

Qualidade do solo cultivado com cana-de-açúcar irrigada com efluente via gotejamento subsuperficial

Eduardo A. A. Barbosa¹; Leonardo N.S. Santos²; Ivo Z. Gonçalves²; Aline A. Nazario²; Edson E. Matsura³

¹MSc. Engenheiro agrônomo, doutorando na FEAGRI/UNICAMP (Av. Candido Rondon, 501 - Cidade Universitária, Campinas - SP), e-mail: eduardo.agnellos@gmail.com

²MSc. Engenheiro agrônomo, doutorando na FEAGRI/UNICAMP (Av. Candido Rondon, 501 - Cidade Universitária, Campinas - SP), e-mail: nazarioss@yahoo.com.br

³ DSc. Engenheiro agrônomo, professor titular FEAGRI/UNICAMP (Av. Candido Rondon, 501 - Cidade Universitária, Campinas - SP); e-mail: eematsura@gmail.com.

Apresentado no
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014
27 a 31 de julho de 2014- Campo Grande- MS, Brasil

RESUMO: O estudo objetivou avaliar a qualidade do solo irrigado via gotejamento subsuperficial, com água de reservatório (AR) e esgoto doméstico tratado (EDT), com e sem adubação via fertirrigação e cultivo não irrigado com adubação de cobertura no cultivo da cana-de-açúcar. O experimento foi desenvolvido em Campinas, SP, em Latossolo vermelho distroférrico, com os tubos gotejadores instalados a 0,20 cm. O EDT foi aplicado para reposição hídrica e a fertirrigação foi realizada complementando os nutrientes presente nas águas. Para as funções básicas do solo foram utilizados atributos físicos, químicos e microbiológicos. A cana-de-açúcar irrigada com ARS sem complementação nutricional, apresentou ligeiro incremento em sua qualidade, quando confrontado aos demais tratamentos. Entre os atributos a acidez potencial apresentou maior queda de qualidade, principalmente nos cultivos fertirrigados, obtendo escore padronizado próximo a 0,40. Dentre as funções microbiológicas, foi registrado redução na qualidade proporcionada pelo carbono da biomassa microbiana, com as reduções ligeiramente acentuadas nos tratamentos irrigados sem complementação nutricional e o cultivo não irrigado.

PALAVRAS-CHAVE: Atributo químico; Microbiológico; Fertirrigação; Efluente; Reuso.

Soil quality cultivated with sugar-cane irrigated with effluent via subsurface drip

ABSTRACT: The study aimed evaluate the quality of the soil irrigated by subsurface drip irrigation with water reservoir (AR) and domestic sewage treated (EDT), with and without fertigation and cultivation not irrigated with topdressing in the sugarcane. The experiment was developed in Campinas, SP, in Oxisol, with dripline installed to 0.20 cm. The EDT was applied to hydric reposition and the fertigation was carried complementing the nutrients present in waters. For basic functions of soil were used parameters physical, chemical and microbiological. The sugar cane irrigated with ARS, without nutritional supplementation, showed a slight increase in their quality, when confronted to the other treatments. Among the attributes, the potential acidity showed greater drop in quality, especially in the fertirrigated, with standard score near to 0.40. Among the microbiological functions, it was observed reduction in the quality of the microbial biomass carbon, with slightly sharp reductions in irrigated treatments without nutritional supplementation and treatment non-irrigated.

KEYWORDS: Chemical attributes; Microbiology; Fertigation; Wastewater; Reuse.

INTRODUÇÃO

A disposição de águas residuária na agricultura, como o efluente de esgoto tratado (EDT), é prática antiga (Paranychianakis et al., 2006) e apresenta alto potencial de expansão, em consequência do crescimento populacional, que gera pressões sobre os recursos hídricos, tanto pela captação, quanto pela disposição de poluentes carregado pelo efluente.

O EDT apresenta características salino-sódica, e sua disposição, incrementa os teores de Na⁺, elevando o potencial de desestruturação do solo pela dispersão da argila (Paes et al., 2013), que afeta a condutividade hidráulica. A característica salino dos efluentes afeta também a condutividade elétrica do solo, alterando o potencial osmótico do solo e dificultando a absorção de água pelas plantas, tendo como consequência reduções nas produções agrícolas (Lambers, 2003). Modificações no potencial osmótico ocasiona detrimento das características microbiológicas e decréscimo no estoque de carbono do solo (Setia et al., 2013). Por outro lado, a disposição do EDT fornece carbono orgânico ao solo (Singh et al., 2012) favorecendo a microbiologia e estruturação do solo.

Diversos estudo demonstram a viabilidade da utilização do EDT na irrigação da cana-de-açúcar, promovendo acréscimo de produtividade de aproximadamente 50% em relação ao cultivo tradicional (Leal et al., 2009), devido a contribuição para a nutrição do solo, elevando a CTC do solo e disponibilizando nitrogênio, fósforo e potássio (Tzanakakis et al., 2009). Avaliando o efeito da aplicação do efluente doméstico por 30 anos, Zhang et al. (2008) concluíram que as concentrações de metais pesados não atingiram níveis perigosos, já Leal et al., (2009) constatou que esse material possui pouca contaminação com metais pesados não afetando o desenvolvimento da cana-de-açúcar.

Dentre os modelos de qualidade do solo que apresenta características desejáveis para comparar de diferentes sistemas de manejo e concebido no enfoque da sustentabilidade é o proposto por Karlen e Stott (1994). O modelo fornece informações para orientar a tomada de decisões com menor impacto sobre os atributos do solo. Neste modelo, as funções específicas do solo são interagidas e compostas por indicadores, os quais são selecionados frente a sua capacidade em transmitir informações sobre o crescimento e atividade biológica das raízes; regulação e distribuição do fluxo de água; e fornecimento de nutrientes as plantas e funcionar como um filtro natural (Fernandes et al, 2011).

Nestes contexto, o presente estudo objetiva avaliar qualidade do solo cultivado com cana-de-açúcar irrigada via gotejamento subsuperficial com efluente de esgoto tratado e água de reservatório, com e sem complementação nutricional.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido no campo experimental da FEAGRI/ UNICAMP, Campinas, SP. Latitude de 22°53'S e Longitude de 47°05'W. O clima da região, segundo classificação de Köppen, é do tipo Cwa/Cfa, e o solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico. A variedade cultivada foi a RB867515, com plantio em maio de 2011 e colheita da cana-planta, em setembro de 2012, iniciando o cultivo da primeira cana-soca.

Os tratamentos foram: testemunha não irrigada com adubação em cobertura (T1NI); cultivo irrigado com EDT e fertirrigação complementar (T2EF); Irrigado com EDT, sem complementação nutricional (T3ENf); Irrigado com água de reservatório superficial (ARS), com fertirrigação complementar (T4AF); I rrigado com ARS, sem adubação complementar (T5ANf).

A ARS foi proveniente de uma lagoa localizada próximo a área experimental. O EDT foi originário do efluente gerado nas edificações da FEAGRI, e tratada em reatores anaeróbicos e tanque de macrófitas. Para caracterização química e nutricional foi realizada cinco amostragem durante o período de irrigação, coletada logo após o sistema de filtragem de areia. As coletas e acondicionamento seguiram a "*Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*" (APHA, 1999). Na Tabela 1, é ilustrado um resumo dos parâmetros qualitativos, com valores médios das análises realizadas ao longo do ciclo.

Tabela 1 - Valores médios das análise química do esgoto doméstico tratado (EDT) e da água de reservatório superficial (ARS), coletadas após o sistema de filtragem, no período experimental.

Elementos	N*	K	S	Na	DQO	H ₂ PO ₄ - P	RAS	CE
mg L ⁻¹								
EDT	74.8	25.7	11.2	64.5	45.6	13.3	18.9	1091.8
ARS	0.91	1.13	<5	2.2	23.7	<0.1	1.19	65.2

*Nitrogênio total sendo NO₃⁻ < 0.3 mg L⁻¹, DQO – demanda química por oxigênio, RAS - Razão de adsorção de sódio; CE – Condutividade elétrica.

Os tratamentos foram: testemunha não irrigada com adubação manual em cobertura (T1NI); cultivo irrigado com EDT e fertirrigação complementar (T2EF); cultivo irrigado com EDT, sem complementação nutricional (T3ENf); cultivo irrigado com água de reservatório superficial (ARS),

com fertirrigação complementar (T4AF); e, cultivo irrigado com ARS, sem adubação complementar (T3ANf). A adubação seguiu a recomendação de Rosseto et al. (2008), aplicando como adubação de base 120, 40 e 80 kg ha⁻¹ de N, P₂O₅ e K₂O, respectivamente

A quantificação dos efeitos na qualidade do solo pela aplicação dos cinco tratamentos seguiu a metodologia proposta por Karlen e Stott (1994). As funções específicas do solo foram selecionadas conforme apresentado por Fernandes et al, (2011), sendo a capacidade do solo de não restringir o desenvolvimento radicular (SR), a capacidade de receber, distribuir, manter e fornecer água as plantas (CA) e habilidade para receber, manter, fornecer e ciclar os nutrientes (HN). A seleção do conjunto mínimo de dados baseou-se no grau de importância, obtidos após consulta na literatura especializada (Tabela 2), sendo selecionado atributos físicos, químicos e microbiológicos do solo.

Tabela 2 - Indicadores selecionados para composição das funções básicas do solo.

FS	Peso	Iq	Peso	Unidade	Limites			Referências
					Inferior	Superior	ótimo	
DR	0.3	RP	0.35	MPa		2		Bengough et al. (2011)
		Ds	0.25	Kg dm ⁻¹		1,59		Melo Filho et al., 2007
		MA	0.20	cm ³ cm ⁻³			0,15	Carter, 2006
		pH	0.10				6,4	Van Raij et al., 2001
		H+Al	0.10	cmol _c dm ⁻³		3,8		Van Raij et al., 2001
CA	0.2	PT	0.35	cm ³ cm ⁻³			0,514	Carter, 2006
		MA	0.30	cm ³ cm ⁻³			0,15	Carter, 2006
		DMP	0.15	mm	0,9			Fernandes et al., 2011
		PST	0.10	%		25		Ayers e Westcot, 1999
		CE	0.10	dS cm ⁻¹	4			Ayers e Westcot, 1999
				pH	0.10			6,4
HN	0.5	H+Al	0.10	cmol _c dm ⁻³		3,8		Van Raij et al., 2001
		CE	0.10	dS cm ⁻¹	3			Ayers e Westcot, 1999
		PST	0.10	%		25		Ayers e Westcot, 1999
		CTC	0.10	cmol _c dm ⁻³	4,6			Van Raij et al., 2001
		MO	0.10	%	1,5			Van Raij et al., 2001
		CBM	0.15	µg C g ⁻¹ solo seco	250			Franchini et al. (2007)
		qCO ₂	0.15	µg CO ₂ µg ⁻¹ C d ⁻¹	0,2			Franchini et al. (2007)
		qMic	0.10	%			2,2	Jenkinson e Ladd, 1981

RP = Resistência à penetração; DS = Densidade do solo; MA = Macroporosidade; H+Al = acidez potencial; PT = Porosidade total; DMP = Diâmetro médio ponderado; PST = Percentagem de sódio trocável; CE = Condutividade elétrica do solo; CTC = Capacidade de troca catiônica; M.O. = Matéria orgânica; CBM = Carbono da biomassa microbiana, qCO₂ = Quociente metabólico; qMIC = Quociente microbiano.

Os atributos do solo foram obtidos após abertura de trincheira em três blocos, coletando solo nas camadas de 0,0-0,20; 0,20-0,40 e 0,40-0,60 m, conforme Figura 1, com exceção da resistência a penetração, que foi determinada utilizando o medidor automatizado SoloTrack (Falker).

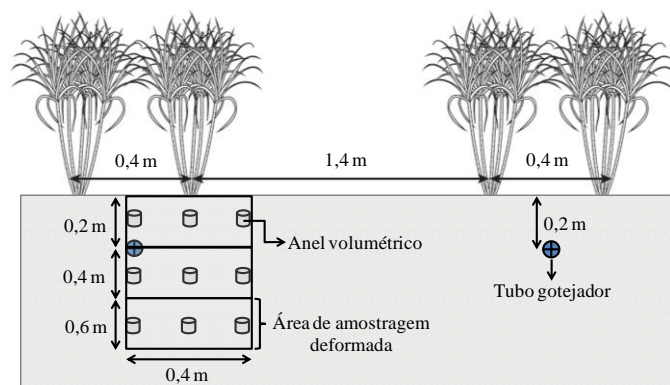


Figura 1 - Esquema do espaçamento de plantio, profundidade de instalação do tubogotejador e coleta de amostras indeformadas utilizando o anel volumétrico e deformada na camada.

Para a ponderação padronizada (PP) dos atributos tomou como base a função de padronização de Wymore (1993), conforme Equação 1. O peso numérico de cada função e dos indicadores foram obtidos pelo grau de associação com o objetivo do índice e função do solo (Karlen e Stott, 1994), com normalização em escala única variando de 0 a 1,

$$PP = \frac{1}{1 + \left(\frac{B-L}{x+L}\right)^{2S(B+x-2L)}} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: PP representa a pontuação padronizada; B, o valor crítico ou limite-base do indicador, cujo escore padronizado é 0,5 estabelecendo o limite entre a ruim e a boa qualidade do solo; L, o valor inicial ou mais baixo que uma propriedade do solo possa expressar; S a inclinação da tangente à curva no ponto correspondente ao valor crítico do indicador; e x, o valor do indicador medido no campo.

Para aplicação da equação de padronização de escore é necessário calcular a inclinação da tangente à curva no ponto correspondente ao valor crítico do indicador (S), que é determinada por meio da Equação 2.

$$S = \frac{\log\left(\frac{1}{PF}\right) - 1}{\log\left(\frac{B-L}{x-L}\right) \times 2(B+x-2L)} \quad (\text{Eq. 2})$$

As curvas de padronização dos escores para os indicadores de qualidade do solo apresentam três tendências (Figura 2). Para a padronização dos indicadores em escala variando de 0 a 1, será realizada a padronização de escores. Desta forma se os indicadores estiverem no seu limite crítico, que corresponde ao valor de 0,5 na ponderação dos escores, o índice de qualidade do solo estimado será igual a 0,5. E sendo o valor máximo do índice de qualidade igual a 1,0 ou próximo desse valor, melhor será a qualidade do solo. Um exemplo para melhor entendimento dos cálculos do escore da qualidade de solo é apresentado na Tabela 3, para tanto tomou como exemplo o tratamento T1NI.

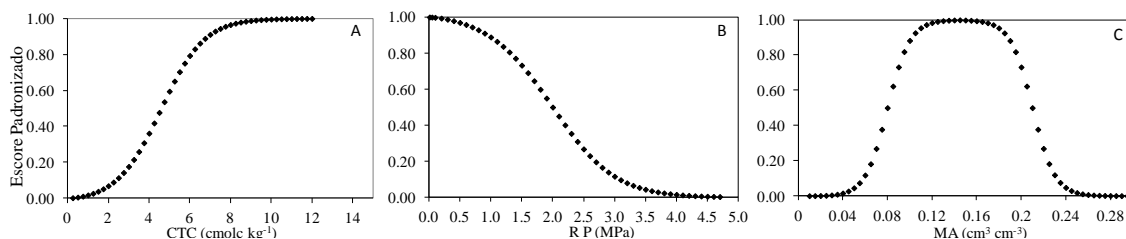


Figura 2 - Tendências das curvas para padronização de escores, (a) menos é melhor; (b) mais é melhor; (c) valor ótimo.

RESULTADO E DISCUSSÃO

O solo apresentou adequadas características agrônômicas, em virtude dos bons valores de qualidade do solo entre os tratamentos. No tratamento T5ANf observa-se incremento na qualidade do solo o qual obteve valor estimado de 0,90, nos demais tratamentos o IQS foi próximo a 0,86 (Figura 3). Coronado et al. (2013) verificaram baixa alteração na qualidade do solo irrigado com EDT e com água de reservatório, concluindo que o esgoto ocasiona baixa alteração no IQS, e que possíveis alterações são contatadas em condições de baixa qualidade do efluente e longos períodos de aplicação.

Apesar dos bons valores de IQS foi possível evidenciar reduções em alguns indicadores, como a acidez potencial, que obteve valores de escore padronizado críticos nos tratamentos fertirrigados, e no carbono da biomassa microbiana, resistência a penetração e pH do solo, com exceção do CBM do T4EF e da RP no tratamento T5ANf (Tabela 4). As reduções nos atributos químicos (H+Al e pH) relacionados a função de promover o adequado desenvolvimento radicular, e as limitações ocasionada pela resistência a penetração, promoveram potencial risco de degradação na função do solo de promover o adequado desenvolvimento radicular, principalmente nos tratamentos T1NI, T2EF, T3ENf e T4AF, que apresentaram índice padronizado para esta função abaixo de 0,80. O valor padronizado desta função, indicou melhor qualidade para o T5ENf, com valor padronizado de 0,86.

Tabela 3 - Índice de qualidade do solo (IQS) e escore padronizado dos indicadores (Iq) e função do solo (FS) no cultivo não irrigado com adubação em cobertura (TINI).

FS	Peso (A)	Iq	unidade	Peso (B)	VMO $\pm \sigma$	Escore padronizado (C)	(B x C)	% participação	Σ (B x C) (D)	(D x A)	IQS
DR	0,3	RP	MPa	0,35	1,776 \pm 0,61	0,61	0,21	27,08	0,79	0,24	
		Ds	Kg dm ⁻¹	0,25	1,261 \pm 0,08	0,94	0,24	29,95			
		MA	cm ³ cm ⁻³	0,20	0,122 \pm 0,028	1,00	0,20	25,32			
		pH		0,10	5,614 \pm 0,16	0,77	0,08	9,84			
		H+Al	cmol _c dm ⁻³	0,10	3,752 \pm 0,81	0,61	0,06	7,81			
CA	0,2	PT	cm ³ cm ⁻³	0,35	0,537 \pm 0,02	1,00	0,35	35,05	1,00	0,20	
		MA	cm ³ cm ⁻³	0,30	0,122 \pm 0,028	1,00	0,30	29,95			
		DMP	mm	0,15	1,645 \pm 0,54	1,00	0,15	15,00			
		PST	%	0,10	0,08 \pm 0,02	1,00	0,10	10,02			
		CE	dS cm ⁻¹	0,10	1,16 \pm 0,40	1,00	0,10	9,99			
HN	0,5	pH		0,10	5,614 \pm 0,16	0,77	0,08	8,91	0,87	0,43	
		H+Al	cmol _c dm ⁻³	0,10	3,752 \pm 0,81	0,61	0,06	7,08			
		CE	dS cm ⁻¹	0,10	1,16 \pm 0,40	0,97	0,10	11,20			
		PST	%	0,10	0,08 \pm 0,02	1,00	0,10	11,51			
		CTC	cmol _c dm ⁻³	0,10	8,33 \pm 1,42	1,00	0,10	11,51			
		MO	%	0,10	3,11 \pm 0,74	0,94	0,09	10,84			
		CBM	μ g C g ⁻¹ solo seco	0,15	314,7 \pm 82,1	0,66	0,10	11,34			
		qCO ₂	μ g CO ₂ μ g ⁻¹ C d ⁻¹	0,15	0,033 \pm 0,02	0,97	0,15	16,76			
qMic	%	0,10	1,99 \pm 0,81	0,94	0,09	10,83					

VMO = Valor médio observado; σ = Desvio padrão; DR = Promover o adequado desenvolvimento do sistema radicular; CA = Capacidade de receber, armazenar, distribuir e fornecer água as plantas; HN = habilidade para receber, manter, fornecer e ciclar os nutrientes; RP = Resistência à penetração; DS = Densidade do solo; MA = Macroporosidade; H+Al = acidez potencial; PT = Porosidade total; DMP = Diâmetro médio ponderado; PST = Percentagem de sódio trocável; CE = Condutividade elétrica do solo; CTC = Capacidade de troca catiônica; M.O. = Matéria orgânica; CBM = Carbono da biomassa microbiana, qCO₂ = Quociente metabólico; qMIC = Quociente microbiano.

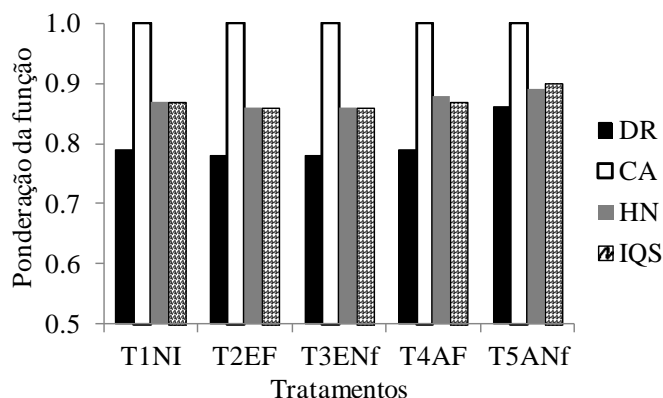


Figura 3 - Valor da ponderação das funções específicas do solo, Desenvolvimento radicular (DR); Capacidade de armazenar, distribuir e fornecer água (CA); Habilidade para receber, manter, fornecer e ciclar os nutrientes (HN); e qualidade final (IQS), para os tratamentos propostos.

Nos tratamentos com fertirrigação complementar (T2EF e T4AF), o escore padronizado da acidez potencial foi baixo, com valores próximos a 0,41 (Tabelas 4). A acidez potencial é indicador quantitativo da capacidade dos componentes ácidos passar da fase sólida para a líquida (Vorob'eva e Avdo'kin, 2006). Assim, altos valores de H+Al, indicam baixo poder tampão do solo e facilidade de troca destes elementos entre a fase sólida e a líquida, prejudicando o desenvolvimento do sistema radicular (Haling et al., 2011). Avaliando diferentes atributos químicos do solo correlacionados com a produção de cana-de-açúcar, Cerri e Magalhães (2012) observaram positiva influência da H+Al sobre a produção de colmos. Desta forma, os escores padronizados do T2EF e T4AF, sugerem maiores perdas na qualidade das funções relacionadas ao desenvolvimento radicular e suprimento nutricional, nos próximos ciclos de cultivo.

Tabela 4 - escore padronizado dos indicadores (Iq) para os tratamentos aplicados na cana-de-açúcar.

FS	Iq	T1NI	T2EF	T3ENf	T4AF	T5ANf
DR	RP	0,61	0,69	0,58	0,69	0,73
	Ds	0,94	0,91	0,93	0,93	0,97
	MA	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99
	pH	0,77	0,71	0,79	0,72	0,89
	H+Al	0,61	0,41	0,68	0,42	0,74
CA	PT	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	MA	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99
	DMP	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	PST	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	CE	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00
HN	pH	0,77	0,71	0,79	0,72	0,89
	H+Al	0,61	0,41	0,68	0,42	0,74
	CE	0,97	0,96	0,98	0,98	0,99
	PST	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	CTC	1,00	0,99	0,93	0,98	0,95
	MO	0,94	0,95	0,83	0,95	0,83
	CBM	0,66	0,75	0,61	0,84	0,70
	qCO ₂	0,97	0,97	0,95	0,98	0,96
qMic	0,94	0,95	0,99	0,98	0,96	

DR = Promover o desenvolvimento do sistema radicular; CA = Capacidade de armazenar, distribuir e fornecer água; HN = habilidade para receber, manter, fornecer e ciclar os nutrientes; RP = Resistência à penetração; DS = Densidade do solo; MA = Macroporosidade; H+Al = acidez potencial; PT = Porosidade total; DMP = Diâmetro médio ponderado; PST = Percentagem de sódio trocável; CE = Condutividade elétrica do solo; CTC = Capacidade de troca catiônica; M.O. = Matéria orgânica; CBM = Carbono da biomassa microbiana, qCO₂ = Quociente metabólico; qMIC = Quociente microbiano.

O solo apresentou excelente capacidade em receber, distribuir, manter e fornecer água as plantas, com o índice padronizado para esta função próximo de 1,0 em todos os tratamentos (Figura

3). O LVD possui excelente estruturação, conforme observado nos indicadores físicos relacionados a função de dinâmica da água no solo, que ocorre em virtude do alto teor de argila e bons níveis de MO e CTC (Šimanský, 2012). As características do solo foi traduzida em excelentes valores de DMP, sugerindo uma apropriada agregação das partículas e conseqüente resistência a ações degradantes, como presença do Na^+ . Os indicadores químicos relativos ao potencial osmótico do solo não influenciaram a capacidade do solo em transmitir água as plantas, devido aos adequados valores de CE e PST, traduzidos em adequados escores (Tabela 4).

A função do solo de ciclagem e suprimento nutricional foi adequada entre os tratamentos, com o valor padronizado para a função acima de 0,85 entre os tratamentos (Figura 3). Os indicadores que ocasionaram maior comprometimento desta função, foram a acidez potencial e pH conforme discutido anteriormente, e o carbono da biomassa microbiana.

Por meio da análise de CBM observa-se que o tratamento irrigado com ARS e fertirrigado obteve escore padronizado superior aos demais tratamentos, com valor de 0,84, já o tratamento T3ENf apresentou o menor valor, com escore de 0,61 (Tabela 4). Avaliando o efeito da aplicação de esgoto urbano durante 20 anos nas características microbiológicas do solo, Masto et al. (2009) revelaram decréscimo do CBM no solo e Kayikcioglu (2012) em estudo de curto prazo, também evidenciaram redução no CBM. Este último autor acredita que as concentrações de metais pesados e a relação entre a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e o carbono orgânico dissolvido (COD) do efluente tenha contribuído para a redução do CBM.

No estudo desenvolvido por Masto et al. (2009), foi constatado que o CBM foi o indicador mais sensível a aplicação do efluente. Para Powlson et al. (1987) e Franchini et al. (2007) os indicadores microbiológicos são altamente sensíveis ao uso do solo e permitem a visualização, em curtos períodos, das alterações nas características da qualidade do meio. Desta forma, os resultados de CBM indicam com antecedência maior redução na qualidade dos atributos microbiológicos no tratamento irrigado com EDT sem adubação complementar.

Os escores padronizados para o quociente metabólico e metabólico indica mínimas alterações na atividade microbiana da comunidade, e assim, alta eficiência em converter o C assimilado em nova biomassa (Mendes et al. 2009). O valor padronizado da $q\text{CO}_2$ em todos os tratamentos foram superiores a 0,96, sugerindo que a microbiota do solo não sofreu estresse. Os valores padronizados de $q\text{Mic}$ foram superiores a 0,94, sugerindo um equilíbrio no solo entre o acúmulo e perda de C no solo (Jenkinson e Ladd, 1981), o qual segundo estes autores é de 2,2%. O $q\text{Mic}$ é indicativo da qualidade da matéria orgânica, e maiores valores de $q\text{Mic}$ representa maior ciclagem de nutrientes, tendo como conseqüência menor acúmulo de carbono no solo e maior conversão do C_{org} em CBM. Condições de baixo $q\text{Mic}$ é indicativo que o CBM está reduzindo em um ritmo mais rápido que a M.O. ou há maior teor de C_{org} no solo e menor ciclagem de nutrientes (Anderson e Domsch, 1989).

CONCLUSÃO

A avaliação conjunta dos indicadores físicos, químicos e biológicos do solo, utilizando a metodologia proposto por Karlen e Stott (1994), permite afirmar que a qualidade do solo foi adequada entre os tratamentos, com ligeira superioridade do irrigado com ARS sem adubação complementar.

A função do solo de promover o adequado desenvolvimento do sistema radicular apresentou maior queda na qualidade, que ocorre em virtude da queda na qualidade da acidez potencial, pH e resistência do solo a penetração.

A acidez potencial foi o indicador de menor qualidade, principalmente nos cultivos fertirrigados, os quais apresentaram escore padronizado próximo a 0,40. Nestes tratamentos foram evidenciados os menores escores para o pH.

O carbono da biomassa microbiana, foi o indicador microbiológico mais afetado pela adoção dos tratamentos, e o tratamento irrigado com EDT sem adubação complementar obtendo o menor escore padronizado para este indicador.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington: American Public Health Association; AWWA; WPCF, 1999. 1569 p.

- ANDERSON, T.H.; DOMSCH, K.H. Ratios of microbial biomass carbon to total organic in arable soils. **Soil Biology & Biochemistry**, v.21, p.474-479, 1989.
- AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **Water quality for agriculture**. Rome:FAO. 1994. FAO Irrigation and Drainage paper, 29. Disponível em <<http://www.fao.org/docrep/003/t0234e/t0234e00.HTM>> Acesso em 12 janeiro 2014.
- BENGOUGH, A.G.; MCKENZIE, B.M.; HALLETT, P.D.; VALENTINE, T.A. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. **Journal of Experimental Botany**, v.62, n.1, p.59-68, 2011.
- CARTER, M.R., Quality critical limits and standardization. In: Lal, R. (Ed.), **Encyclopedia of Soil Science**. Marcel Dekker:New York, p.1412-1415. 2006.
- CERRI, D.G.P; MAGALHAES, P.S.G. Correlation of physical and chemical attributes of soil with sugarcane yield. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v.47, n.4, p.613-620, 2012.
- CORONADO, A.M.; ARCENEGUI, V.; ORENES, F.G.; SOLERA, J.M.; BENEYTO, J.M. Application of soil quality indices to assess the status of agricultural soil irrigated with treatment wastewaters. **Soil Earth**, v.4, p.119-127, 2013.
- FERNANDES, J. C.; GAMERO, C. A.; RODRIGUES, J. G. L.; MIRÁS-AVALO, J. M. Determination of the quality index of a Paleudult under sunflower culture and different management systems. **Soil & Tillage Research**, v. 112, p. 167-174, 2011.
- FRANCHINI, J.C.; CRISPINO, C.C.; SOUZA, R.A.; TORRES, E.; HUNGRIA, M. Microbiological parameters as indicators of soil quality under various soil management and crop rotation systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.92, p.18-29, 2007.
- HALING, R.E.; SIMPSON, R.J.; CULVENOR, R.A.; LAMBERS, H.; RICHARDSON A.E. Effect of soil acidity, soil strength and macropores on root growth and morphology of perennial grass species differing in acid-soil resistance. **Plant Cell Environ.**, v.34, n.3, p.444-456, 2011.
- JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soil: measurement and turnover. **Soil Biology and Biochemistry**, v.13, n.5, p.415-417, 1981.
- KARLEN, D. L.; STOTT, D. E. A framework for evaluating physical and chemical indicators of soil quality. In: Doran, J. W. et al. (eds.) **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison:SSSA, 1994. p.53-71.
- KAYIKCIOGLU, H.H. Short-term effects of irrigation with treated domestic wastewater on microbiological activity of a Vertic xerofluent soil under Mediterranean conditions. **J. Environ. Manage.**, v.15, n.102, p.108-114, 2012.
- LAMBERS, H. Introduction, dryland salinity: a key environmental issue in Southern Australia. **Plant and Soil**, v.257, n.2, p.5-7, 2003.
- LEAL, R. M. P.; FIRME, L. P.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J.; PIEDADE, S. M. S. Soil exchangeable cations, sugarcane production and nutrient uptake after wastewater irrigation. **Sci. Agric**, v.66, n.2, p. 242-249, 2009.
- MASTO, R.E.; CHHONKAR, P.K.; SINGH, D.; PATRA, A.K. Changes in soil quality indicators under long-term sewage irrigation in a sub-tropical environment. **Environmental Geology**, v.56, n.6, p.1237-1243, 2009.
- MELO FILHO, J. F de; SOUZA, A. L. V.; SOUZA, L da S. Determinação do índice de qualidade subsuperficial em um Latossolo Amarelo coeso dos Tabuleiros Costeiros, sob floresta natural. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v.31, p.1599-1608, 2007.
- MENDES, I.C.; HUNGRIA, M.; REIS Jr., F.B.; FERNANDES, M.F.; CHAER, G.M.; MERCANTE, F.M.; ZILI, J.E. **Bioindicadores para avaliação da qualidade do solos tropicais: utopia ou realizada**. Embrapa Cerrados:Planaltina, 31p. 2009.
- PAES, J.L.A.; RUIZ, H.A.; FREIRE, M.B.G.; BARROS, M.F.C.; ROCH, G.C. Dispersão de argilas em solos afetados por sais. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient**. v.17,p.1135-1142, 2013.
- PARANYCHIANAKIS, N.V.; ANGELAKIS, A.N.; LEVERENZ, H.; TCHOBANOGLIOUS, G. Treatment of wastewater with slow rate systems: a review of treatment processes and plant functions. **Crit. Rev. Environ. Sci. Tech.**, v.36, p.187-259, 2006.
- POWLSON, D.S.; BROOKES, P.C.; CHRISTENSEN, B.T. Measurement of soil microbial biomass provides an indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation. **Soil Biology and Biochemistry**, v.19, n.2, p.159-164, 1987.

- ROSSETTO, R.; DIAS, F.L.F.; VITTI, A.C. fertilidade do solo, nutrição e adubação. In: DINARDO-MIRANDA, L.L.; VASCONCELOS, A.C.M.; LANDELL, M.G.A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: IAC, 882p. 2008.
- SETIA, R.; GOTTSCHALK, P.; SMITH, P.; MARSCHNER, P.; BALDOCK, J.; SETIA, D.; SMITH, J. Soil salinity decreases global soil organic carbon stocks. **Sci. Total Environ.**, v.465, p.267-272, 2013.
- ŠIMANSKÝ, V. Soil structure stability and distribution of carbon in water-stable aggregates in different tilled and fertilized Haplic luvisol. **Acta Univ. Agric. Silvic. Mendelianae Brun.**, v.20, n.3, p.173-178, 2012.
- SINGH, P.K.; DESHBHRATAR, P.B.; RAMTEKE D.S. Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. **Agricultural Water Management**, v.103, p.100–104, 2012.
- TZANAKAKIS, V.A.; PARANYCHIANAKIS, N.V.; ANGELAKIS, A.N. Nutrient removal and biomass production in land treatment systems receiving domestic effluent. **Ecological Engineering**, v.35, p.1485-1492, 2009.
- VAN RAIJ, B., ANDRADE, J.C., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Instituto Agrônomo de Campinas:Campinas, SP., 2001, 284p.
- VOROB'EVA, L.A.; AVDON'KIN, A.A. Potential Soil Acidity: Notions and Parameters. **Eurasian Soil Science**, v.39, n.4, p.377–386,2006
- ZHANG, Y.L.; DAI, J.L.; WANG, R.Q.; ZHANG, J. Effects of long-term sewage irrigation on agricultural soil microbial structural and functional characterizations in Shandong, China. **European Journal of Soil Biology**, v.44, p.84–91, 2008.
- WYMORE, A.W. **Model-based system engineering: An introduction to the mathematical theory of discrete systems and to the tricotyledon theory of system design**. Boca Raton: CRC Press, 710p. 1993.