, volume de suco, relação de casca e suco produzido e de qualidade como °brix, espessura da casca, número de sementes, acidez do suco, relação diâmetro horizontal e vertical foram avaliados a partir de 2015.

### **3.8.4 Teores e acúmulo de metais pesados nas plantas**

Foram retiradas duas plantas por tratamento para determinar o teor e acúmulo de metais pesados. Após a retirada, foram separadas em raízes (principal, secundárias e absorventes), caule, ramos, folhas, frutos (casca, bagaço, suco e sementes).

As amostras foram lavadas com detergente e água deionizada e colocadas para secar em estufa com circulação forçada de ar e temperatura variando entre 65-70°C, até peso constante. Após a secagem, as mesmas foram moídas e encaminhadas ao laboratório para as determinações analíticas dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn segundo metodologia descrita por MALAVOLTA et

al. (1997), e As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb e Se, determinados por espectrometria de emissão atômica por plasma (ICP-AES segundo Raij et al., 2001).

### **3.9 Características avaliadas no solo**

#### **3.9.1 Análise química do solo**

Foram coletadas amostras simples de solo de todos os vasos, nas profundidades de 0-20 e 21-40cm. As amostras retiradas foram homogeneizadas, secas em estufa com circulação forçada de ar em temperatura variando entre 65-70°C e enviadas ao laboratório para a determinação do pH, M.O., P, H+Al, Al, K, Ca, Mg, S, SB, CTC e V%, segundo metodologia descrita por Raij et al. (2001). As análises químicas para determinação de B foram realizadas em extrato de água quente, enquanto para os nutrientes Cu, Mn e Zn em extrato de DTPA a pH 7,3. Para os elementos As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb e Se a determinação será realizada por espectrometria de emissão atômica por plasma (ICP-AES segundo Raij et al., 2001).

As análises foram realizadas a cada seis meses durante todo o experimento.

#### **3.9.2 Teores de metais pesados**

Foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20cm, 20-25cm e 25-30cm e avaliados os parâmetros de fertilidade e de acúmulo de metais pesados, ao final do experimento. As amostras foram homogeneizadas, secas em estufa com circulação forçada de ar em temperatura variando entre 65-70°C e enviadas ao laboratório para a determinação do pH, M.O., P, H+Al, Al, K, Ca, Mg, S, SB, CTC e V%, segundo metodologia descrita por Raij et al. (2001). As análises químicas para determinação de B foram realizadas em extrato de água quente, enquanto para os nutrientes Cu, Mn e Zn em extrato de DTPA a pH 7,3. Para os elementos As, Cd, Cr, Hg, Mo, Ni, Pb e Se a determinação será realizada por espectrometria de emissão atômica por plasma (ICP-AES segundo Raij et al., 2001).

Foram realizadas análise granulométricas de cada uma das profundidades, segundo EMBRAPA (1997).

### **3.10 Análise estatística**

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade, heterogeneidade e análise de variância (ANOVA), e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. Foram realizadas análises de regressão, conforme comportamento observado. Utilizaram-se os softwares R versão 2.12.1 (R Development Core Team, 2011) e o Sigmaplot12.0 (SigmaPlot; Systat Software Inc.).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise do Tecido Foliar

Não houve diferença significativa em todos os teores dos macroelementos avaliados (N, P, K, Ca Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) nas folhas de laranjeiras em função do tipo de água utilizada na irrigação (Tabela 7), porém em relação as doses de lodo teve diferença significativa para os elementos conforme mostra a Tabela 6.

Segundo Quaggio et al. (1996), as faixas dos teores considerados adequados de macronutrientes nas folhas de laranjeiras são: N (23-27 g kg<sup>-1</sup>), P (1,2-1,6 g kg<sup>-1</sup>), K (10-15 g kg<sup>-1</sup>), Ca (35-45 g kg<sup>-1</sup>), Mg (2,5-4,0 g kg<sup>-1</sup>) e S (2,0-3,0 g kg<sup>-1</sup>).

**Tabela 6. Resumo da análise de variância do tecido foliar para a cultura da laranja submetida a irrigação com água residuária e potável e diferentes doses de lodo de esgoto compostado.**

Fatores	N	P	K	Ca	Mg	S
Tipos de água (TA)	0,31	2,03	1,11	0,05	3,96	0,36
Doses (D)	2,73*	11,54**	4,45**	1,70	146,12**	2,04
TAX Doses	18,70**	5,21**	25,27**	8,68**	22,41**	0,80
C.V.(%)	6,57	16,06	7,04	8,06	3,81	7,24

Legenda. <sup>ns</sup>Não significativo, \*, \*\* significativo a 5 e 1%, respectivamente e C.V., coeficiente de variação.

**Tabela 7. Comparação das médias dos macronutrientes do tecido vegetal irrigados com água residuária e potável.**

Fatores	N	P	K	Ca	Mg	S
AP	27,31 <sup>a</sup>	0,83 <sup>a</sup>	15,15 <sup>a</sup>	20,12 <sup>a</sup>	2,10 <sup>a</sup>	1,90 <sup>a</sup>
AR	27,61 <sup>a</sup>	0,77 <sup>a</sup>	14,83 <sup>a</sup>	20,24 <sup>a</sup>	2,15 <sup>a</sup>	1,88 <sup>a</sup>

Legenda: As médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste t.

O teor de N nas folhas de laranjeiras foram maiores nos tratamentos irrigados com água residuária, mostrando o seu potencial no fornecimento N para a cultura. Vários estudos mostram o aumento do teor de N foliar em diversas culturas irrigadas com água residuária. Fonseca (2005) irrigando forrageiras com água residuária relatou que pôde economizar de 32 a 81% de N mineral. Zekri & Koo (1994) encontraram um aumento significativo no teor de N foliar em citros após irrigar com água residuária.

Para obter uma boa produção de citros é importante que os teores foliares de N estejam na faixa adequada ( $23-27 \text{ g kg}^{-1}$ ), com teores foliares excessivos de N, as plantas vegetam muito e florescem pouco e com baixos níveis, ou mesmo ligeiramente deficientes, florescem abundantemente, mas com pequena fixação das flores (MEDINA et al, 2005).

Observando a tabela 7, verifica-se que os teores foliares de N de todos os tratamentos encontram-se na faixa considerada adequada para o desenvolvimento das plantas cítricas, indicando que o lodo foi capaz de suprir a demanda de N pela cultura.

Segundo Darwish et al. (1997), a aplicação de 5 L de lodo por planta como fonte de N aumentou a produção de laranja, limão e tangerina no Egito, em média 60%.

Nos teores foliares de P encontram-se pouco abaixo da faixa considerada adequada para o desenvolvimento de plantas cítricas (Tabela 7). Apesar do lodo de esgoto ser aplicado em função da quantidade de N presente em sua composição, existem quantidades consideráveis de P em sua constituição. Melo et al. (2001) afirmam que o lodo de esgoto é uma fonte potencial de fornecimento de P, sendo grande parte deste elemento proveniente de compostos polifosfatados, além da biomassa microbiana.

Segundo Oliveira et al. (1995) verificaram aumentos na absorção de P por plantas de sorgo com a aplicação de doses crescentes de lodo de esgoto. O mesmo efeito foi relatado por Simonete et al. (2003) ao trabalharem com milho cultivado num argissolo tratado com doses crescentes de lodo de esgoto.

Apesar do lodo de esgoto ser um material pobre em K (OLIVEIRA et al., 1995) houve uma complementação mineral deste nutriente para o adequado desenvolvimento das laranjeiras, nos tratamentos que foram irrigados com água residuária observa-se que obteve um leve aumento quando se unia ao lodo de esgoto, favorecendo a absorção do K pelas plantas.

Apesar que o Ca e o Mg não alcançou os níveis adequados para a cultura, porém houve uma influência significativa nos teores foliares de Ca e Mg, entretanto de maneira contrária, enquanto que para o Ca houve uma tendência de aumento nos teores foliares com o aumento da dose, os teores foliares de Mg diminuíram. A principal causa é a competição que existe por parte destes dois nutrientes nos sítios

de absorção, apesar do aumento nos teores foliares de Ca, somente os tratamentos que receberam as maiores doses de lodo de esgoto compostado

Santos et al. (2011) também observaram competição entre Ca e Mg decorrente da aplicação de lodo de esgoto na fertilização de tangerineiras 'Ponkan'.

Duenhas et al. (2002), trabalhando com laranja fertirrigada, observaram que os teores obtidos nas folhas para Ca, Mg e K seguiam uma tendência na maioria dos tratamentos, quando ocorriam maiores valores de K nas folhas, os teores de Ca e Mg eram baixos. Laurindo (2005) observou aumento nos teores de Ca e Mg nas folhas de laranjeiras 'Valência' com diminuição do teor de K nos tratamentos fertirrigados.

Não teve aumento no teor de S em função das doses de lodo de esgoto compostado aplicadas (tabela 6) e também não houve aumento em função do tipo de água aplicada. Para que a planta consiga absorver o S na forma  $\text{SO}_4^{-2}$  é necessário um cátion acompanhante, geralmente  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{K}^+$  e como o lodo de esgoto utilizado no apresentava quantidades consideráveis de Ca, a absorção do S ficou favorecida tendo principalmente o  $\text{Ca}^{+2}$  como cátion acompanhante. Esses resultados corroboram com diversos autores (OLIVEIRA et al., 2001; SOARES, 2003 e GUEDES et al., 2006).

De acordo com Quaggio et al. (1996), as faixas dos teores considerados adequados de micronutrientes nas folhas de laranjeiras são: B (36-100  $\text{mg kg}^{-1}$ ), Cu (4-10  $\text{mg kg}^{-1}$ ), Fe (50-120  $\text{mg kg}^{-1}$ ), Mn (35-300  $\text{mg kg}^{-1}$ ) e Zn (25-100  $\text{mg kg}^{-1}$ ).

Somente os teores foliares de Cu e Fe se encontram na faixa considerada adequada para o desenvolvimento das laranjeiras em todos os tratamentos conforme a tabela 9.

**Tabela 8. Resumo da análise de variância do tecido foliar de micronutrientes para a cultura da laranja submetida a irrigação com água residuária e potável e diferentes doses de lodo de esgoto compostado**

Fatores	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Tipoa de água (TA)	3,36	1,49	0,12	0,02	1,96
Doses (D)	32,84**	4,95**	15,43**	5,06**	3,97*
TAX Doses	3,25*	5,00**	2,98*	8,93**	1,85
C.V.(%)	19,26	5,39	8,71	10,89	67,90

Legenda. <sup>ns</sup>Não significativo, \*, \*\* significativo a 5 e 1%, respectivamente e C.V., coeficiente de variação.

**Tabela 9. Comparação das médias dos micronutrientes do tecido vegetal irrigados com água residuária e potável.**

Fatores	B	Cu	Fe	Mn	Zn
AP	15,44a	10,29a	118,27a	6,79a	18,43a
AR	13,94a	10,09a	119,33a	6,76a	18,56a

Legenda: As médias seguidas de mesma letra, minúscua na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste t.

Os elementos B, Mn e Zn não foi atingida a faixa adequada para a cultura tanto com aplicação lodo de esgoto compostado, nem com a variação dos tipos de água (Figura 8 e 9). No Brasil, o B é um dos elementos mais limitantes à produção de citros em função da disponibilidade do nutriente no solo e do efeito das condições climáticas, como períodos prolongados de seca ou excesso de chuvas que reduzem a absorção pelas plantas (QUAGGIO et al., 2005). Considerando os resultados obtidos, pode considerar que o lodo de esgoto apresenta potencial no fornecimento deste micronutriente ao solo e conseqüentemente, às plantas.

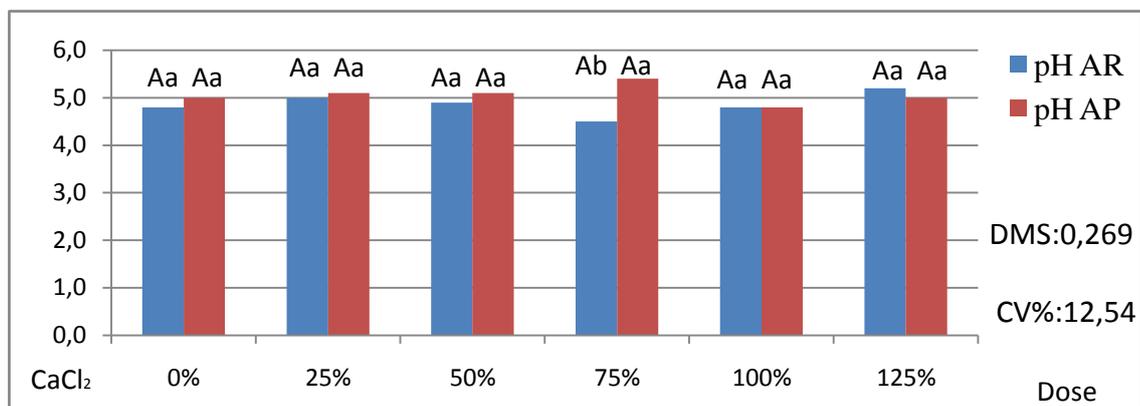
Verifica-se um aumento linear nos teores foliares de Zn em função das doses de lodo de esgoto compostado aplicadas. Entretanto, nenhum dos tratamentos que receberam as doses encontram-se na faixa considerada adequada para o desenvolvimento das laranjeiras.

#### **4.2 Atributos químicos do solo**

De acordo com os dados da figura 5 os valores de pH dos tratamentos irrigados com água residuária foram inferiores aos irrigados com água potável, tendo na média uma faixa de mínima e máxima de 4,5 e 5,4, porém a faixa ideal de pH para o cultivo de laranja situa-se entre 5,5 e 6,5. Observou-se que nenhum tratamento ficou na faixa considerada adequada para o desenvolvimento. Os resultados pode ser atribuídos à liberação de ácidos orgânicos no processo de mineralização do resíduo. Entretanto, em muitos trabalhos pode ser observado o aumento do pH do solo em função do acréscimo das doses de lodo de esgoto aplicadas ao solo. Esses resultados podem estar relacionados ao tipo de tratamento que lodo recebeu, onde muitas vezes é feito com cal hidratada, atuando como corretivo da acidez do solo. Diversos trabalhos também relatam acréscimos no valor de pH do solo em diferentes sistemas de

irrigação com efluentes (JOHNS & McCONCHIE, 1994; AL-NAKSHABANDI et al., 1997).

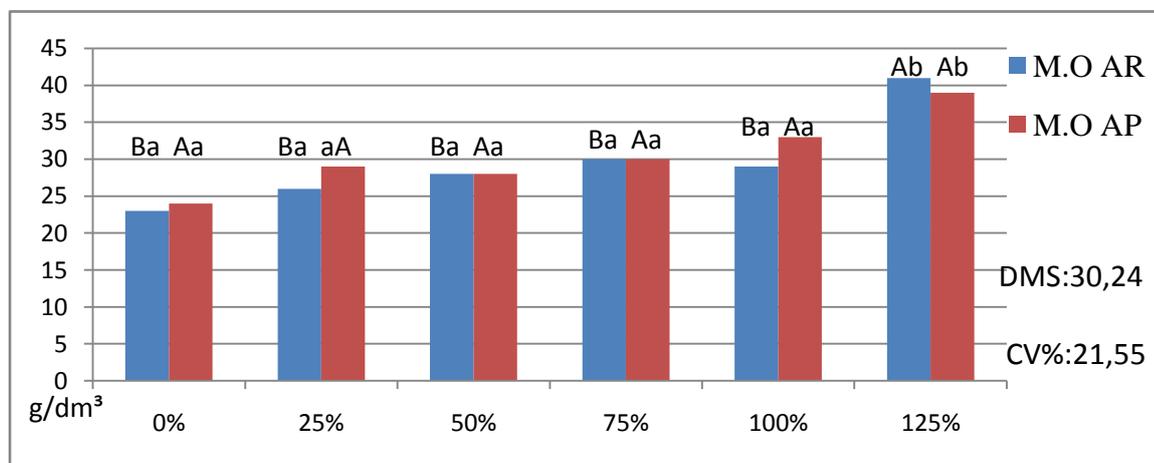
**Figura 5. Atributos químicos médios do pH do solo em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).**



Legenda: Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas doses e maiúscula no tipo de água, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste tukey.

Nas avaliações de matéria orgânica houve um acréscimo significativo em relação as doses de lodo compostado, cerca de 70% se comparada com o tratamento sem lodo compostado e houve também acréscimo em relação aos tratamentos irrigados com água residuária, resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira et al. (2002) e Moreira (2013).

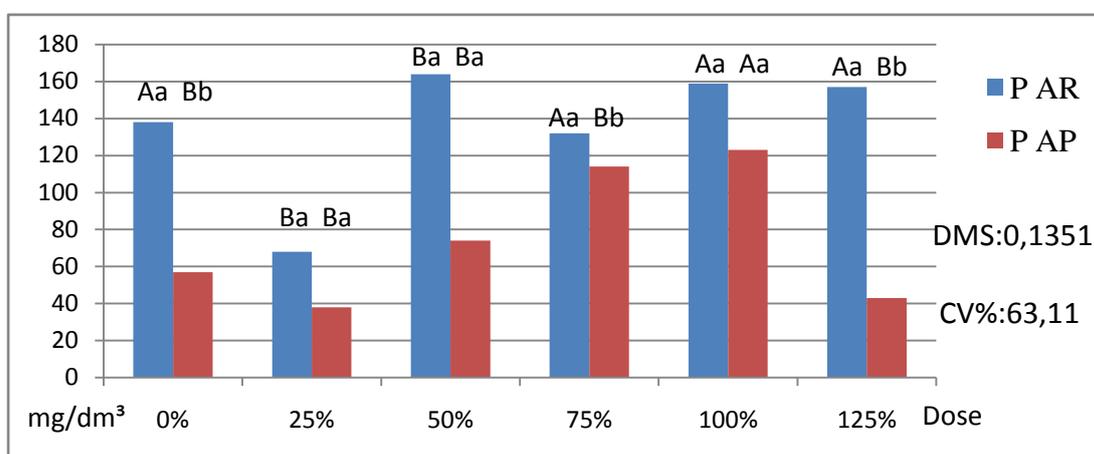
**Figura 6. Atributos químicos médios do M.O do solo em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).**



Legenda: Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas doses e maiúscula no tipo de água, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste tukey.

Houve um acréscimo nos teores de P com o aumento da dose de lodo compostado, e uma grande diferença nos tratamentos irrigados com água residuária sendo superior aos tratamentos irrigados com água potável como mostra a figura 7, esse teores estão acima de  $30 \text{ mg dm}^{-3}$ , considerados altos para o cultivo de laranjeiras. De acordo com Ayuso et al. (1992) o lodo é uma fonte de P proveniente em grande parte dos detergentes que contém compostos polifosfatados.

**Figura 7. Atributos químicos médios do P do solo em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).**

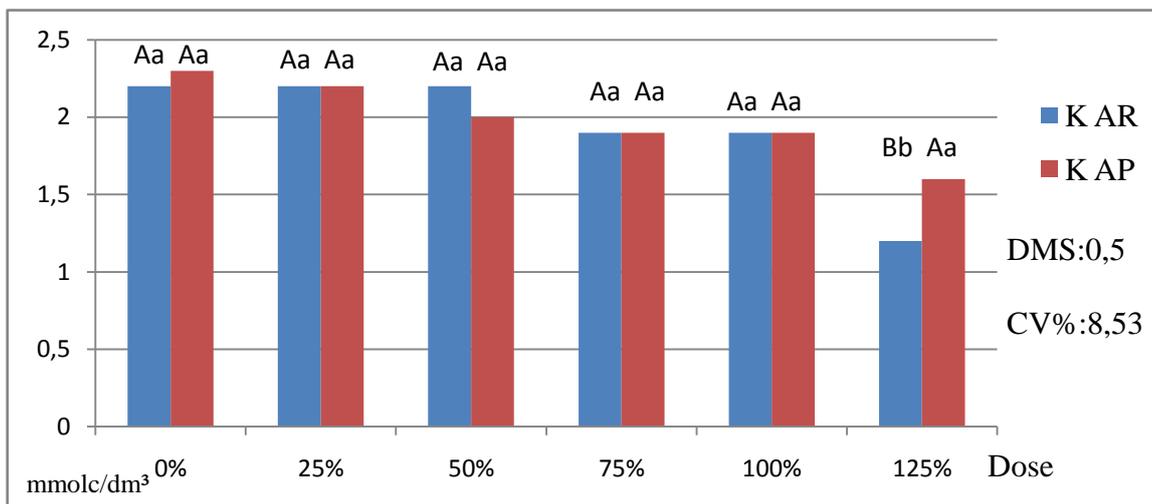


Legenda: Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas doses e maiúscula no tipo de água, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste tukey.

Para o K, (figura 8) observou-se uma redução do teor de K no solo conforme o aumento da dose de lodo compostado sendo mais acentuado nos tratamentos irrigado com água potável, mostrando que mesmo sendo baixo os teores de K na água residuária supre essa exportação desse nutriente pelo fruto, pois os níveis se mantiveram em médios entre  $1,6$  a  $3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Tal elemento influencia o rendimento e a qualidade do fruto e também sua resistência aos ventos fortes, á geadas e á seca. Auxilia no crescimento e divisão celular de tecidos jovens, necessário á síntese e transporte de carboidratos, á síntese de proteínas e óleos, regulador osmótico e estabilizador do metabolismo das plantas, mantendo equilíbrio eletroquímico nas células como ativador de enzimas de reações metabólicas pelas quais se processa fisiologicamente a abertura dos

estômatos, fotossíntese e respiração, presente em todos os tecidos e é o elemento dominante do fruto (MAGALHÃES, A. F. de J, 1997).

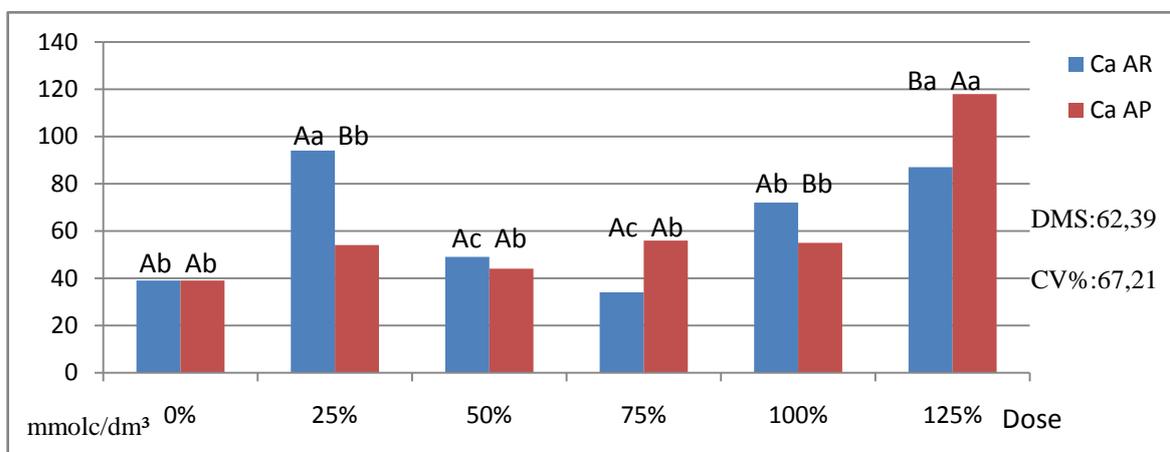
**Figura 8. Atributos químicos médios do K do solo em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).**



Legenda: Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas doses e maiúscula no tipo de água, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste tukey.

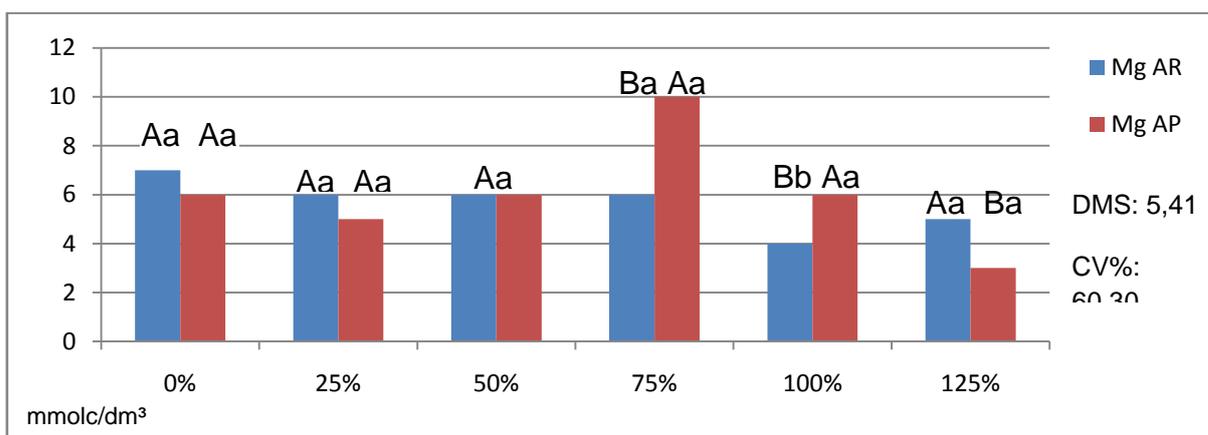
Nos teores de Ca e Mg houve uma relação inversa, onde com o aumento da dose do lodo compostado o Ca (figura 9) elevou os teores e o Mg (figura 13) houve redução, resultados semelhantes mostrados por Moreira (2013), mas os tratamentos irrigados com água residuária manteve-se no teor mínimo, de 4 mmol dm<sup>-3</sup> de Mg necessário para evitar a deficiência nas plantas de citros segund Raji (1997).

**Figura 9. Atributos químicos médios do Ca do solo em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).**



Legenda: Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas doses e maiúscula no tipo de água, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste tukey.

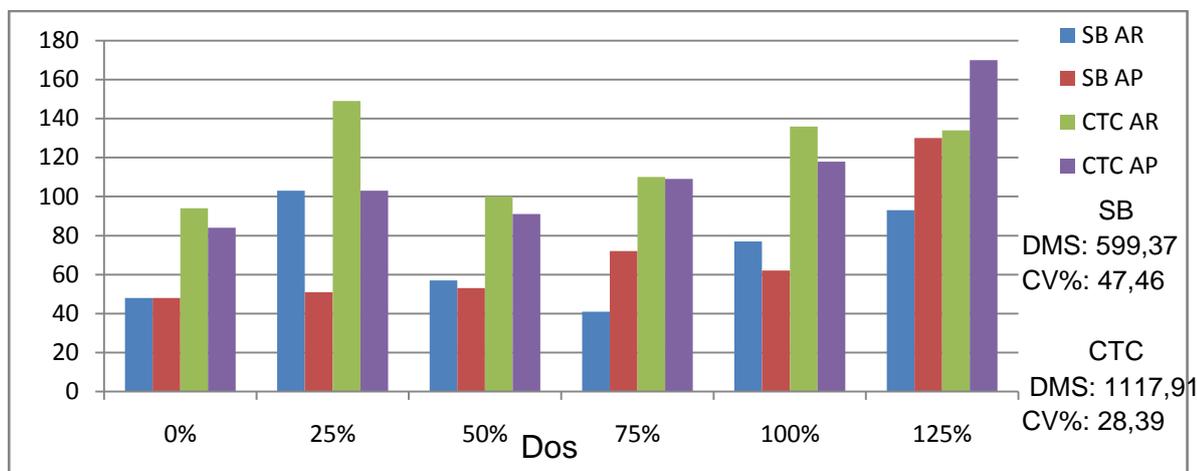
**Figura 10. Atributos químicos médios do Mg do solo em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).**



Legenda: Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas doses e maiúscula no tipo de água, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste tukey.

O resultado da figura 11 mostra um aumento correspondente da SB e da CTC, conforme a adição do composto aumenta os dados avaliados também, decorrente ao aumento de teores trocáveis de  $\text{Ca}^{+2}$  no solo, dados semelhantes foram encontrados por Moreira (2013).

**Figura 11. Atributos químicos médios da soma de bases (SB) e da CTC do solo em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).**



Legenda: Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas doses e maiúscula no tipo de água, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste tukey.

Os valores da V% reduziu significativamente conforme a dosagem do lodo compostado aumentou, e os tratamentos irrigados com água residuária teve valores ainda menores (tabela 10), deve-se a diminuição do pH, valores inverso ao encontrado por Moreira (2013).

Como a maior parte do S está combinada com a matéria orgânica, sua liberação ocorreu de acordo com a mineralização da matéria orgânica, conseqüentemente houve aumento dos teores de S foi em função da dosagem de lodo compostado e os tratamentos irrigado com água residuária os teores de S foram maiores, ficando abaixo do teor adequada para o cultivo de laranja segundo Malavolta et al.(1997), ( $20 \text{ mg dm}^{-3}$ ) somente o tratamento que não teve adição de lodo compostado e nem irrigado com água residuária.

O teor de B em todos os tratamento atingiu a faixa adequada para o cultivo de laranja entre  $0,21$  a  $0,60 \text{ mg dm}^{-3}$  segundo Malavolta et al. (1997), porem os tratamentos irrigados com água residuária ficaram muito próximo do máximo, mesmo com a faixa do com a faixa do pH fora da sua maior disponibilidade.

De acordo com com a tabela 10 os teores de Cu e Mn variou conforme a dosagem de lodo compostado, porem os tratamentos irrigados com água residuária teve teores menores em relação aos tratamentos irrigados com água potável, mesmo com tal variação somente Mn ficou na faixa adequada para o

cultivo de laranja 1,3 - 5,0mg dm<sup>-3</sup> e o Cu teve teores maior 0,8 mg dm<sup>-3</sup> considerado alto segundo Malavolta et al. (1997).

Todos os valores de Fe e Zn estão acima dos teores considerados alto para a cultura da laranja sendo 12 e 5 mg dm<sup>-3</sup> respectivamente, houve contribuição das doses de lodo compostado para a elevação dos teores, e os tratamentos não irrigados com água residuária apresentaram teores menores porem muito acima do recomendado.

O lodo compostado e a água residuária tem potencial de suprir o necessidade de micronutrientes e S exigido pela cultura de laranja, porém somente B e Mn mantiveram teores adequados, em quanto Cu, Fe, e Zn teve seus teores aumentados.

**Tabela 10 Atributos químicos (V%, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) do solo em função da aplicação do lodo compostado e os tipos de água utilizado na irrigação.**

FV	GL	V%	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Q.M.								
Água	1	163,1	11401**	0,045ns	1,21ns	713,3ns	1,16ns	918,1ns
Doses	5	1928,7*	71318**	0,059**	6,52*	6757,7**	6,80*	885,3ns
D x A	5	1202,6ns	5940**	0,013ns	1,71ns	3408,1**	1,32ns	134ns
CV%		21,76	88,48	23,12	41,61	48,11	38,36	40,21
DMS		122,12	4622,7	0,0106	1,56	753,86	1,65	329,98
Água		mg dm <sup>-3</sup>						
AR		56,81	139,6	0,58	3,22	91,5	3,74	52,02
AP		61,06	104,0	0,51	3,6	82,61	4,07	41,92

Legenda: G.L.= Graus de liberdade; Q.M.= Quadrado médio. \* significativo a 5% de probabilidade; \*\* significativo a 1% de probabilidade; <sup>NS</sup> não significativo; CV= coeficiente de variação.

### 4.3 Características físico-químicas dos frutos

A massa de frutos apresentou valores variando-se de 187g a 245g quando as plantas foram submetidas a irrigação com água residuária de 171g a 210g, quando utilizou-se irrigação com água potável (tabela 11).

Comparativamente às médias de Cavalcante, Martins e Stuchi (2006) de 120g a 160g, em estudo realizado na região de Bebedouro com dezoito variedades de laranja, observou que os dados obtidos neste experimento foram maiores.

Os números de semente por frutos da variedade Valência obteve-se a média de 7 sementes, sendo uma característica desejável a frutos de mesa, que é característica dessas variedade pode ser objeto de futuros trabalhos de melhoramento vegetal. A quantidade de sementes registrada é alta quando comparadas a outras frutas cítricas, como a laranjeira 'lima' que apresenta de 5 a 6 sementes/fruto (GOMES, 2007). Em complemento, essa é uma característica interessante para as espécies indicadas como filtro do porta-enxerto cítrico, como se observa nos valores semelhantes reportados por Soares Filho et al. (2002), que registraram 26,3 sementes na laranjeira 'Azeda Comum', 21,2 no limoeiro 'Volkameriano', 16,6 na tangerineira 'Clementina', 13,8 na laranjeira 'Azeda Double Calice', 7,6 no limoeiro 'Cravo' e 5,7 na tangerineira 'Sunki'.

**Tabela 11 Características físicas do peso unitário (g) e número de sementes de frutos de laranja Valência submetidas a doses de lodo de esgoto e irrigadas com AP e AR, Botucatu - SP, 2015.**

Doses	Massa fresca dos frutos g		Nº Sementes	
	AR	AP	AR	AP
0%	245,07Aa	171,12Ba	4,50Ab	10,00Aa
25%	193,76Aa	210,67Ba	9,25Aa	5,50Ab
50%	218,25Aa	199,9Ba	6,25Aa	6,00Aa
75%	205,47Aa	197,5Ba	8,25Aa	6,50Aa
100%	186,82Ab	209,92Aa	7,00Aa	7,50Aa
125%	240,6Aa	197,34Ba	7,50Aa	7,75Aa
D.M.S	6532		0,925	
CV%	53,47		47,68	

Legenda: Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste tukey.

Os diâmetros longitudinais dos frutos não apresentaram uma variação entre as doses de lodo, mas entre água residuária e água potável, os tratamentos irrigados com água residuária mostrou-se maiores, com valores médios não superiores a 79,41mm (tabela 12). Quanto ao diâmetro transversal, os resultados médios oscilaram entre 60,72 e 73,75mm, valores que conferem ao fruto da laranja

Valencia, de acordo com parâmetro estabelecido por Viégas (1991), a classificação como “grandes” e enfatizam o potencial para consumo como fruto de mesa.

A partir da razão entre os dois diâmetros estudados, obtém-se o valor DL/DT, importante para determinar o formato do fruto, uma característica relevante para a comercialização do produto como fruto de mesa. Quanto a essa variável, os valores variaram de 0,87 a 1,02, com média geral equivalente a 1,0, isto é, os frutos são de formato arredondado e possuem diâmetro longitudinal semelhante ao transversal, classificando-o como fruto de qualidade para mesa.

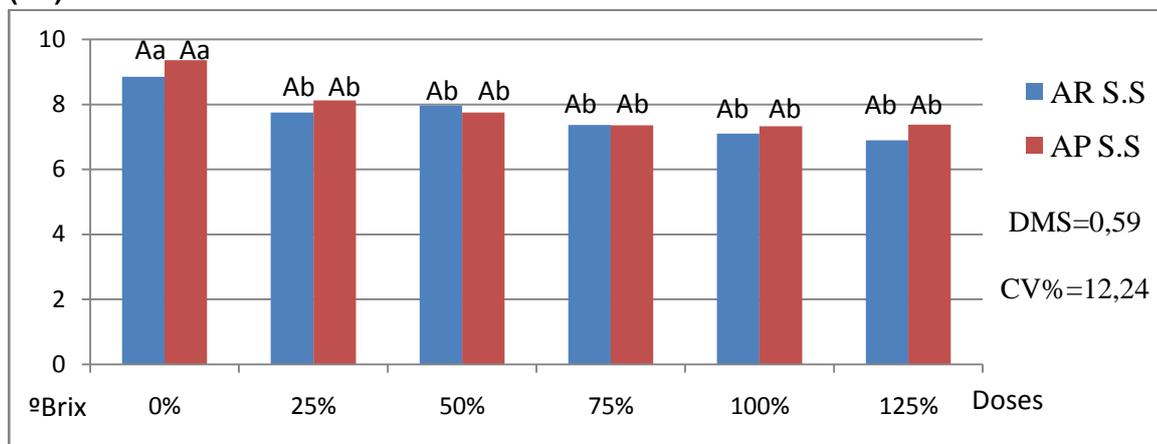
**Tabela 12 Médias dos diâmetros longitudinais (DL) e transversais (DT) e relação DL/DT] de frutos de laranja-Valência, Botucatu - SP, 2015.**

Dose	DL. (mm)		DT. (mm)		Relação DL/DT	
	AR	AP	AR	AP	AR	AP
0%	59,67Bb	69,71Ba	60,88Bb	66,53Aa	1,02	0,95
25%	74,76Aa	76,477ABa	73,75Aa	60,53Bb	0,98	0,92
50%	78,33Aa	70,892ABb	61,15Aa	60,39Bb	0,87	0,93
75%	76,38Aa	75,67ABa	61,28Aa	60,44Ba	0,89	0,94
100%	76,34Aa	72,18ABa	60,98Ba	60,32Ba	0,9	0,94
125%	79,41Aa	77,093Aa	60,72Ba	60,48Ba	0,91	0,95
D.M.S	13,90		18,58		0,003	
CV%	8,23		8,21		6,09	

Legenda: Médias seguidas de mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste tukey.

Dentre as variáveis químicas avaliadas (figura 12), os teores de sólidos solúveis nos tratamentos com água residuária apresentaram valores médios variando entre 6,9 e 8,85 °Brix e na água potável valores médios variando entre 7,38 e 9,36 °Brix, e portanto valores baixos se comparados com os obtidos por Cavalcante, Martins e Stuchi (2006), que registrou o mais elevado SS equivalente 13,6 °Brix para a variedade Hamlin, uma das quatro variedades de laranja mais plantadas no Estado de São Paulo e também abaixo dos valor mínimo estabelecidos para sólidos solúveis, que de acordo com as normas de classificação, padronização e identidade da laranja para o Programa Brasileiro para a melhoria dos padrões comerciais e embalagens de hortigranjeiros, deve ter no mínimo 10 °Brix (HORTIBRASIL, 2013).

**Figura 12. Média dos teores sólidos solúveis (S.S) dos frutos da laranja 'Valência' em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).**

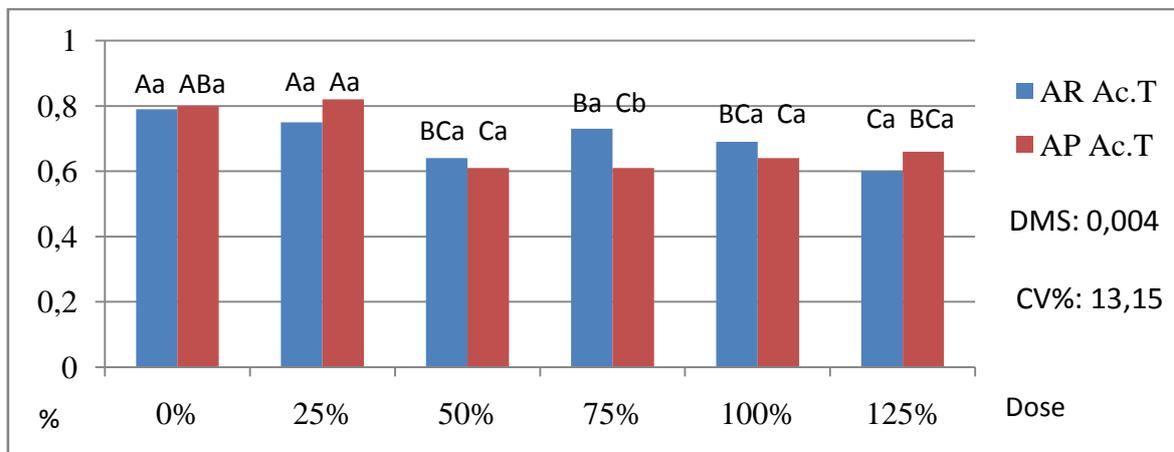


Legenda: Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas doses e maiúscula no tipo de água, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste tukey.

Para a acidez titulável (AT) os valores observados no figura 13, para a laranja 'Valência' encontram-se menores dos apresentados, por exemplo, para a variedade 'Hamlin' (CAVALCANTE; MARTINS; STUCHI, 2006). O consumo da maioria das laranjeiras depende do teor de diminuição do teor de acidez até um ponto em que seu suco se torne agradável ao paladar (AWAD, 1993), ponto a partir do qual a diminuição da AT passa a representar um fator deletério da qualidade do fruto.

Para frutos de laranja produzidos com finalidade industrial, foram determinados por Steger (1990) limites inferiores e superiores de acidez titulável que o fruto deve apresentar no momento da colheita, equivalentes a 0,75 e 1% respectivamente. Nesse sentido, todos os tratamentos produziram frutos ótima acidez, numa variação de 0,6 à 0,82%, na figura 5, inclusive com média inferior à "João Nunes", variedade que reconhecidamente é caracterizada por possuir frutos de média acidez, com percentuais não superiores a 0,85% (DONADIO; FIGUEIREDO, 1995).

**Figura 13. Média de acidez titulável (Ac. T) dos frutos da laranja 'Valência' em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).**



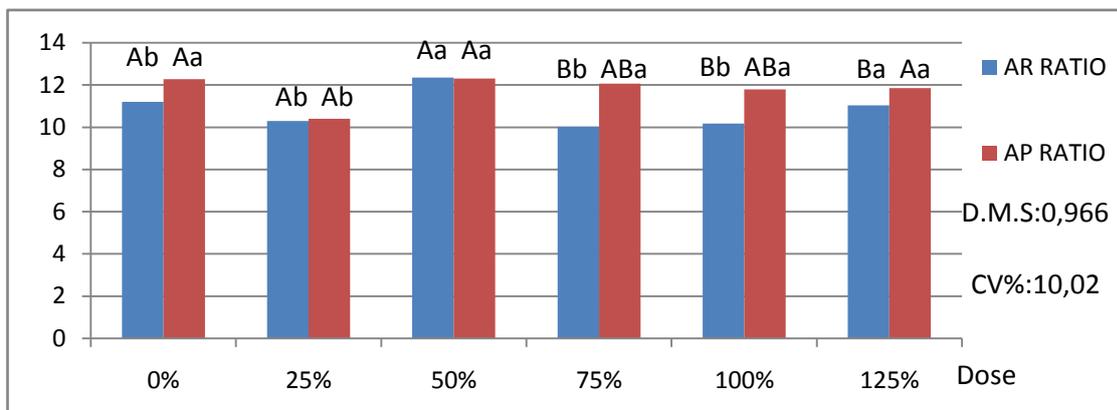
Legenda: Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas doses e maiúscula no tipo de água, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste tukey.

Quanto ao “ratio” (SS/AT), as médias dos tratamentos variaram entre 10,03 a 12,35 irrigados com água residuária e 10,4 a 12,31 com água potável, portanto encontram-se bem abaixo dos apresentados por Cavalcante, Martins e Stuchi (2006) para algumas cultivares tradicionais de laranja cultivadas no Estado de São Paulo como João Nunes, Hamlin e Westin com 23,46; 18,98 e 19,32 respectivamente.

O “ratio” ou relação dos açúcares/ácidos inorgânicos é uma relação que apresenta relevância diferenciada para o fruto cítrico se comparada a outras frutas, pois reflete o índice de maturidade do fruto cítrico a partir do balanço do sabor doce e ácido. Conforme Marchi (1993), a faixa de ratio de 12 a 13 é a preferida para a indústria iniciar o processamento; Steger (1990) relacionou o “ratio” entre 12 e 14 como o de melhor sabor para o consumo na forma de suco.

Embora também classificada como laranja-azeda e com características morfológicas semelhantes de acordo com Lorenzi et al. (2006), a laranja Valencia avaliada no presente estudo, não apresentou baixos valores acidez, o que caracteriza o sabor azedo.

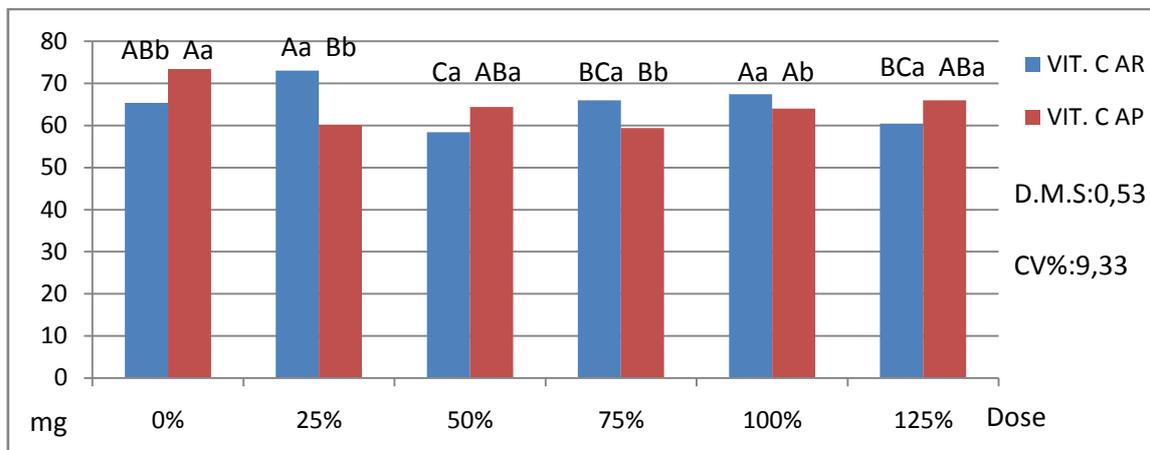
**Figura 14. Média de Ratio dos frutos da laranja 'Valência' em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).**



Legenda: Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas doses e maiúscula no tipo de água, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste tukey.

O conteúdo de vitamina C variou dentre os tratamentos de 58 a 73 mg/100 g de polpa não tendo uma seqüência lógica, portanto inferior aos 113 mg/100 g de polpa apresentados para o caqui (CAVALCANTE et al., 2007b), e acima dos valores obtidos para limão e uva (LEE; KADER, 2000) com médias de 50 mg/100g e 21 mg/100g de polpa, respectivamente. Por outro lado, os resultados do presente trabalho são inferiores à média reportada por Cavalcante et al. (2007a) para a acerola, que registraram resultados entre 575 e 1141 mg/100g de polpa. De uma forma geral os valores contidos na figura 15 são considerados altos para uma fruta cítrica, considerando-se o nível mínimo adequado é de 50 mg/100g de polpa (KIMBALL, 1991). Para a laranja, especificamente, Lee e Kader (2000) reportaram 75 e 54 mg/100g de polpa, respectivamente, para laranjas produzidas na Califórnia e Flórida.

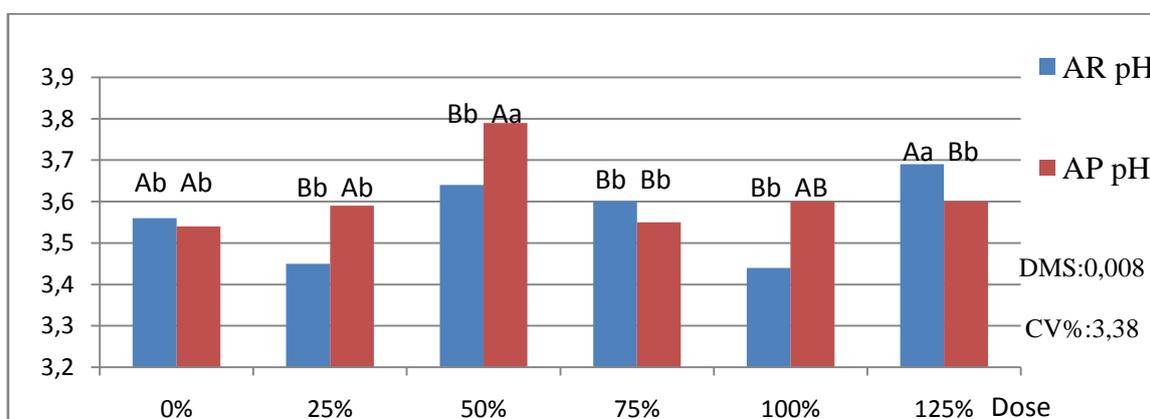
**Figura 15.** Média da vitamina C (Vit. C.) dos frutos da laranja 'Valência' em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).



Legenda: Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas doses e maiúscula no tipo de água, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste tukey.

Em relação ao pH, a laranja 'Valência' apresentou médias de 3,44 a 3,79, portanto bem inferior ao apresentado por Damasceno Júnior e Bezerra (2002) para o caju, com média de 4,4, para o mamão (MESQUITA et al., 2007) com média de 5,4. A acidez constitui fator de grande importância para o sabor e aroma dos frutos, pois essa característica influencia o escurecimento oxidativo dos tecidos vegetais. A diminuição do seu valor acarreta redução da velocidade de escurecimento do fruto (BRAVERMAN, 1967).

**Figura 16.** Média do pH dos frutos da laranja 'Valência' em função das doses de lodo compostado e a comparação entre água residuária (AR) e água potável (AP).



Legenda: Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas doses e maiúscula no tipo de água, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste tukey.

#### 4.4 Produção de Frutos

Na produção de frutos observou-se que houve influência significativa nos tratamentos obtiveram-se maiores valores nos tratamentos aplicado lodo e foi irrigado com água potável teve as maiores medias com 15794 kg ha<sup>1</sup>, 146,25 frutos e 9,68 m<sup>3</sup> de volume de copa, e destacando as doses de lodo de 25%, 75% e 100% irrigados com água residuária mostraram-se produtivo com 15798, 13905 e 14184 kg ha<sup>1</sup>, 133,75, 101,75 e 137,50 frutos e 7,87, 9,81 e 8,49 m<sup>3</sup> de volume de copa respectivamente, mas estando abaixo da produção estimada por Figueiredo (2006) para pomares com 5 anos, cerca de 38352 kg ha<sup>1</sup>, e também o volume de copa ficou abaixo dos valores apresentados por Auler (2008) variando de 21,9 á 34,3m<sup>3</sup>; deve-se a limitação apresentada pelos vaso em que as plantas foram conduzidas, limitando o volume de solo e diminuindo o desenvolvimento de raízes e copa.

**Tabela 13 Valores médios da produção em kg ha<sup>-1</sup>, quantidade de frutos e volume de copa em m<sup>3</sup>, da laranjeira 'Valencia', Botucatu - SP, 2015.**

Doses	Ton. ha <sup>1</sup>		Numero de frutos por plantas		Volume de copa m <sup>3</sup>	
	AR	AP	AR	AP	AR	AP
0%	7.2BCb	15.8Aa	44,25Cb	146,25Aa	7,32Bb	9,68Aa
25%	15.8Aa	9.0BCb	133,75Aa	64,25BCb	7,87ABa	7,12BCa
50%	4.9Ca	14.4ABb	35,3Cb	111,50ABa	7,70ABa	8,01BCa
75%	13.9Ba	5.2Cb	101,75Ba	36,75Cb	9,81Aa	8,96ABa
100%	14.2ABa	6.6Cb	137,50Aa	73,3BCb	8,49ABa	8,25ABCa
125%	8.5ABCb	13.5ABa	53,75Cb	103,5ABa	6,62Bb	8,51ABCa
D.M.S	8,84		890,98		1,04	
CV%	46,19		49,13		15,03	

Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna (avaliações), minúscula na linha (cultivares), não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% probabilidade.

#### 4.5 Parâmetros biométricos

Houve influência significativa somente na altura e no diâmetro da copa das laranjeiras em função do tipo de água utilizada (Tabela 14). Verificou-se maiores valores para plantas irrigadas com água de reuso, isso deve-se ao fato da mesma ser rica em nutrientes, favorecendo o desenvolvimento das plantas (Tabela 15).

**Tabela 14. Resumo da análise de variância para a cultura da laranja submetida a irrigação com água residuária e potável e diferentes doses de lodo de esgoto.**

Fatores	Altura de copa	Diâmetro de Copa	Altura de tronco	Diâmetro de tronco (m)	N. Frutos
Tipo de água (TA)	4,30*	8,07**	0,34 <sup>NS</sup>	0,10 <sup>NS</sup>	0,14 <sup>NS</sup>
Doses (D)	1,09 <sup>NS</sup>	3,46*	0,97 <sup>NS</sup>	4,24**	10,47**
TA X D	3,19**	1,01 <sup>NS</sup>	2,96*	3,61**	1,86 <sup>NS</sup>
C.V.(%)	12,34	11,41	17,67	8,93	37,67

Legenda. <sup>NS</sup>Não significativo, \*,\*\* significativo a 5 e 1%, respectivamente e C.V., coeficiente de variação.

**Tabela 15. Comparação das médias da altura e diâmetro de copa, altura e diâmetro de tronco e número de frutos irrigados com água residuária e potável.**

Fatores	Altura de copa	Diâmetro de Copa	Altura de tronco	Diâmetro de tronco (m)	N. Frutos
AP	1,36b	2,03b	0,54a	0,10a	64,20a
AR	1,45a	2,20a	0,53a	0,10a	66,36a

Legenda: As médias seguidas de mesma letra, minúscula na coluna, não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste t.

O diâmetro da copa foi significativamente influenciado pelas doses de lodo de esgoto compostado quando irrigado com água residuária. À medida que aumentou a dose de lodo de esgoto compostado aplicada houve uma tendência no aumento do diâmetro da copa, atingindo o pico do diâmetro quando adubadas com 125% lodo de esgoto compostado.

#### 4.6 Teores de metais pesados

Em relação ao teor de metais pesados no tecido foliar da laranjeira, inicialmente, deve-se destacar que os teores considerados fitotóxicos são, em mg kg<sup>-1</sup> de 100 a 150 para o Mn; 50 a 100 para o Ni; 3 a 20 para o Cu; 500 a 1.500 para o Zn (Webber et al., 1984), e de 56 para o Pb (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Os

teores de metais pesados verificados no tecido foliar da laranjeira indicaram, a partir dos dados máximos citados anteriormente, que os teores fitotóxicos não foram alcançados na aplicação das doses crescentes dos lodos compostado.

Ainda assim, para os metais Ba, Cu, Cr, Ni e Zn, foi possível detectar teores foliares de laranjeira, sendo que as leituras dos seguintes elementos As, Cd, Pb, Hg, Mo e Se estavam abaixo do método analítico utilizado.

## 5 CONCLUSÕES

O uso de lodo de esgoto compostado na substituição da adubação química é viável, pode suprir a necessidade nutricional da cultura e a irrigação com água residuária suplementa essa nutrição, promovendo reciclagem dos resíduos e diminuindo custos.

O lodo de esgoto compostado foi capaz de suprir a demanda de N pelas laranjeiras.

A aplicação do lodo de esgoto compostado no solo proporcionou redução do pH e dos teores de K e Mg e aumento dos teores de M.O., P, CTC, V%, Ca, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn.

Os teores de metais pesados detectados não apresentam risco de contaminação do solo e os teores encontrados nos frutos estão muito abaixo dos limites estabelecidos pela legislação.



## REFERÊNCIAS

- AGRIANUAL: anuário da agricultura brasileira 2013. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2013. 480 p.
- ADEKALU, K. O.; OKUNADE, D. A. Effects of pond water and sewage effluent treatments on yield and nutrient uptake of maize. **Tropical Agriculture**, v.79, n.2, p.120-124, 2002.
- AL-NAKSHABANDI, G. A. et al. Some environmental problems associated with the use of treated wastewater for irrigation in Jordan. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v.34, p.81-94, 1997.
- ALMEIDA, O. A. Qualidade da água de irrigação. - Cruz das Almas : Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.227p.
- ALVES JUNIOR, J. et al. Produção e qualidade de fruto de plantas jovens de Lima ácida 'Tahiti' sob diferentes manejos de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33, 2004. São Pedro. **Anais...** São Pedro: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004. CD-ROM.
- ANDRADE, C. A.; SILVA, L.F. M.; PIRES, A. M. M.; COSCIONE, A. R. Mineralização do carbono e do nitrogênio no solo após sucessivas aplicações de lodo de esgoto. *Pesq. Agropec. Bras.* 2013;45:536-44.
- BERTONHA, A. et al. Resposta da laranjeira pêra em níveis de irrigação. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 26, n. 2, p. 185-191, 2004.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **The Nature and Properties of Soils**. 13 ed. Columbus: Prentice Hall, 2008. 965 p.
- CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL.  
**Norma P.4230**: Aplicação de biossólido em áreas agrícolas: Critérios para Projetos e Operação. São Paulo, 1999. 33 p.
- CHIBA, M. K. **Uso de lodo de esgoto na cana-de-açúcar como fonte de nitrogênio e fósforo: Parâmetros de fertilidade do solo, nutrição da planta e**

**rendimentos da cultura.** 2005. 142 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 375/2006:** 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. Brasília, DF, 2010. 32 p.

COSTA, F. X. et al. Efeitos residuais da aplicação de biossólidos e da irrigação com água residuária no crescimento do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, PB, v.13, n. 6, p. 687-693, 2009.

CROOK, James. Critérios de qualidade da água para reuso. Revista DAE. Departamento de Águas e Esgotos SABESP, São Paulo, v. 53, nº 174, nov. dez. p. 10 a 18. 1993. Disponível em: < [http://www.usp.br/cirra/arquivos/criterios\\_crook.pdf](http://www.usp.br/cirra/arquivos/criterios_crook.pdf) > Acesso em: 23 de fevereiro de 2013.

CITRUSB. Análise da estimativa de safra 2015/2016. Disponível em:

<http://www.CITRUSB.com/noticias/?id=311907>. Acesso em: 13 jan. 2016.

COELHO, E.F.; A.F. de J. Irrigação e fertirrigação em citros. Cruz das Almas, BA: Embrapa Fruticultura, 2000. 23p. (CNPMPF. Circular Técnica, Mandioca e 38).

CRUZ, A. C. R. Consumo de água por cultura de citros cultivada em latossolo vermelho amarelo. 2003. 92 f. Tese(Doutorado em agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

CUNHA, A.R. et al. Classificação climática para o município de Botucatu-SP, segundo Köppen. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1., 1999, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, p.487-491, 1999.

DARWISH, O. H.; AHMED, F. F.; MOHAMED, G. A. Fate of heavy elements in sludge when applied to fruit trees. **Journal of Agricultural Research**, Lahore, v. 42, p. 159-169, 1997.

DORIGON, E.B.; TASSARO, P. Caracterização dosefluente da lavagem automotiva em postos de atividade exclusiva na região AMAI – Oeste catarinense. *Unoesc & Ciência – ACBS, Joaçaba*, v. 1, n. 1, p.13-22, jan./jun. 2010.

DUENHAS, L. H. et al. Fertirrigação com diferentes doses de NPK e seus efeitos sobre a produção e qualidade de frutos de laranja (*Citrus sinensis*) 'Valência'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 214-218, 2002.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/SOLOS, 2006. 412p.

FERNANDES, N.G.; BASSANEZI, R.B. Morte súbita dos citros. *Fitopatologia Brasileira*, v.28, p.66-72, 2003.

FIGUEIREDO, J.O. Variedades copas. In: RODRIGUEZ, O. et al. (Ed.). **Citricultura Brasileira**. 2. ed. Campinas. Fundação Cargill, v.1, p.228-257, 1991.

FONSECA, A. F.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R. Maize growth and changes in soil fertility after irrigation with treated sewage effluent. I. Plant dry matter yield and soil nitrogen and phosphorus availability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 36, p. 1965-1981, 2005.

GILBERT, R.G.; FORD, H.W. Operational principles/emitter clogging. In: NAKAYAMA, F.S.; BULKS, D.A. *Trickle irrigation for crop production*. Amsterdam: Elsevier, 1986. p. 142-63.

GOMES, T. M.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R. SILVA, E.; SUNDEFELD JUNIOR, G. C.; DEON, M. D.; PIVELI, R. P. Aporte de nutrientes e estado nutricional da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto com e sem desinfecção. *Revista DAE, São Paulo*, v. 180, p. 17 - 23, 2009.

GOMES, E. R. Aplicação de água residuária e deficiência hídrica em espécies de interesse agrônomo. 157p. Tese (Doutorado em agronomia) – Universidade Estadual Paulista -Botucatu, 2016.

GUEDES, M. C.; POGGIANI, F. Variação dos teores de nutrientes foliares em eucalipto fertilizado com bio-sólido. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 63, p. 188-201, 2003.

GUEDES, M. C. **Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre Latossolo cultivado com *Eucalyptus grandis***. 2005. 154 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

GUEDES, M. C. et al. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 2, p. 267-280, 2006

HORTIFRUTI BRASIL. Edição especial, ano 12, nº 123, Maio 2013. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/>> Acesso em: 05 de junho de 2013.

HORTIBRASIL. **Norma**. Disponível em: <<http://www.hortibrasil.org.br/classificacao/laranja/arquivos/norma.html>> Acesso em: 20 de março de 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Indicadores da produção agrícola**. Março, 2012. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/estProdAgr\\_201203.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/estProdAgr_201203.pdf)> Acesso em: 10 de fevereiro de 2013..

JOHNS, G. G.; McCONCHIE, D. M. Irrigation of bananas with secondary treated sewage effluent. II. Effect on plant nutrients, additional elements and pesticide residues in plants, soil and leachate using drainage lysimeters. **Australian Journal of Agricultural Research**, Victoria, v. 45, p. 1619-1638, 1994

LAURINDO, V. T. **Interferência da fertirrigação, de lâminas e modos de aplicação localizada de água nos atributos químicos do solo e na produtividade da laranja ‘Valência’**. 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

LEAL, R. M. R.; FIRME, L. P.; HERPIN, U.; FONSECA, A. F.; MONTES, C. R.; DIAS, C.T.S; MELF, A. J. Carbon and nitrogen cycling in a tropical Brazilian soil cropped with sugarcane and irrigated with wastewater. *Agricultural Water Management*, nº 97, p. 271–276, 2010.

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

MACHIORI JÚNIOR, M. **Impacto ambiental da citricultura nos teores de metais pesados em solos do Estado de São Paulo**. 2002. 185 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Jaboticabal, 2002.

MADEJON, E.; BURGOS, P.; LÓPEZ, R.; CABRERA, F. Agricultural use of three organic residues: effect on orange production and on properties of a soil of the "Comarca Costa de Huelva" (SW, Spain). **Nutrient Cycling in Agroecosystems**. v.65, n.3, p.281-288, 2003.

MALAVOLTA, E., VITTI, G. C., OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 201 p.

MARQUES, M.O. **Incorporação de "resíduo orgânico" em solo cultivado com cana-de-açúcar**. 1996. 111p. Tese (Livre Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Jaboticabal, 1996.

MARIN, F. R. **Evapotranspiração, transpiração, e balanço de energia em pomar de lima 'Tahiti'**. 2000. 74p. Dissertação (Mestrado em Agronomia, área de concentração em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba, 2000.

MARQUES, M. O., MELO, W. J., MARQUES, T. A. Metais Pesados e o Uso de Biossólidos na Agricultura. In: TSUTIYA et al. **Biossólidos na Agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001.

MEDINA, C. L. et al. Fisiologia dos citros In: MATTOS JR., D.; DE NEGRI, J.D.; PIO, R.M.; POMPEU JR., J. (Eds.). **Citros**. Campinas: Instituto Agrônomo e Fundag, 2005. p. 148-195.

MELO, W. J., MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W., CAMARGO, O. A. **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 109-142.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; MELO, V. P. O uso agrícola do bio-sólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M. T. et al. (Eds.). **Bio-sólidos na agricultura**. São Paulo: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, 2001. p. 289-363.

MELO, W. J. et al. A resolução CONAMA 375 e os metais pesados. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. **Uso agrícola de lodo de esgoto - Avaliação após a resolução nº 375 do Conama**. Botucatu: Editora FEPAF, 2010. p. 157-170.

MOREIRA, L. L. Q. Alterações químicas no sistema solo-planta após adubação com lodo de esgoto compostado e irrigação com água residuária em laranjeira 'Valência'. 68p. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

NEVES, M. F. et al. **O retrato da citricultura brasileira**, São Paulo: CitrusBR, 2010. 138p

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

. OLIVEIRA, F. C. et al. Lodo de esgoto como fonte de macronutrientes para a cultura do sorgo granífero. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 52, n. 2, p. 360-367, 1995.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Mobilidade de metais pesados em um Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agrícola**. v.58, n.4, 2001, p.807-812.

OLIVEIRA, F. C. et al. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em um Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, p. 505-519, 2002.

PIRES, R. C. M. et al. Irrigação. In: MATTOS JÚNIOR, D. et al. **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico/Fundag, 2005. p. 370-408.

POMPEU JÚNIOR, J. Porta-enxertos In: MATTOS JÚNIOR, D. et al. **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico/Fundag, 2005. p. 63-104.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. van; PIZA JUNIOR, C. T.. Frutíferas. In: RAIJ, B. van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. p. 119-154.

QUAGGIO, J. A.; MATTOS JÚNIOR, D.; CANTARELLA, H. Manejo da fertilidade do solo na citricultura. In: MATTOS JUNIOR, D. et al. **Citros**. Campinas: Instituto Agrônômico/Fundag, 2005. p. 484-507.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres; Potafos, 1991. 343p.

RAIJ, B. Van et al. **Recomendação de adubação e calagem no Estado de São Paulo**. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. 300p. (Boletim 100).

RAIJ, B. Van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônômico. 284p. 2001.

RANGEL, O. J. P. et al. Acúmulo de Cu, Mn, Ni, Pb e Zn em latossolo vermelho, adubado com fontes de lodo de esgoto e cultivado com milho. **Ciência & Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 28, p. 15-23, 2004.

RODRIGUEZ, O. Aspectos Fisiológicos, Nutrição e Adubação dos Citros. In:

RODRIGUES, O.; VIEGAS, F.C.P.; POMPEU JUNIOR, J.; AMARO, A.A. (Ed.)

Citricultura brasileira. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1991. v. 1, p. 265-280.

SANTOS, H. F. Critérios de Qualidade da Água para Reuso. Revista DAE 174, Dez 1993.

SANTOS, C. H. et al. Fertilidade do solo e nutrição de tangerineiras 'Ponkan' manejados com resíduos sólidos e adubação química. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 1, p. 75–83, 2011.

SIMONETE, M. A. **Alterações nas propriedades químicas de um Argissolo adubado com lodo de esgoto e desenvolvimento e acúmulo de nutrientes em plantas de milho.** 2001. 89 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. C. Extração e fitodisponibilidade de metais em resposta a adição de lodo de esgoto no solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.19, n.3, 2002.

SIMONETE, M. A. et al. Efeito do lodo de esgoto em um argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, DF, v. 38 n. 10, 2003.

SOLOMON, K.H. Global uniformity of trickle irrigation system. Transaction of the ASAE, St. Joseph, v.28, n.4, p.1151-8, 1985.

TSUTYA, M.T. Alternativas de disposição final de bio-sólidos gerados em estações de tratamento de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.) **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto.** Jaguariúna: Embrapa, 2000. Cap. 4, p.69-106.

WEBBER, H.J. History and development of citrus Industry. In: The Citrus Industry, Berkeley, Univ. California. Press, vol. 1, chapter I, 1967. p. 1.

VIEIRA, D. B., GOMES, E. M. Determinação da profundidade efetiva do sistema radicular do limão ‘Cravo’ com copa de lima ácida ‘Tahiti’. **Laranja**, v.20, p.419-431, 1999.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: UFMG/DESA. 1996. 243 p.

ZEKRI, M.; KOO, R. C. J. Treated municipal wastewater for citrus irrigation. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 17, p. 693-708, 1994.