
DISPONIBILIZAÇÃO DE MICRONUTRIENTES PARA O CULTIVO DE LARANJEIRAS ‘PÊRA’ FERTILIZADAS COM LODO DE ESGOTO COMPOSTADO EM SUBSTITUIÇÃO À ADUBAÇÃO NITROGENADA MINERAL

Júlio César Thoaldo Romeiro¹;
Hélio Grassi Filho²;
Lais Lorena Queiroz Moreira³;
Maria Regina Viera da Rocha⁴;
Tais Santo Dadazio⁵

RESUMO

O lodo de esgoto compostado (LEC) é a porção sólida do resíduo gerado no tratamento de águas servidas, sejam domésticas, industriais ou agroindustriais, contendo níveis elevados de matéria orgânica, macro

1 Engenheiro Agrônomo Doutor Assistente Agropecuário da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI): Rua Ranimiro Lotufo, nº202 Vila Sonia, Botucatu-SP, 18607-050. jc.romeiro@hotmail.com

2 Professor Titular do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas - FCA/UNESP: Rua Dr. José Barbosa de Barros, nº 1780, Botucatu-SP, 18610-034. heliograssi@fca.unesp.br

3 Doutoranda do Curso de Pós-Graduação em Agricultura na Faculdade de Ciências Agronômicas - FCA/UNESP: Rua Dr. José Barbosa de Barros, nº 1780, Botucatu-SP, 18610-034. laisllorena88@hotmail.com

4 Engenheira Agrônoma Assistente de Planejamento Agropecuário da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI): Rua Campos Salles, nº 282, 19400-000 Presidente Venceslau – SP. maria.rocha@cati.sp.gov

5 Professora Ms., Faculdades Integradas de Bauru (FIB): Rua José Santiago, Quadra 15, Bauru-SP, 17056-120. tais.dadazio@hotmail.com

e micronutrientes fundamentais para a fertilidade do solo. Atualmente, a destinação deste material se constitui de grande preocupação do ponto de vista econômico-ambiental. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a disponibilização dos micronutrientes Boro (B), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn) ao solo no cultivo de laranjeiras 'Pêra' após fertilização com lodo de esgoto compostado em substituição à adubação nitrogenada mineral. Para o cálculo das doses aplicadas, considerou-se 2,77% de N presente no resíduo e taxa de mineralização de 30%, perfazendo as doses de 0, 6, 12, 18, 24 planta¹ de lodo de esgotocompostado, que representa 0, 25, 50, 75, 100% da quantidade requerida de N pela cultura da laranjeira, complementado com fontes minerais a fim de satisfazer 100% da demanda nutricional. As plantas foram crescidas em vasos com 500 L de solo e irrigadas por gotejamento para reposição da água evapotranspirada no dia anterior. A aplicação de lodo de esgoto compostado ao solo na fertilização de laranjeiras 'Pêra' em substituição à adubação nitrogenada mineral aumentou os teores de todos os micronutrientes proporcionalmente às doses adicionadas do resíduo ao solo. Atenção especial deve ser dada ao Zn, pois de acordo com as normas ambientais atuais, no oitavo ano de aplicação este elemento atingiria o limite máximo proposto pela resolução normativa federal.

Palavras-Chave: *Citrus sinensis*. Nitrogênio. Lodo de esgoto compostado.

Absorption of n, p, k, ca and mg in orange 'pear' fertilized with composted sewage sludge replacement in the mineral nitrogen

ABSTRACT

Composting sewage sludge (LEC) is the solid portion of waste generated in waste water treatment, whether domestic, industrial or agroindustrial, containing high levels of organic matter, macro and micronutrients that are fundamental to soil fertility. Currently, the destination of this material is of great concern from the economic and environmental point of view. The present work had the objective of evaluating the availability of the micronutrients Boron (B), Copper (Cu), Iron (Fe), Manganese (Mn) and Zn (Zn) to the soil in the 'Pêra' orange crop after fertilization with composted sewage sludge in substitution for mineral nitrogen fertilization.. For the calculation of doses, was considered 2.77 % N present in the residue and

mineralization rate of 30 % , making the doses of 0 , 6 , 12 , 18 , 24 and 30 kg plant⁻¹ of sewage sludge supplemented with mineral sources in order to meet 100 % of the nutritional demand. The plants were grown in pots with 500 L of soil and drip irrigated for replacement of water transpired the day before. The application of composted sewage sludge to the soil in the fertilization of 'Pêra' orange trees in substitution for mineral nitrogen fertilization increased the micronutrient contents in proportion to the added doses of the residue to the soil. Special attention should be given to the Zn, because according to current environmental standards, in the eighth year of application this element would reach the maximum limit proposed by the federal normative resolution.

Key Words: *Citrus sinensis*. Nitrogen. Composted sewage sludge.

1. INTRODUÇÃO

A laranjeira é uma planta originária do sudeste asiático, que encontrou no Brasil condições climáticas ótimas ao seu desenvolvimento, possibilitando a produção de frutos com baixo custo, quando comparado a outros países. O estado de São Paulo é o maior produtor de citros do Brasil, em 2012 o estado produziu 76,3% do volume nacional de frutas cítricas (IBGE, 2012).

A região de Botucatu, São Paulo, vem se tornando um importante polo de produção citrícola, visto a migração ocorrida dos pomares das regiões norte e noroeste do estado para as regiões sudoeste e centro-oeste, impulsionado principalmente pela incidência de doenças nas regiões ao norte que tem tornado inviável economicamente a produção de laranja nestas regiões. Atualmente o município possui 15.337 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, 2008).

A cultura da laranja demanda elevadas quantidades de macronutrientes, assim como de micronutrientes, quando comparada a outras culturas tradicionalmente produzidas como milho, soja e eucalipto. Os micronutrientes merecem atenção especial, pois apesar de ser absorvido em quantidades expressivamente menores que os macronutrientes, são tão importantes quanto este para produções satisfatórias.

O lodo de esgoto compostado (LEC), apresenta em sua composição micronutrientes e elementos necessários ao desenvolvimento e produção das plantas, os quais se encontram em sua grande parte na forma orgânica. Assim, são liberados gradativamente no solo por processos oxidativos, fornecendo nutrientes ao longo do ano às plantas e reduzindo os riscos de poluição ambiental (MELO; MARQUES;

MELO, 2001). Além disso, seu uso na agricultura seria uma alternativa ao descarte.

Com base nisso, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a disponibilização dos micronutrientes Boro (B), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn) ao solo no cultivo de laranjeiras 'Pêra' após fertilização com lodo de esgoto compostado em substituição à adubação nitrogenada mineral.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas dependências do Departamento de Recursos Naturais – Ciência do Solo, da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP/ Campus Botucatu, Estado de São Paulo. O município encontra-se a 810 m de altitude e o clima da região, segundo a classificação de Köppen, caracteriza-se pelo tipo *Cwa*, subtropical úmido com estiagem no período de inverno e com chuvas de novembro a abril, sendo a precipitação média anual de 1.433 mm. A umidade relativa do ar é de 71%, com temperatura média anual de 19,3 °C (CUNHA; MARTINS; RICARTE, 1999).

O solo da área experimental foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO de acordo com classificação da EMBRAPA (2013), coletado na Fazenda Experimental Lageado. As características químicas do solo foram analisadas pelo Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Recursos Naturais - Ciência do Solo da UNESP/Botucatu, segundo metodologia descrita por Raij et al. (2001) e encontram-se nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Parâmetros químicos médios de sete amostras do solo utilizado no

Prof. cm	pH CaCl ₂	MO g dm ⁻³	P mg dm ⁻³	Al ³⁺ -----	H+Al -----	K -----	Ca -----	Mg -----	S -----	SB	CTC	V%
0-20	4,1	7	2	9	86	0,1	3	1	3	4	90	4

Tabela 2. Parâmetros químicos médios de sete amostras do solo utilizado no

Prof. cm	B -----	Cu -----	Fe -----	Mn -----	Zn -----
0-20	0,05	0,7	45	0,4	0,2

O lodo de esgoto utilizado no experimento tem como origem a Companhia de Saneamento de Jundiaí-SP, proveniente do tratamento de esgotos predominantemente

domiciliares, por meio de lagoas aeradas de mistura completa, seguidas de lagoas de decantação. Ao material estabilizado após o tratamento, adicionou-se bagaço de cana-de-açúcar e resíduos de poda das árvores e gramados, num processo de compostagem, apresentando ao final do tratamento as características descritas na Tabela 3.

pH	C/N	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MO	C	Ca	Mg	S	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
-----% na matéria seca-----											---mg.kg ⁻¹ matéria seca--			
6,6	12/1	2,77	2,00	0,4	53	29,4	1,9	0,3	1,6	1340	304	23250	472	3750

O experimento foi instalado em agosto de 2008 em recipientes com capacidade de 500 L de solo. Foi utilizado o delineamento estatístico em blocos casualizados, sendo 6 tratamentos e 6 repetições, totalizando 36 plantas. Para o cálculo das doses de lodo de esgoto aplicadas, considerou-se 2,77% de N presente no resíduo e taxa de mineralização de 30%, perfazendo as doses de 0, 6, 12, 18, 24 e 30 kg planta⁻¹ de lodo de esgoto, que representa 0, 25, 50, 75 e 100%, respectivamente, da recomendação de N para a cultura da laranjeira segundo Quaggio, Raij e Piza Junior (1997). A complementação da dose de N necessária para se alcançar os 100% do requerimento da cultura deu-se pela aplicação de N mineral. Os tratamentos são assim descritos: T1: 100% da dose de N recomendada fornecida via adubação mineral (0 kg lodo planta⁻¹); T2: 75% da dose de N recomendada fornecida via adubação mineral e 25% da dose de N recomendada fornecida via LEC (6 kg lodo planta⁻¹); T3: 50% da dose de N recomendada fornecida via adubação mineral e 50% da dose de N recomendada fornecida via LEC (12 kg lodo planta⁻¹); T4: 25% da dose de N recomendada fornecida via adubação mineral e 75% da dose de N recomendada fornecida via LEC (18 kg lodo planta⁻¹); T5: 100% da dose de N recomendada fornecida via LEC (24 kg lodo planta⁻¹); T6: 125% da dose de N recomendada fornecida via LEC (30 kg lodo planta⁻¹).

Todos os tratamentos receberam adubações complementares de cobertura juntamente com a água de irrigação (fertirrigação), a fim de satisfazer as necessidades nutricionais da cultura quanto aos elementos P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, de acordo com recomendação proposta por Quaggio, Raij e Piza Junior (1997). Durante o experimento, realizou-se a irrigação de maneira a repor a quantidade de água utilizada pelas plantas devido à evapotranspiração da cultura, obtida diariamente através do método do Tanque Classe A para estimativa da evaporação,

corrigida pelo coeficiente da cultura de acordo com a idade das plantas. Para fins deste experimento, considerou-se 95% de eficiência do sistema, conforme Bernardo, Soares e Mantovani (2008). O tempo de irrigação foi obtido pela razão entre a lâmina a ser aplicada e a intensidade de aplicação do gotejador.

Nos meses de abril de 2010 e abril de 2011, quando as plantas estavam com 1,5 e 2,5 anos respectivamente, foram coletadas amostras simples de solo de todos os vasos com auxílio de um trado de rosca $\frac{1}{2}$, onde cada dois vasos representam uma repetição, na profundidade de 0-20 cm, a fim de se verificar a quantidade de nutrientes existentes em cada tratamento proposto, totalizando 3 repetições por tratamento e 36 amostras totais. Os resultados obtidos referentes aos meses de abril de 2010 e abril de 2011 foram utilizados como indicativos dos efeitos produzidos pelas adubações realizadas em novembro de 2009 e novembro de 2010 (lodo de esgoto). As amostras retiradas foram homogeneizadas, secas em estufa com circulação forçada de ar em temperatura variando entre 65-70°C e enviadas ao Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento Recursos Naturais/Área de Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP/Câmpus de Botucatu para a determinação dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn, 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, Fe, Mn e Zn em extrato de DTPA a pH 7,3. Os dados foram submetidos à análise de regressão.

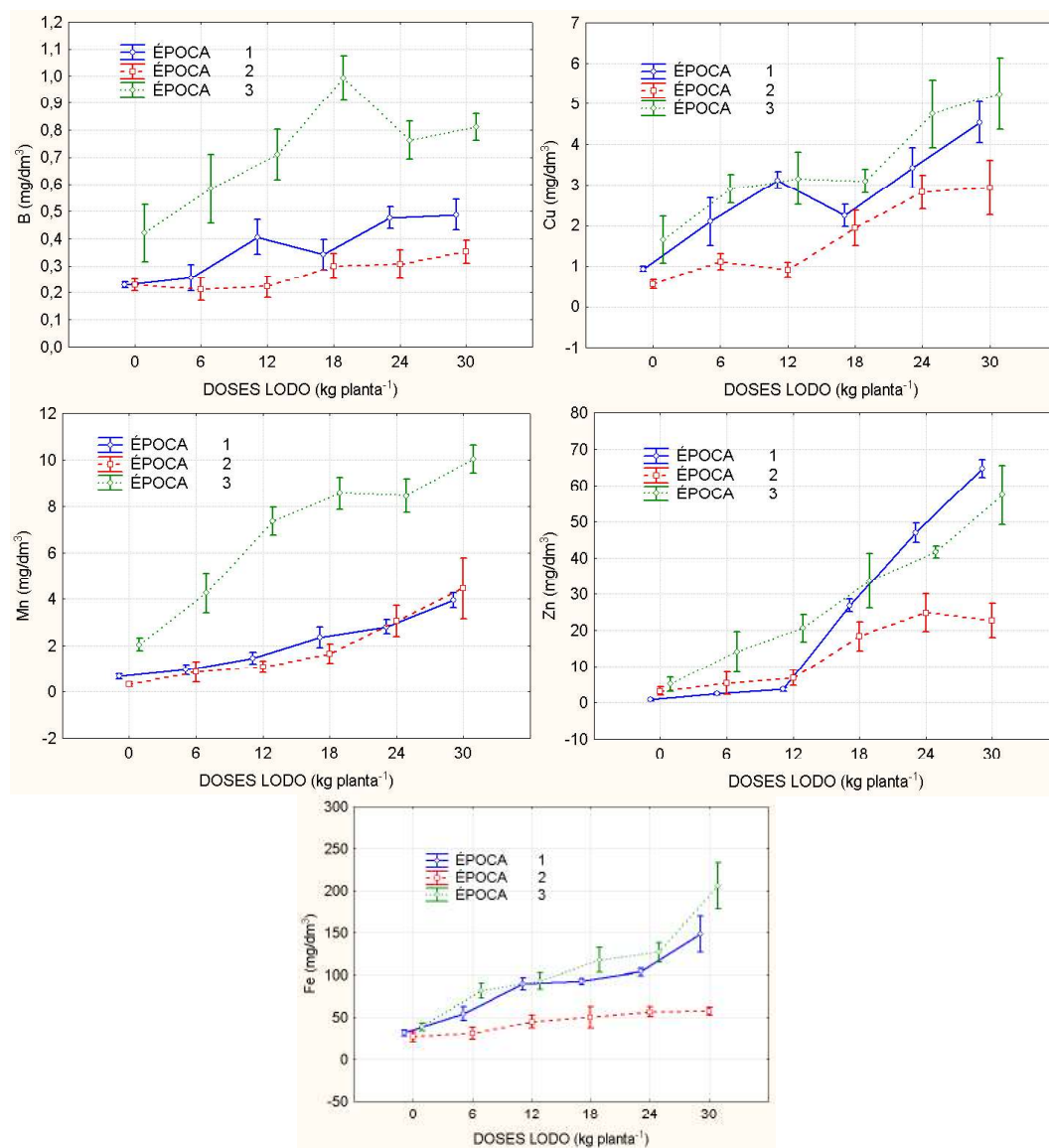
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados constantes na Figura 1, referentes aos teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn encontrados no solo do presente experimento, nota-se que houve diferença estatística significativa ao nível de 5% de probabilidade entre os tratamentos que utilizaram diferentes doses de lodo de esgoto para todos os parâmetros analisados, com tendência de aumento linear de todos os micronutrientes em função do aumento da dose do material orgânico adicionado ao solo, nas três épocas avaliadas.

-

-

Figura 1. Teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn (mg dm^{-3}) em função da aplicação de LEC ao solo nas doses de 0, 6, 12, 18, 24 e 30 kg planta^{-1} , que representa 0, 25, 50, 75, 100 e 125% da quantidade requerida de N pela cultura da laranjeira, em 3 épocas distintas (abril/2010; outubro/2010 e abril/2011). Botucatu, SP-2010/2011.



O potencial do lodo de esgoto no fornecimento de micronutrientes ao solo já foi destacado por diversos autores que estudaram a aplicação deste resíduo, seja utilizado como fonte de nutrientes nas adubações das culturas estudadas, seja como condicionador de solo para melhoria de parâmetros físicos seja como material de recuperação de áreas degradadas. De maneira geral, pode-se dizer que o lodo

de esgoto é uma fonte excelente de fornecimento de micronutrientes às culturas, elementos geralmente excluídos dos protocolos de adubação recomendados e que são tão limitantes à produção quanto os macronutrientes.

A adubação de laranjeiras exclusivamente com lodo de esgoto foi capaz de fornecer micronutrientes para satisfazer as necessidades nutricionais das plantas, visto que para todos estes elementos, com exceção ao Mn, o presente experimento constatou que os teores foliares ficaram dentro da faixa considerada adequada segundo recomendação de Quaggio, Mattos Júnior e Cantarella (2005). Em contrapartida, deve-se estar atento ao acúmulo destes elementos no solo devido a aplicações sucessivas deste material ao solo, elevando os teores destes elementos, que em alguns casos são tidos como metais pesados, a tal ponto de provocarem a contaminação do solo e conseqüente prejuízo ambiental.

Em concordância com os dados obtidos neste experimento, Nascimento et al. (2004) observou aumento dos teores de todos os micronutrientes estudados devido a adição de lodo de esgoto ao solo, com destaque à elevação e acúmulo de Zn ao solo na ordem de doze vezes entre a maior dosagem (60 Mg ha^{-1}) e o tratamento testemunha (0 Mg ha^{-1}), além do Mn na ordem de sete vezes comparando-se a maior e menor doses do experimento. Barbosa (2008) em experimento semelhante ao presente, substituindo o N de fontes minerais pelo equivalente presente em lodo de esgoto, porém na fertilização de bananeiras, não observou diferença estatística significativa para os teores de micronutrientes encontrados no solo após dois ciclos de cultivo, exceção feita ao Zn, que apresentou crescimento linear em função do aumento da dose de lodo (variou de 0 a $53,75 \text{ Mg ha}^{-1}$), quantidade bastante superior aos $13,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ utilizadas como maior dosagem neste experimento.

Considerando o limite máximo da carga acumulada teórica permitida de substâncias inorgânicas pela aplicação de lodo de esgoto ou produto derivado através da Resolução nº 375 do CONAMA, preocupa o teor de Zn encontrado nos tratamentos 5 e 6, da ordem de 58 mg dm^{-3} de solo na terceira época. Isso porque em 1 ha, a quantidade de Zn presente neste solo seria de 58 kg ha^{-1} , e ainda, considerando o limite máximo de 445 kg ha^{-1} de Zn estabelecido pela norma, no oitavo ano de aplicação chegar-se-ia ao máximo, inviabilizando a continuidade desta prática. Para o Cu, outro elemento constante na norma, este prazo seria de 27 anos. Para todos os micronutrientes avaliados, as maiores doses de lodo de esgoto promoveram incrementos bastante significativos superando os limites adequados estabelecidos por Quaggio, Mattos Júnior e Cantarella (2005).

4. CONCLUSÕES

A aplicação de lodo de esgoto compostado ao solo na fertilização de laranjeiras 'Pêra' em substituição à adubação nitrogenada mineral aumentou os teores de todos os micronutrientes proporcionalmente às doses adicionadas do resíduo ao solo.

Dos cinco micronutrientes analisados no solo, atenção especial deve ser dada ao Zn, pois de acordo com as normas ambientais atuais, no oitavo ano de aplicação este elemento atingiria o limite máximo proposto pela resolução normativa federal.

5. REFERÊNCIAS

BARBOSA, R. D. *Manejo do solo com lodo de esgoto em bananeira irrigada*. 2008. 84 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. *Manual de irrigação*. 8. ed. Viçosa: UFV, 2008. 596 p.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D.; RICARTE, R. M.. Classificação climática para o município de Botucatu-SP, segundo Koppen. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1., 1999, Botucatu. *Anais...* Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, 1999. p. 487-491.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Instrução técnica n. 31: aplicação de água de reúso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura*. São Paulo, 2006. 12 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 3 ed. Rio de Janeiro: *Embrapa Solos*, 2013. 353p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Indicadores IBGE*. Janeiro 2012. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201212comentarios.pdf>. Acesso em: 10 Fevereiro 2013.

LUPA - *Levantamento censitário de unidades de produção agrícola do Estado de São Paulo*. São Paulo: SAA/CATI/IEA, 2008. Disponível em: <<http://www.cati.sp.gov.br/projetolupa>>. Acesso em: 28 out. 2011.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; MELO, V.P. O uso agrícola do bio-sólido e as propriedades do solo. In. TSUTTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T. MELFI, A.J.; MELO, W.J. & MARQUES, M.O. eds. *Bio-sólidos na agricultura*. São Paulo, SABESP, 2001. p.289-363.

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A.S.; MELO, E.E.C.; OLIVEIRA, A.B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2004.

QUAGGIO, J. A.; MATTOS JÚNIOR, D.; CANTARELLA, H. Manejo da fertilidade do solo na citricultura. In: MATTOS JUNIOR, D.; DE NEGRI., J. D.; PIO, R. M.; POMPEU JUNIOR, J. *Citros*. Campinas: Instituto Agronômico/Fundag, 2005. cap. 17, p. 483-507.

QUAGGIO, J. A.; RAIJ, B. Van; PIZA JUNIOR, C. L. Frutíferas. In: RAIJ, B. Van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C.(Ed.). *Boletim técnico 100 -Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2.ed. Campinas: IAC, 1997. p. 119-154.

RAIJ, B.V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agronômico, 2001. 285 p.