

EFEITO TEMPORAL DA UTILIZAÇÃO DE BIODOSSÍLIDO E EFLUENTE TRATADO NA SODICIDADE E SALINIDADE DO SOLO

**DÁVILLA ALESSANDRA DA SILVA ALVES¹; RAFAEL OLIVEIRA DE MELO²;
JÉSSICA DE LIMA³; JOSÉ CARLOS COELHO⁴ E HÉLIO GRASSI FILHO⁵**

¹*Doutoranda em Agronomia: Irrigação e drenagem, Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), Rua José Barbosa de Barros, 1780, CEP 18610-307, Jardim Paraíso, Botucatu/SP, Brasil. e-mail: davilla.alessandra@gmail.com;*

²*Engº Agrº, Grupo MNS, Avenida Miguel Petrere, Nº 777, Pilar do Sul/S, CEP: 18185-000. Contato: (015) 3278-9000, Sorocaba/SP, Brasil.. e-mail: rafaeldemelo.net@gmail.com*

³*Mestre em Agronomia: Irrigação e drenagem, Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), Rua José Barbosa de Barros, 1780, CEP 18610-307, Jardim Paraíso, Botucatu/SP, Brasil. e-mail: jessik1300@hotmail.com*

⁴*Mestre em Agronomia: Irrigação e drenagem, Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), Rua José Barbosa de Barros, 1780, CEP 18610-307, Jardim Paraíso, Botucatu/SP, Brasil.. e-mail: jose.coelho@unesp.br*

⁵*Prof. Dr. Depto de Solos e Recursos Ambientais, Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA/UNESP), Rua José Barbosa de Barros, 1780, CEP 18610-307, Jardim Paraíso, Botucatu/SP, Brasil. e-mail: helio.grassi@unesp.br*

1 RESUMO

Objetivou-se avaliar o efeito do uso contínuo de doses de biossólido e efluente doméstico tratado no potencial de risco de sodicidade e salinidade do solo. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em parcelas subdivididas com dez tratamentos e cinco repetições. As parcelas consistiram no uso de dois tipos de água para irrigação (AR- efluente doméstico tratado e AB- água de abastecimento) e as subparcelas pelas doses de biossólido (0, 50, 100, 150 e 200 %), nos anos de 2011 a 2016. Avaliaram-se a condutividade elétrica (CE), pH, Ca, Mg, Na, RAS e PST do solo. Conclui-se que o efeito da adubação mineral (0% - controle) com AB foi semelhante ao uso do efluente na CE do solo para o mesmo tratamento. Doses a partir de 127,4% e 113,2% de biossólido, respectivamente, junto a AR e AB diminuiram o teor de Na⁺ trocável do solo. Os resultados indicaram baixo risco de sodicidade e salinidade, após cinco anos de uso.

Palavras-chave: condutividade elétrica, sódio, reuso

**ALVES, D.A.S, DE MELO, R. O., DE LIMA, J., COELHO, J.C., GRASSI FILHO, H
TEMPORAL EFFECT OF CONTINUOUS USE OF BIOSOLID AND EFFLUENT
TREATED IN THE SOIL SODICITY AND SALINITY**

2 ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of continuous use of sewage sludge and treated domestic effluent on the potential risk of soil sodicity and salinity. The experimental design was completely randomized in split plots with ten treatments and five replications. The plots consisted of the use of two types of irrigation water (treated domestic effluent AR and supply water AB) and the subplots by the biosolid doses (0, 50, 100, 150 and 200%) in the years 2012 to 2017. The electrical conductivity (EC), pH, Ca, Mg, Na, RAS and PST of the soil were

evaluated. It was concluded that the effect of mineral fertilization (0% - control) with AB was similar to the effluent use in soil EC for the same treatment. Doses from 127.4% and 113.2% of biosolid, respectively, with RA and AB decreased the exchangeable Na content of the soil. Results indicated low risk of sodicity and salinity after five years of use.

Keywords: electrical conductivity, sodium, reuse.

3 INTRODUÇÃO

A utilização agrícola de efluentes é economicamente vantajosa, por reduzir a aplicação de fertilizantes e está disponível em qualquer época do ano para uso na irrigação. Todavia, necessita de tratamento prévio, e apesar deste processo remover uma parte dos nutrientes, o sódio (Na^+) ainda permanece em alta concentração e pode resultar no aumento da condutividade elétrica na água (MOYO et al., 2015).

Altos valores de condutividade em água de irrigação, portanto, indicam alto teor de outros sais além do sódio, e podem resultar no risco de salinização e sodicidade do solo, induzindo certos caracteres físico-químicos que provocam a dispersão da argila, e tem efeito direto nas propriedades hidrodinâmicas, sobretudo, na condutividade hidráulica e taxa de infiltração (LAUCHLI; EPSTEIN, 1990; MATOS et al., 2014). Estas alterações também podem ser o reflexo do manejo quanto a técnica utilizada, sobretudo, do tempo de uso e frequência de aplicação (URBANO et al., 2017).

Em solos afetados por sais, o uso de materiais orgânicos no solo tem sido apontado como um recurso para mitigar a concentração de sais e até melhorar a sua funcionalidade, quanto as características físicas e de fertilidade (GULSER et al., 2010). Miranda (2011) afirma que as aplicações de materiais orgânicos promovem o aumento da condutividade hidráulica saturada e o aumento da macroporosidade, e pode ser um forte indício na contenção e recuperação destes solos. Este método, segundo Lakhdar et al.

(2009), se baseia na remoção de sódio do complexo de troca como consequência da distribuição dos ácidos húmicos, provavelmente devido ao alto suprimento de bases trocáveis.

Nesta perspectiva, com o tratamento de efluentes é produzido o lodo, e quando compostado se constitui numa fonte importante de matéria orgânica para a agricultura (PASSUELO et al., 2012). Por essa razão, a reciclagem deste material surge como uma alternativa eficiente para fechar a lacuna de aproveitamento de efluentes, e pode apresentar potencial na supressão de sais no solo.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito sobre a sodicidade e salinidade do solo submetido ao uso contínuo de doses de biossólido, como fertilizante orgânico, junto a fertirrigação com efluente doméstico tratado.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições controladas, sob ambiente protegido, no departamento e Solos e Recursos Ambientais da Fazenda experimental Lageado FCA/UNESP, em Botucatu-SP, situada a 22°52' S e 48° 26'22" W a 786 m de altitude (SANTOS; ESCOBEDO, 2016).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em arranjo de parcelas subdivididas com dez tratamentos e cinco repetições. As parcelas consistiram em dois tipos de água para irrigação (AR - efluente doméstico tratado e

AB- água de abastecimento) e as subparcelas pelas doses de biossólido (0, 50, 100, 150 e 200%), baseadas na recomendação de adubação nitrogenada para cada cultura, calculada pelo equivalente de nitrogênio presente (13 g kg^{-1}). Realizou-se a análise química do biossólido, o qual apresentou: pH – 7,4; Umidade– 35%; Relação C/N – 9; M.O. – 22%; K – 5 g kg^{-1} ; Ca – 13 g kg^{-1} ; Mg – 5 g kg^{-1} e Na – 4 g kg^{-1} .

Foram utilizados recipientes com volume de 100 litros, onde foram cultivados trigo, soja, girassol, crambe, feijão e cártamo nos anos de 2011 a 2016, totalizando seis ciclos de cultivo em cinco anos. O solo utilizado foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, com textura franco-argilosa (EMBRAPA, 2013), o qual apresentava antes da implantação do ensaio: pH – 4,1; M.O – $13,0 \text{ g dm}^{-3}$; Presina – $3,0 \text{ mg.dm}^{-3}$; Al – $13 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; H+Al – $65 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; SB – $3,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; CTC – $68 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; K – $0,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Ca – $2,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg – $1,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e V% – 6,0.

A lâmina de irrigação diária foi determinada pelo método do tanque classe A (TCA), corrigida pelo coeficiente de cultivo (Kc) proposto Allen et al. (1998), e aplicada via gotejamento com 94,8% de eficiência, percentual obtido por testes realizados conforme Keller; Bliesner (1990).

Para obter os resultados referentes aos atributos químicos do solo, após 5 anos de aplicação dos tratamentos, amostras compostas e homogêneas foram coletadas a 0 - 30 cm de profundidade de cada unidade experimental, obtidas por meio de

amostragens da porção central do recipiente.

As análises laboratoriais consistiram na medição da condutividade elétrica (CE) em suspensão água:solo de 2:1, e o pH medido em água na relação 1:1. Os teores disponíveis de Ca, Mg e Na foram obtidos conforme metodologia proposta por RAIJ et al (2001).

As análises estatísticas foram realizadas no software Minitab (2000), com as médias submetidas à análise de variância por meio do teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Os resultados foram posteriormente submetidos a análise de regressão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se maiores concentrações de sódio e cálcio no efluente. As variáveis de pH e CE são expressas em valores médios (Tabela 1).

Nos anos de 2014 e 2015 os valores de CE se mantiveram na faixa de 700 e $3.000 \mu\text{S cm}^{-1}$, comum para efluentes tratados conforme Cordeiro (2001). Nos demais anos, é possível a ocorrência de efeito de diluição no efluente, provavelmente em razão de chuvas no período em que foram realizadas as coletas.

A RAS, que expressa a participação do Na^+ em relação aos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} em água é considerada alta na faixa entre 3 a $9 (\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3})^{0,5}$ (MATOS; MATOS, 2017). Portanto, as taxas totais encontradas são relativamente baixas e indicam baixo potencial de provocar a dispersão das argilas e a desestruturação do solo.

Tabela 1. Variáveis químicas do efluente e carga acumulada anual aplicada no solo.

Coleta	pH	CE	Na	Ca	Mg	RAS
--		$\mu\text{S cm}^{-1}$	-----	mg dm^{-3}	-----	$(\text{mmolc dm}^{-3})^{0,5}$
2013	7,68	676,33	489,50	185,00	60,00	2,53
2014	8,28	700,00	232,50	190,00	60,00	1,19
2015	7,38	733,38	627,00	134,00	50,00	3,71
2016	7,44	643,50	493,70	247,00	29,00	2,50
2017	8,24	595,86	350,40	149,00	15,00	2,31

Fonte: Laboratório de fertilizantes e corretivos do Departamento de Solos e Recursos Ambientais/ FCA-UNESP. Botucatu-SP, 2010. Legenda: CE – condutividade elétrica; RAS – razão de adsorção de sódio.

Houve interação significativa para as variáveis de CE, Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} entre doses e tipo de água para irrigação. A CE no solo aumentou linearmente com as doses de biossólido, sendo que a irrigação com AR apresentou coeficiente de determinação superior, indicando maior influência sobre o aumento da variável. O Ca^{2+} apresentou comportamento semelhante, e indica que a CE pode estar relacionada à maior presença deste elemento em relação aos teores disponíveis de Na^+ e Mg^{2+} , os quais diminuíram com o aumento das doses de biossólido, sobretudo, nas parcelas irrigadas com AB.

Os pontos de máximo das funções para o Na^+ foram obtidos nas doses de 127,4% e 113,2% de biossólido junto, respectivamente, a irrigação com AR e AB. Para Mg^{2+} , o ponto de máximo foi obtido na dose de 148,9% com AR, que proporcionou maior incremento do nutriente, e 109,4% em AB.

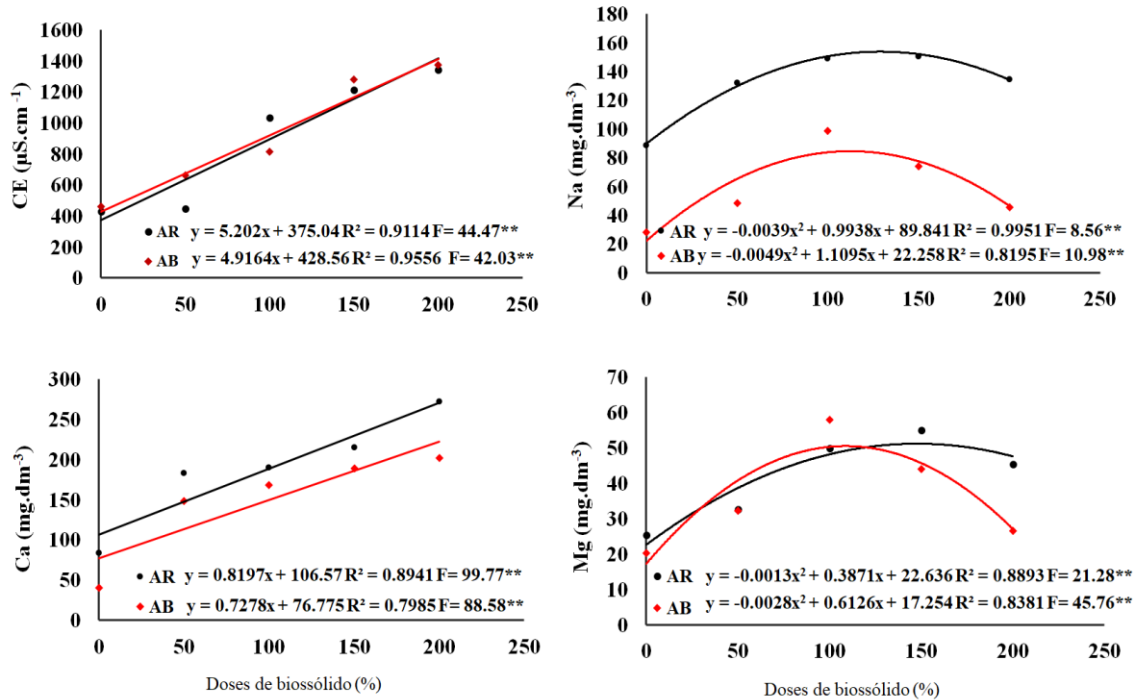
Segundo Freire; Freire (2007), materiais orgânicos possuem componentes condicionadores que podem contribuir na redução do Na^+ trocável, uma vez que durante a decomposição ocorre a liberação de CO_2 e ácidos orgânicos, que são fontes de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ . A consequência, são modificações na composição iônica do solo que acontecem quando Ca^{2+} e K^+ e Mg^{2+}

são liberados para a solução e estes elementos reagem com as substâncias húmicas do material orgânico aplicado, formando complexos de humatos de cálcio, potássio e magnésio, que mantêm os sítios de troca ativos e minimizam a adsorção do Na trocável (LAKHDAR et al., 2009).

Por outro lado, quando ocorre a formação de humato de sódio, a substituição do Na^+ pelo K^+ no complexo húmico por repulsão eletrostática resulta na liberação do Na monovalente que é liberado para a solução, onde sofrerá lixiviação e, portanto, reduzindo os teores disponíveis deste elemento (OUNI et al., 2014). Nesta perspectiva, Raychev et al. (2001) afirmam que estas modificações iônicas também promovem reações que reduzem o pH e a CE do solo.

Nesta perspectiva, Walker; Bernal (2008) identificaram que a matéria húmica menos oxidada e com maior peso molecular dos materiais orgânicos é o componente responsável no aprimoramento da capacidade de quelação de bases, principalmente Ca^{2+} e Mg^{2+} na solução do solo, e apontam que este enriquecimento pode ser particularmente relevante na recuperação de solos salino-sódicos, uma vez que reduz a taxa de Na^+ no complexo de troca.

Figura 1. Atributos químicos médios de CE, Na, Ca e Mg do solo em função das doses de biossólido e águas utilizadas para irrigação, após cinco anos. Botucatu, 2018.



Para os valores de pH, RAS e PST do solo, foi observada interação significativa entre os tipos de água e as doses de biossólido, porém os valores não se adequaram aos modelos de regressão para expressar estes resultados (Tabela 2). O pH do solo irrigado com AR apresentou redução, sobretudo, quando recebeu adubação mineral (0%) e adubação mineral/orgânica (50%), possivelmente em razão da rápida decomposição do material e da amonificação no meio, o que explica a acidificação no solo receptor de AR e a alcalinização com AB.

De acordo com Beauclair et al. (2007), a liberação de ácidos orgânicos da matéria orgânica aumenta a concentração

de NH_4^+ e diminui significativamente a forma volátil do N (NH_3^-), bem como gera radicais orgânicos com carga negativa de grande afinidade com íon NH_4^+ que o retém, diminuindo a ocorrência de lixiviação no solo, influenciando o comportamento do pH no solo.

Os valores médios calculados de RAS e PST (Razão de adsorção e Porcentagem de sódio trocável do solo), são considerados baixos e indicam baixa sodificação do solo, uma vez que valores acima de 5 ($\text{mmol}\cdot\text{dm}^{-3}$)^{0,5} e 20%, respectivamente, representam risco sobre as propriedades hidráulicas do solo (MATOS & MATOS, 2017).

Tabela 2. Resultados médios de pH, RAS e PST no solo após cinco anos. Botucatu, 2018.

Doses (%)	pH		RAS (mmolc dm ⁻³) ^{0,5}		PST (%)	
	AR	AB	AR	AB	AR	AB
0	6,25 b	6,61 a	2,18 a	0,90 b	4,48 a	1,82 b
50	6,33 b	6,66 a	2,37 a	0,94 b	5,90 a	3,04 b
100	6,50 b	6,71 a	2,49 a	1,67 b	6,24 a	4,49 b
150	6,42 b	6,49 a	2,37 a	1,26 b	5,52 a	3,38 b
200	6,41 b	6,48 a	1,99 a	0,80 b	4,88 a	1,79 b
p	0,01		0,01		0,01	
CV%	1,90		9,94		12,86	

Médias seguidas das mesmas letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey a $p \leq 0,05$ de probabilidade.

De maneira geral, com os resultados encontrados nestas condições experimentais, após cinco anos de uso contínuo do efluente tratado na irrigação bem como o uso do biossólido proveniente do tratamento de águas residuais no solo estudado, as características finais referentes a CE, PST e pH permitem definir que o solo utilizado não se enquadrava na classificação de solos salinos, sódicos e salino-sódico proposto por Richards (1954). Isso significa que os materiais utilizados não oferecem riscos, e o material orgânico utilizado neste estudo pode ser uma opção para prevenção ou recuperação de solos afetados por sais.

Estes resultados são coerentes com as recomendações propostas por Ginting et al. (2003), onde os autores identificaram que para atingir alterações orgânicas que visam melhorar as propriedades físico-químicas do solo através da aplicação de compostos orgânicos, seria necessária mais de uma aplicação por anos seguidos; pois, apenas uma fração do material orgânico quando inicialmente degradada, é disponibilizada para plantas e microorganismos do solo, o que torna insuficiente para formar complexos húmicos, como quelatos e humatos (HADAS et al., 1996).

Sendo assim, acredita-se que as técnicas utilizadas neste estudo possam ser empregadas como modelo para a implementação de pesquisas voltadas à avaliação do comportamento de solos

típicos de regiões áridas e semiáridas, onde o processo de degradação por condições salinas é provocado por precipitações que não são suficientes para lixiviar os sais de maneira efetiva, ou naqueles que possuem caráter originalmente sálico-sódico ou sódico.

5 CONCLUSÕES

Os tratamentos de adubação mineral (0%) proporcionaram capacidade semelhante aos de aplicação do efluente, quanto a CE do solo.

O uso contínuo de biossólido, em doses mais altas que 100% junto a irrigação com efluente e, água de abastecimento diminui o teor do Na⁺ trocável do solo, mas aumenta o Ca⁺.

A RAS, o PST e a CE em todos os tratamentos demonstram baixo risco de sodicidade e salinidade, e indicam que o uso contínuo de efluente tratado junto a adubação orgânica com biossólido a base de lodo de esgoto compostado ou adubação mineral, pode ser utilizado para suprir as necessidades hídricas das culturas.

6 AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelas bolsas de estudo aos

estudantes de pós-graduação na área de manejo da irrigação e reuso de água na agricultura.

7 REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements, Rome: FAO. **Irrigation and drainage paper**, v. 56, 301p.,1998.

BEAUCLAIR, E.G.F.; GULLO, M.J.M.; TOMAZ, H.V.Q.; SCARPARI, M.S.; OTAVIANO, J.A. Uso de condicionador de solo a base de ácido húmico na cultura da cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 28, p. 42-45, 2010.

CORDEIRO, G. G. Qualidade de Água para Fins de Irrigação. **Embrapa Semiárido**, n. Documentos 167, p.32, 2001.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos 2ª ed. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2013, 306p.

FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. J. Fertilidade do solo e seu manejo em solos afetados por sais. In: Novais, R. F.; Alvarez V., V. H.; Barros, N. F.; Fontes, R. L. F.; Cantarutti, R. B.; Neves, J. C. L. (ed.). Fertilidade do solo. Viçosa: SBCS, 2007. cap.16, p.929-954.

GINTING, D; KESSAVALOU, A; EGHBALL, B.; DORAN, J.W. Greenhouse gas emissions and soil indicators four years after manure and compost applications. **J. Environ. Qual.**, v.32, p.23–32, 2003. < DOI: 10.2134 / jeq2003.2300 >

GULSER, F.; SONMEZ, F.; BOYSAN, S. Effects of calcium nitrate and humic acid on pepper seedling growth under saline condition. **Journal Environmental Biology**, v.31, p.873-876, 2010.

HADAS, A; KAUTSKY, L.; PORTNOY, R. Mineralization of composted manure and microbial dynamics in soil as affected by long-term nitrogen management, **Soil Biology and Biochemistry**, v.28, p.733–738, 1996. < DOI: 10.1016/0038-0717(95)00179-4 >

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. New York: Avibook, 1990. 649p

LAKHDAR, A.; RABHI, M.; GHNAYA, T.; MONTEMURRO, F.; JEDIDI, N.; ABDELLY, C. Effectiveness of compost use in salt-affected soil. **Journal Hazardous Materials**, v.171, p.29-37, 2009. < DOI: 10.1016/j.jhazmat.2009.05.132 >

LAUCHLI, A.; EPSTEIN, E. Plant response to salinity and sodic conditions. In: Agricultural Salinity Assesment and Management (Ed. K.K. Tanji). American Society of Civil Engineers, Manual and Report Engineering Practice. v.71, p.113-137, 1990.

MATOS, A.T.; MATOS, M.P. Disposição de águas residuárias no solo e sistemas alagados construídos. 1ª ed. Viçosa ed., Editora UFV, 2017.

MATOS, A.T.; NETO, O.B.A.; MATOS, M.P. Saturação do complexo de troca de solos oxídicos com sódio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.5, p.501-506, 2014. <DOI: 10.1590/S1415-43662014000500006>

MOYO, L.G.; VUSHE, A.; JANUARY, M.A.; MASHAURI, D.A. Evaluation of suitability of Windhoek's wastewater effluent for re-use in vegetable irrigation: a case study of Gammams effluent. **Transactions on Ecology and The Environment**, v.199, p.109-120, 2015. < DOI: 10.2495 / RAV150101>

OUNI, Y.; GHNAYA, T.; MONTEMURRO, F.; ABDELLY, C.; LAKHADAR, A. The role of humic substances in mitigating the harmful effects of soil salinity and improve plant productivity. **International Journal of Plant Productivity**, Berlin, v. 8, n. 3, p. 353-374, 2014.

PASSUELLO, A.; CADIACH, O.; PEREZ, Y.; SCHUHMACHER, M. A spatial multicriteria decision making tool to define the best agricultural areas for sewage sludge amendment. **Environ. Int.** v. 38, p. 1-9, 2012. < DOI: 10.1016/j.envint.2011.07.013>

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

RAYCHEV, T.; POPANDOVA, S.; JÓZEFACIUK, G.; HAJNOS, M.; SOKOOWSKA, Z. Physicochemical reclamation of saline soils using coal powder. **International Agrophysics**, v.15, p.51-54, 2001.

RICHARDS, L. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**
Agricultural handbook, No. 60, US Department of Agriculture, Washington, DC, USA, 1954. 166p.

SANTOS, C. M.; ESCOBEDO, J. F., Temporal variability of atmospheric turbidity and DNI attenuation in the sugarcane region, Botucatu/SP. **Atmospheric Research**, v.181, p. 312–321, 2016. < DOI: 10.1016/j.atmosres.2016.07.012>

URBANO, V.R.; MENDONÇA, T.G.; BASTOS, R.G.; SOUZA, C.F. Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. **Agricultural Water Management**, v.181, p.108- 115, 2017. < DOI: 10.1016/j.agwat.2016.12.001>

WALKER, D.J; BERNAL, P.M. The effects of olive mill waste compost and poultry manure on the availability and plant uptake of nutrients in a highly saline soil, **Bioresource. Technology**, v.99, p.396–403, 2008. <DOI: 10.1016 / j.biortech.2006.12.006>