

DISTRIBUIÇÃO DO SISTEMA RADICULAR DA CANA-DE-AÇÚCAR IRRIGADA COM EFLUENTE DE ESGOTO DOMÉSTICO POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL

Allan Charles Mendes de Sousa⁽¹⁾, Edson Eiji Matsura⁽²⁾, Ronny Barbosa Sobreira⁽³⁾, Thomaz Penteadó Cyrino Teixeira da Silva⁽⁴⁾, Rafael Recco Barbosa⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Doutorando em Engenharia Agrícola na Universidade Estadual de Campinas e-mail: allan.sousa@feagri.unicamp.br; Rua Candido Rondon, n. 501, Cidade Universitária, Campinas-SP⁽²⁾, Professor titular da Universidade Estadual de Campinas e-mail: eematsura@gmail.com; ⁽³⁾ Professor da Universidade Federal do Piauí, Campus Bom Jesus-PI; Graduando em Engenharia Agrícola na Universidade Estadual de Campinas

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

RESUMO: A irrigação com efluente de esgoto doméstico (EED) tem sido recomendada para aplicação por gotejamento subsuperficial, podendo-se obter elevados índices de eficiência de irrigação e mais rápido aproveitamento dos sais em comparação com outros métodos de irrigação. O trabalho objetivou avaliar a área de raiz, o comprimento e a profundidade efetiva do sistema radicular da cana-de-açúcar irrigada com EED aplicado por gotejamento subsuperficial e com diferentes lâminas de irrigação, nas camadas de solo de 0,00-0,20, 0,20-0,40, 0,40-0,60 e 0,60-0,80 m. O experimento foi realizado em Piracicaba-SP numa área de cana-de-açúcar irrigada com EED em um delineamento de blocos casualizados dispostos no esquema de faixas, com três repetições e quatro tratamentos, sendo estes: uma área sem irrigação (TSI) e três áreas irrigadas atendendo 50% (T50%), 100% (T100%) e 200% (T200%) da necessidade hídrica da cultura entre cada turno de rega. O T100% e o T200% proporcionaram menores áreas e comprimento de raízes nas duas camadas mais profundas, quando comparado ao TSI e ao T50%, que devido ao estresse hídrico, proporcionado à cultura, estimularam o desenvolvimento de raízes mais profundas. O TSI, T100% e T200% apresentaram 80% das raízes até 0,40 m e nessa mesma profundidade, o tratamento T50% apresentou 76,43% do total de raízes.

PALAVRAS-CHAVE: Raiz; reúso de água; gotejamento enterrado

SUGARCANE ROOT SYSTEM IRRIGATED BY SUBSURFACE DRIP SYSTEM WITH DOMESTIC SEWAGE EFFLUENT APPLICATION

ABSTRACT: Irrigation with domestic sewage effluent (DSE) has been recommended for subsurface dripping, as it can obtain a high rate of irrigation efficiency and faster use of salts in comparison with other irrigation methods. The study aimed to evaluate the area, the length and effective depth of the sugarcane root system irrigated by subsurface drip with DSE and applied at different irrigation rates at depths of 0.00-0.20, 0.20-0.40, 0.40-0.60 and 0.60-0.80 m. The experiment was carried out in the municipality of Piracicaba-SP in a sugarcane area irrigated with DSE in a complete randomized block design set up in rows, with three replications and four treatments, which are: one area without irrigation (AWI) and three irrigated areas attending 50% (T50%), 100% (T100%) and 200% (T200%) of the crop's water requirement between each round of irrigation. The T100% and T200% provided smaller areas and lengths of roots in the last two layers, as compared to AWI and T50%, which stimulated the development of deeper roots due to the water

stress. The TSI, T100% and T200% presented 80% of the roots up to a depth of 0.40 m and the T50% treatment presented 76.43% of the roots.

KEYWORDS: Root; water reuse; subsurface drip

INTRODUÇÃO

O aproveitamento de efluente de esgoto na irrigação agrícola tem-se apresentado como alternativa viável para a destinação de águas residuárias, em especial, pelos benefícios agronômicos proporcionados, em que o suprimento hídrico dos vegetais e o fornecimento de alguns nutrientes, essenciais ao desenvolvimento das plantas, aparecem como os principais benefícios proporcionados pelo reúso (KALAVROUZIOS et al., 2009; FONSECA et al., 2007; SANDRI et al., 2009; DEON et al. 2010; SANTOS et al., 2010).

No Brasil inexistente uma legislação que regulamenta o uso de efluente de esgoto doméstico (EED) na agricultura para fins comerciais, sendo este utilizado somente em nível de pesquisas, em que o sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial apresenta-se como o mais recomendado para aplicação, principalmente, pela redução dos riscos de contaminação dos vegetais e operadores que utilizam tal técnica. Esse sistema caracteriza-se por sua alta eficiência na aplicação de água e nutrientes, e pela redução das perdas de água por evaporação e percolação (BARROS et al., 2009; BARROS et al., 2010; RIBEIRO et al., 2010), uma vez que o fornecimento hídrico e nutricional é realizado diretamente ou próximo à zona radicular das plantas.

Desta forma, o conhecimento da arquitetura do sistema radicular de qualquer cultura constitui-se numa importante ferramenta para a elaboração de um bom projeto de irrigação, pois o entendimento da distribuição das raízes no solo é básico para determinar a quantidade necessária de água a ser aplicada e definir o posicionamento mais adequado de sensores para monitorar a umidade do solo (COELHO et al., 2007; NEVES et al., 2008; RAMOS, et al., 2009; COELHO et al., 2010).

Além disso, o desenvolvimento das raízes influencia diretamente em algumas características das plantas como, por exemplo, a tolerância ao déficit hídrico, absorção de nutrientes, resistência ao ataque de pragas e o potencial germinativo. No entanto, não é a quantidade de raízes que condiciona o comportamento dessas variáveis, mas sim, a arquitetura de distribuição das mesmas no perfil do solo (VASCONCELOS & GARCIA, 2005). De acordo com COSTA et al. (2007), as plantas com distribuição desuniforme do sistema radicular apresentam-se mais suscetíveis à redução da produção, em especial, quando os eventos de precipitação são pouco frequentes.

A cultura da cana-de-açúcar, ao ser irrigada, emite o sistema radicular mais rápido, de tal forma que nas camadas superiores, por serem as mais úmidas, encontra-se um maior volume de raízes quando comparado ao sistema de cultivo em sequeiro que, por sua vez, favorece o crescimento radicular em camadas mais profundas. De acordo com FARIAS et al. (2008), para solos irrigados e sem irrigação, em média, cerca de 85% do sistema radicular da cana-de-açúcar encontra-se localizado nos primeiros 0,60 m de profundidade.

Porém, em se tratando de irrigação localizada, somente o conhecimento da profundidade efetiva das raízes é insuficiente para determinar as zonas de absorção de água e nutrientes, pois a dinâmica de distribuição de água no solo apresenta comportamento multidimensional, o que difere do caráter unidimensional proporcionado pela irrigação por aspersão (COELHO et al., 2005). Diante disso, é necessário o máximo conhecimento de como se dá a distribuição horizontal e vertical do sistema radicular das culturas no perfil do solo.

Este trabalho teve por objetivo avaliar a área de raiz, o comprimento e a profundidade efetiva do sistema radicular da variedade de cana-de-açúcar SP-903414, irrigada com efluente de esgoto doméstico por gotejamento subsuperficial em diferentes lâminas de irrigação e camadas de solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado no ano de 2006, em Piracicaba-SP (22° 46' 24" S, 47° 36' 32" W), na Fazenda Santa Helena, numa área de cultivo de cana-de-açúcar pertencente ao grupo COSAN, localizada ao lado da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do bairro CECAP, que é gerenciada pelo Serviço Municipal de Água e Esgoto – SEMAE. Porém, o presente trabalho apresenta somente os dados de junho de 2010, correspondente à terceira soca da cultura da cana-de-açúcar e ao quarto ano de experimento.

De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é o subtropical úmido do tipo Cwa, com temperaturas do mês mais quente superiores a 22°C e do mês mais frio inferiores a 18°C. O índice pluviométrico anual da região é de 1.328 mm e o solo predominante foi classificado como Argissolo Vermelho-amarelo eutrófico típico.

O experimento constituiu-se de um delineamento de blocos casualizados disposto no esquema de faixas com 4 tratamentos e 3 repetições, totalizando 12 unidades experimentais, cada uma divididas em 4 subparcelas correspondentes as camadas do solo de 0,00 - 0,20; 0,20 - 0,40; 0,40 - 0,60 e 0,60 - 0,80 m. Cada parcela possuía dimensões de 10 m x 30 m, o que conferiu uma área de 300 m², com seis linhas de plantio espaçadas de 1,4 m, sendo que apenas a primeira não foi irrigada e, portanto, considerada “linha cega”.

Os tratamentos basearam-se na irrigação com EED tratado, atendendo as lâminas de 50% (T50%), 100% (T100%) e 200% (T200%) da necessidade hídrica da cultura com base na evapotranspiração, ocorrida entre cada turno de rega, além desses tratamentos, utilizou-se uma área sem irrigação (TSI) como tratamento controle.

A variedade de cana-de-açúcar cultivada foi a SP-903414, que se caracteriza por seu porte ereto, alta produtividade, por não apresentar florescimento e pouco isoporizar. O plantio foi realizado a 0,30 m de profundidade e as adubações procederam-se de acordo com a recomendação das análises químicas de solo (120 kg ha⁻¹ de N, 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 120 kg ha⁻¹ de K₂O) seguindo as recomendações de RAIJ et al. (1996).

O EED procedeu da estação de tratamento de esgoto (ETE) do bairro CECAP, que é constituída por lagoas de estabilização do tipo australiano, com uma lagoa receptiva anaeróbica e duas lagoas facultativas, sendo uma primária e outra secundária, com vazão média de 10,16 L s⁻¹ de água. A captação do EED era realizada na lagoa facultativa secundária e bombeado para um sistema de filtros de areia para remoção de sólidos. Na Tabela 1 apresenta-se os valores médios da qualidade química do EED doméstico utilizado.

TABELA 1. Caracterização química do efluente de esgoto doméstico utilizado na irrigação (GOMES et al. 2009).

Const.	N-NH ₄ ⁺	NNO ₃ ⁻	P-PO ₄ ⁻	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	pH	RAS	C.E
	-----mg L ⁻¹ -----								mmol L ⁻¹	dS m ⁻¹
Conc.	26,33	0,07	2,53	23,73	14,15	4,97	66,90	7,47	3,82	0,82

Const.= Constituintes; Conc.= Concentração; RAS= Razão de adsorção de sódio; C.E= Condutividade Elétrica.

O N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻ presentes no EED apresentaram concentrações de 26,33 e 0,07 mg L⁻¹, valores estes considerados acima e dentro, respectivamente, dos limites permitidos para o uso na irrigação (FAO, 1973). A concentração de P-PO₄⁻ foi de 2,53 mg L⁻¹ e o K⁺ apresentou valor próximo ao do efluente utilizado por GALAVI et al. (2010) que foi de 22,62 mg L⁻¹. As concentrações de Ca²⁺ e Mg²⁺ registraram valores de 14,15 e 4,97 mg L⁻¹, menores do que os observados por KALAVROUZOTIS et al. (2008), ao utilizarem EED, com concentrações de 90,74 e 21,63 mg L⁻¹, nessa ordem. O Na⁺ foi o elemento químico que apresentou maior concentração, com valor de 66,90 mg L⁻¹, o pH situou-se próximo a neutralidade, 7,47, e a RAS, juntamente com a condutividade elétrica, apresentaram-se dentro do limite permitido que é de 0 a 15 mmol L⁻¹ e 0 a 3 dS m⁻¹, respectivamente (FAO 1973).

A irrigação foi realizada por um sistema de gotejamento subsuperficial, com linhas laterais à 0,16 m de profundidade. Os gotejadores utilizados eram da marca Netafim, modelo Super Typhoon, espaçados a cada 0,5 m, com vazão de 1,75 L h⁻¹ e espessura da parede de 0,38 cm.

As irrigações foram realizadas três vezes por semana (segunda, quarta e sexta-feira) com base nas leituras da evaporação ocorrida num tanque “classe A”, instalado na área experimental, que em seguida eram corrigidas pelo coeficiente da cultura (Kc). Para o monitoramento do teor de água no solo foram instalados tensiômetros na linha de plantio, somente no centro das parcelas do tratamento T100% ao lado da linha da soqueira, nas camadas de 0,00-0,20; 0,20-0,40; 0,40-0,60 m.

Os dados de pluviometria registrados durante os quatro ciclos da cultura e a série histórica do município de Piracicaba - SP, totalizaram 1.463; 1.521; 1.088; 1.459 e 1.230 mm para a cana-planta (set/2006 a Ago/2007), 1º soca (set/2007 a jul/2008), 2º soca (Jul/2008 a Set/2009), 3º soca (Set/2009 a Jul/2010) e para a normal climatológica da região, respectivamente. Na Tabela 2 são apresentadas as lâminas de irrigação com EED aplicadas na cultura da cana-de-açúcar na 1º, 2º e 3º soca para todos os tratamentos irrigados. A cana-planta não recebeu irrigação.

TABELA 2. Valores das lâminas de irrigação aplicadas na 1º, 2º e 3º soca da cana-de-açúcar.

Tratamentos	Lâmina de EED (mm)		
	1º Soca	2º Soca	3º Soca
T50%	348,30	302,63	205,86
T100%	573,28	413,28	407,25
T200%	1057,57	1054,72	818,23

T50% = Irrigação com efluente de esgoto doméstico (EED) in natura atendendo 50% da evapotranspiração (ETP); T100% = Irrigação com EED in natura atendendo 100% da (ETP); T200% = Irrigação com EED in natura atendendo 200% da (ETP).

O sistema radicular da cana-de-açúcar foi avaliado com base na visualização da trincheira por meio da interpretação de imagens digitais, utilizando-se do sistema computacional SIARCS, versão 3.0. Para tanto, em cada parcela, no sentido transversal da linha de plantio central e irrigada, realizou-se a abertura de uma trincheira com dimensões de 1,4 m de largura, 1,2 m de comprimento e 1,0 m de profundidade, tendo como centro de referência o sulco da linha de plantio, para que dessa forma, o sistema radicular pudesse ser observado em camadas intervaladas a cada 0,20 m até a profundidade máxima do estudo, que foi 0,8 m (Figura 1 a).

Em seguida, o perfil da trincheira foi nivelado com o auxílio de uma pá de corte reto e escarificado com um rolo escarificador em espiral. Esse processo se fez necessário para melhorar a exposição das raízes e favorecer a pintura das raízes, que foi realizada com tinta spray de cor branca e, ou amarela. Após esse procedimento, por meio do uso de um pulverizador costal, o perfil foi lavado com água e somente as raízes permaneceram pintadas (JORGE & CRESTANA, 1996).

A coleta das imagens do sistema radicular, foi realizada por uma câmera fotográfica da marca Sony com resolução programada para 3 mega pixels. Em todas as trincheiras a máquina foi posicionada a uma profundidade de 0,40 m e distanciada 1,20 m em relação à parede do perfil, dessa forma, nenhum tratamento beneficiou-se ou foi prejudicado pela posição do equipamento. A fotografia de cada trincheira foi dividida em 20 “sub-fotografias”, dispostas em 4 linhas e 5 colunas, cada uma representando 0,056 m² da área real da trincheira (Figura 1 b).

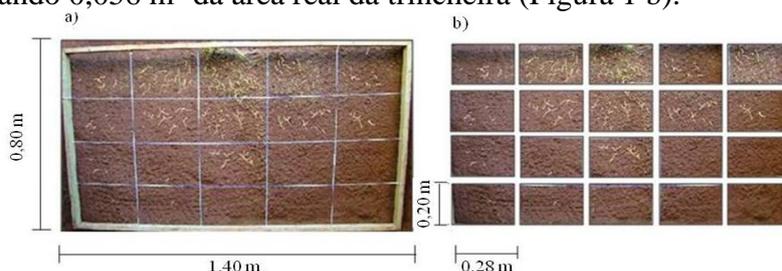


FIGURA 1. Imagem da trincheira (a), e sub-fotografias que compuseram o perfil do solo para análise do sistema radicular (b).

Concluída essa etapa, os arquivos tiveram a qualidade da imagem melhorada no software 20/20 versão 2.2, convertidos à JPEG e salvos em BPM, formato aceito pelo software SIARCS 3.0 (LIMA et al., 2006). Assim, foi possível a realização de estudos sobre a área de raiz, o comprimento e a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura da cana-de-açúcar.

Os dados foram submetidos a análise de variância, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade por meio do sistema computacional Sisvar versão 5.1. Os mapas de distribuição do sistema radicular no perfil do solo foram confeccionados utilizando o sistema computacional Surf versão 9.0.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Área de raiz

O sistema radicular das plantas submetidas ao tratamento TSI apresentou maiores áreas em todas as camadas estudadas e apenas na camada de 0,60-0,80 m apresentou média igual à observada no tratamento T50%. Nas camadas de 0,00-0,20 e 0,20-0,40 m os tratamentos irrigados não diferenciaram-se estatisticamente, embora apresentaram as menores médias (Tabela 3).

TABELA 3. Área de raiz de cana-de-açúcar, influenciada pela irrigação com efluente de esgoto doméstico com diferentes lâminas de irrigação.

Camadas de solo (m)	TSI	T50%	T100%	T200%	CV%
	Área de raiz (cm ²) por quadricula de 0,056 m ²				
0,00 - 0,20	21,91 a	9,97 b	10,10 b	13,52 b	14,84
0,20 - 0,40	12,26 a	4,40 b	5,25 b	6,61 b	13,89
0,40 - 0,60	3,50 a	4,65 a	2,07 a	3,01 a	33,82
0,60 - 0,80	2,99 a	5,55 a	0,80 b	0,97 b	28,92

Médias seguidas pelas mesmas letras na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). TSI = Sequeiro; T50% = Irrigação com EED atendendo 50% da ETP ; T100% = Irrigação com EED atendendo 100% da ETP; T200% = Irrigação com EED atendendo 200% da ETP.

Na camada de 0,60 - 0,80 m, os valores de área de raiz nos tratamentos T100% e T200% foram menores devido ao fato do sistema de irrigação localizar-se à 0,16 m de profundidade e as irrigações serem realizadas três vezes por semana, o que fez com que não houvesse déficit hídrico. Esse procedimento proporcionou às primeiras camadas do solo uma umidade mais elevada e não estimulou o aprofundamento do sistema radicular para camadas mais profundas.

De acordo com VASCONCELOS & GARCIA (2005) o processo de secagem do solo, de cima pra baixo, torna as camadas superficiais mais resistentes ao crescimento das raízes e estimula o desenvolvimento do sistema radicular em maiores profundidade. Essa afirmação é reforçada por FARIAS et al. (2008), relatando que quando irrigada, a planta de cana-de-açúcar emite rapidamente o sistema radicular, porém, não há um aprofundamento tão pronunciado como observado em condições de sequeiro, pois as raízes concentram-se nas regiões mais úmidas.

Em todos os tratamentos observou-se uma maior concentração de área de raiz na camada de 0,00 - 0,20 m e de forma mais expressiva na região próxima ao eixo da soqueira. O TSI apresentou um sistema radicular mais expandido, tanto lateralmente como em profundidade. No T50%, apesar do déficit hídrico proporcionado à cultura, não foi observado uma expansão lateral de área de raiz tão acentuada a exemplo do TSI, porém, o efeito do déficit hídrico foi evidenciado pelo aprofundamento do sistema radicular, uma vez que esse tratamento apresentou raízes tão

desenvolvidas, em profundidade, como as observadas no tratamento que não beneficiou-se com a irrigação (Figura 2).

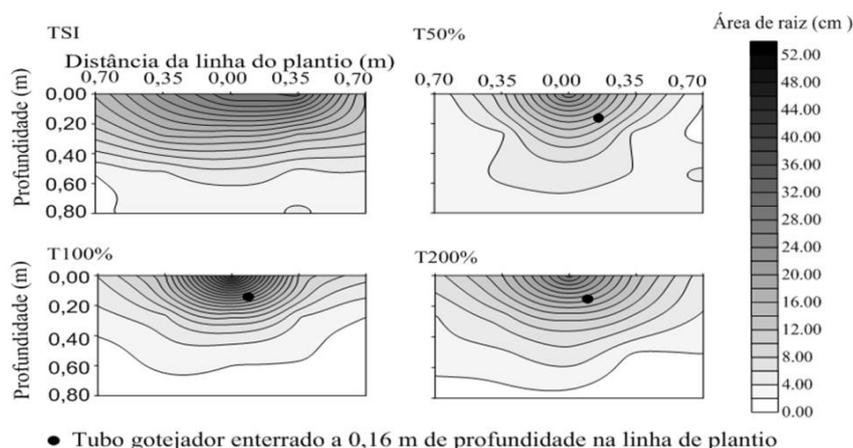


FIGURA 2. Área de raiz de cana-de-açúcar nos tratamentos: TSI = Sem irrigação; T50% = Irrigação com EED atendendo 50% da ETP; T100% = Irrigação com EED atendendo 100% da ETP; T200% = Irrigação com EED in natura atendendo 200% da ETP.

O tratamento T100% apresentou uma menor expansão radicular em profundidade, quando comparado aos tratamentos TSI e T50%, pois a necessidade hídrica das plantas submetidas a esse tratamento foi atendida totalmente (Figura 2).

O sistema radicular das plantas submetidas ao T200% apresentou uma expansão lateral e em profundidade maior do que a verificada no T100%, porém, observou-se a existência de raízes com menores áreas na região próxima ao tubo emissor. Embora o T200% não tenha oferecido estresse hídrico à cultura, a expansão do sistema radicular pode ser justificada pelo fato da aplicação da lâmina excedente proporcionar a formação de um bulbo molhado com uma maior área de atuação, isso associado ao fato do crescimento de raízes ocorrerem, preferencialmente, dentro de áreas molhadas. Com relação às menores áreas de raízes observadas na região próxima ao emissor, atribuiu-se a possível redução do oxigênio no solo proporcionada pela aplicação da lâmina excedente (Figura 2).

Comprimento de raiz

O tratamento TSI apresentou os maiores valores de comprimento radicular em todas as camadas estudadas e apenas nas camadas de 0,40 - 0,60 e 0,60 - 0,80 m, apresentou média igual ao Tratamento T50% (Tabela 4).

TABELA 4. Comprimento de raiz de cana-de-açúcar, por quadricula de 0,056 m², influenciado pela irrigação com efluente de esgoto doméstico em diferentes lâminas de irrigação.

Camadas de solo (m)	Comprimento de raiz (cm)				CV%
	TSI	T50%	T100%	T200%	
0,00 - 0,20	179,60 a	124,67 b	135,32 b	123,45 b	3,76
0,20 - 0,40	94,17 a	49,73 b	45,94 b	60,61 b	8,69
0,40 - 0,60	32,45 a	33,55 a	21,26 b	22,61 b	8,95
0,60 - 0,80	27,64 a	20,21 a	7,14 b	5,45 b	29,34

Médias seguidas pelas mesmas letras na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). TSI = Sem irrigação; T50% = Irrigação com EED atendendo 50% da ETP; T100% = Irrigação com EED atendendo 100% da ETP; T200% = Irrigação com EED atendendo 200% da ETP.

A exemplo do comportamento da área de raiz, o comprimento radicular também foi reduzido pelo uso da irrigação com EED. Isso pode ser confirmado ao observar as maiores médias de comprimento nos tratamentos TSI e T50% nas profundidades 0,40 - 0,60 e 0,60 - 0,80 m, sendo esses tratamentos as únicas condições em que a necessidade hídrica da cultura não foi atendida via irrigação (Tabela 5).

SOUSA (2012) ao estudar a influencia do EED sobre os atributos químicos do solo, na mesma área e no mesmo ano em que a presente pesquisa foi realizada, verificou nos tratamentos irrigados maiores teores de nutrientes como, por exemplo, N, K, Ca e Mg com valores médios de, 21,40%, 3,61%, 38,34% e 100%, respectivamente, a mais que o TSI. Esse fato pode ter contribuído para que não houvesse a necessidade das plantas, submetidas à irrigação, aprofundarem o sistema radicular em busca de nutrientes, corroborando com OTTO et al. (2009), ao afirmar que o aprofundamento do sistema radicular também se dá quando a planta necessita absorver nutrientes essenciais ao seu desenvolvimento.

Observou-se um decréscimo dos valores de comprimento de raiz nos perfis de todos os tratamentos à medida que aumentou-se a profundidade das camadas de solo. Porém, a distribuição do comprimento de raiz observada no tratamento TSI apresentou-se mais homogênea no perfil do solo quando comparada aos tratamentos irrigados, que apresentaram maior comprimento de raiz na região próxima ao tubo emissor (Figura 3).

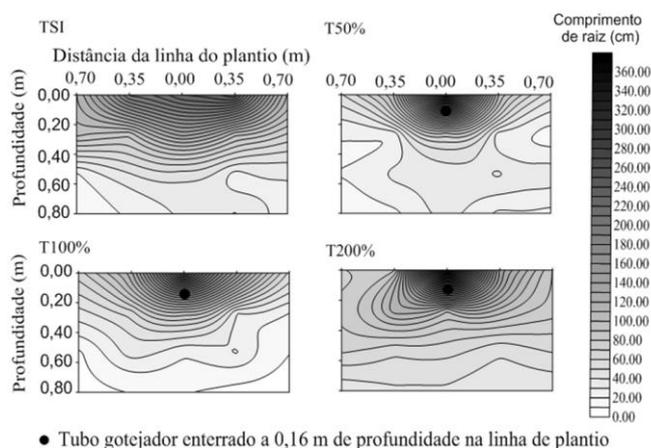


FIGURA 3. Comprimento de raiz de cana-de-açúcar com os tratamentos TSI = Sem irrigação; T50% = Irrigação com atendendo 50% da ETP; T100%= Irrigação com EED atendendo 100% da ETP; T200% = Irrigação com EED atendendo 200% da ETP.

BUSO et al. (2009), também observaram um decréscimo no comprimento de raiz a medida que aumentou-se a profundidade no perfil de solo. SANTOS (2010) afirma que a irrigação por gotejamento subsuperficial proporciona uma distribuição mais homogênea de raízes no perfil, diferente do cultivo sem irrigação, onde há uma predominância de raízes na primeira camada.

Profundidade efetiva das raízes

Com base na distribuição acumulada do comprimento de raízes foi possível determinar a profundidade efetiva do sistema radicular da cana-de-açúcar, sendo esta definida por BERNARDO et al. (2005), como sendo a profundidade, a partir da superfície, onde encontram-se acumulados 80% do sistema radicular.

Os tratamentos TSI, T100% e T200% apresentaram a profundidades efetiva nos primeiros 0,40 m a partir da superfície do solo, e não diferiram estatisticamente entre si. Nessa mesma camada, o tratamento T50% apresentou a menor média observada, concentrando 76,43% do total de raízes (Figura 4).

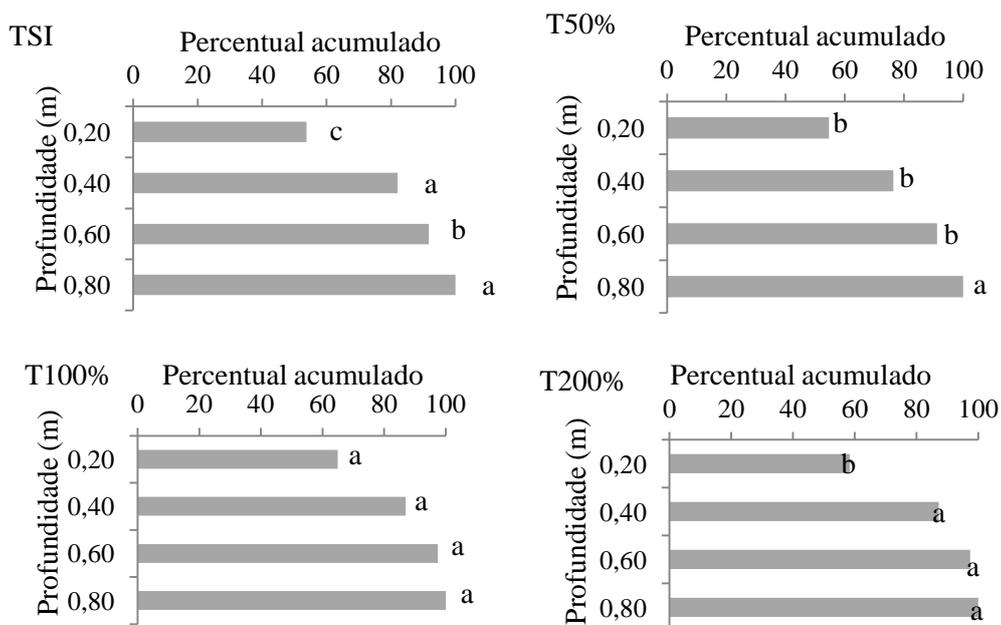


FIGURA 4. Percentual acumulado do comprimento de raiz de cana-de-açúcar para os tratamentos TSI = Sem irrigação; T50% = Irrigação com EED atendendo 50% da ETP; T100% = Irrigação com EED atendendo 100% da ETP; T200% = Irrigação com EED atendendo 200% da ETP. Médias seguidas pela mesma letra na mesma profundidade não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

O aprofundamento do sistema radicular verificado no T50% associado a menor expansão lateral na camada de 0,00 - 0,20 (Figura 3) podem ter sido os responsáveis pela não verificação dos 80% do sistema radicular nos primeiros 0,40 m.

A ausência da irrigação proporcionada pelo tratamento TSI estimulou o aprofundamento do sistema radicular e um maior desenvolvimento lateral, principalmente na camada de 0,00 - 0,20 m, o que garantiu a concentração de 80% das raízes na profundidade de 0,00-0,40 m. Os resultados de porcentagem acumulada de raiz observados em todos os tratamentos estão de acordo com FARIAS et al. (2008), ao afirmarem que de modo geral, até 76% das raízes de cana-de-açúcar encontram-se nos primeiros 0,45 m de profundidade do solo. Esses autores avaliaram o desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar irrigada e cultivada sem irrigação após 280 dias de implantação do experimento, e observaram que a cana-de-açúcar cultivada sem irrigação apresentou 80% da fitomassa de raízes nos primeiros 0,60 m de profundidade do solo, e quando irrigada, esse valor aumentou para 90%.

Ao avaliarem o desenvolvimento do sistema radicular de cana-de-açúcar crua e queimada ALVAREZ et al. (2000), afirmaram que 75% do sistema radicular encontrava-se nos primeiros 0,40 m do solo e em cana-de-açúcar queimada, reduziu para 72%, tal fato refere-se aos maiores valores de umidade do solo proporcionado pela permanência da palha quando a cana-de-açúcar é colhida crua. Para INFORZATO & ALVAREZ (1957), 59% das raízes encontram-se nos 0,30 m superficiais. BALL-COELHO et al. (1992) observaram que 62,70% da quantidade de raízes estão situadas na profundidade de 0,00-0,50 m.

CONCLUSÕES

1. A irrigação com efluente de esgoto doméstico reduziu a área e o comprimento do sistema radicular da cana-de-açúcar e concentrou o sistema radicular na região próxima ao tubo gotejador e reduziu o aprofundamento das raízes.

2. Os tratamentos TSI e T50% estimularam o desenvolvimento de raízes em camadas mais profundas.
3. Nos tratamentos TSI, T100% e T200% a profundidade efetiva do sistema radicular atingiu a camada de 0,00 - 0,40 m e no T50% a camada de 0,00 - 0,60 m.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, I. A. CASTRO, P. R. C.; NOGUEIRA, M.C. S. Crescimento de raízes de cana crua e queimada em dois ciclos. *Revista Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 653-9, out/dez. 2000.
- BALL-COELHO, B.; SAMPAIO, E. V. S. B.; TIESSEN, H.; STEWART, J. W. B. Root dynamic in plant ratoon crops of sugar cane. *Plant and soil*, The Hague, v. 142, p. 297-305, 1992.
- BARROS, A. C.; FOLEGATTI, MARCOS, V.; SOUZA, C. F.; SANTORO, B. Distribuição da solução no solo por gotejo enterrado e superficial. *Revista Irriga*, Botucatu, v. 15, n. 4, p. 361-372, out/dez. 2010.
- BARROS, A. C.; FOLEGATTI, MARCOS, V.; SOUZA, C. F.; SANTORO, B. Distribuição de água no solo aplicado por gotejamento enterrado e superficial. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.13, n. 6, p.700-7, dez. 2009.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MONTOVANI, E. C. Manual de Irrigação. 7 ed. Viçosa: Ed. UFV, 2005.
- BUSO, P. H. M.; KOEHLER, H. S.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; IDO, O. T.; BESPALHOK-FILHO, J. C.; WEBER, H. OLIVEIRA, R. A.; ZENI NETO, H. Sistema radicular da variedade RB85535 de cana-de-açúcar no plantio em minitolete e tolete, *Revista Scientia Agrária*, Curitiba, v.10, n.5, p. 343-349, set/out. 2009.
- COELHO, E. F.; SANTOS, D. B.; AZEVEDO, C. A. V. Sensor placement foi soil monitoring in lemon irrigated by micro sprinkler. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.11, n. 1, p. 46-52, fev. 2007.
- COELHO, E. F.; SANTOS, M. R.; COELHO FILHO, M. A. Distribuição de raízes de mamoeiro sob diferentes sistemas de irrigação localizada em latossolo de tabuleiros costeiros. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v.27, n.1, p. 175-178, abr. 2005.
- COELHO, E. F. SILVA.; SILVA, A. J. P.; MIRANDA, J. H. Definição do posicionamento de sensores para monitoramento da água no solo em bananeira irrigada por diferentes sistemas de irrigação localizada. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.30, n.4, p. 608-618, jul/ago. 2010.
- COSTA, M. C.; MAZZA, J. A.; VITTI, C. G.; JORGE, L. A. C. Distribuição radicular, estado nutricional e produção de colmos e de açúcar em soqueiras de dois cultivares de cana-de-açúcar em solos distintos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.31, p. 1503-1514, dez. 2007.
- DEON, M. D. *Reciclagem de águas e nutrientes pela irrigação da cana-de-açúcar com efluente de tratamento de esgoto*. 2010. 89p. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- DEON, M. D.; GOMES, T. M.; MELFI, A. J.; MONTES, C. R.; SILVA, E. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar irrigada com efluente de esgoto de estação de tratamento de esgoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.45, n.10, p.1149-1156, out. 2010.
- FAO/ UNESCO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *Irrigation, drainage and salinity: an international source book*. London, Hutchinson/FAO/UNESCO, 1973. 510p.
- FARIAS, C. H. A.; FERNANDES, P. D.; AZEVEDO, H. M.; DANTAS NETO, J. Índice de crescimento de cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no estado da Paraíba. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 12, n.4, p. 356-362, ago. 2008.
- FONSECA, A. F.; HERPIN, U.; PAULA, A. M. VICTÓRIA, R. L.; MELFI, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: Agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 64, n.2, p.194-209. mar/abr. 2007.

GALAVI, M.; JALALI, A.; RAMROODI, M.; MOUSAVI, S, R.; GALAVI, H. Effects of treated municipal wastewater on soil chemical properties and heavy metal uptake by sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Journal of Agricultural Science*, Amsterdam, v. 2, n. 3, p. 235 – 241, 2010.

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.

INFORZATO, R.; ALVAREZ, R. Distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar var. Co. 290, em solo tipo Terra-Roxa-Legítima. *Bragantia*, Campinas. v.16, n.1, p.1-13, out. 1957.

JORGE, L. A. C. CRESTANA, S. *Recomendações práticas para utilização do SIARCS 3.0 no estudo de raízes, cobertura vegetal, folhas e outras aplicações. n. 4.* São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 1996. 23 p. (Boletim Técnico).

KALAVROUZIOS, I. K.; ROBOLAS, P.; KOUKOULAKIS, P. H.; PAPAPOPOULOS, A. H.; Effects of municipal reclaimed wastewater on the macro-and micro elements status of soil and of *Bassica oleracea* var. *Italica*, and *B. oleracea* var. *Germifera*. Amsterdam *Agricultural Water Management*, v. 95, p. 419 – 426, 2008.

KALAVROUZIOS, K. I.; KOUKOULAKIS, P. H.; SAKELLARIOU-MAKRANTONAKI, M.; PAPANIKOLAOU, C. Effects of treated municipal wastewater on the essential nutrients interactions in the plant of *Brassica oleracea* var. *Itálica*. *Desalination*, Amsterdam, v. 242, p. 297-312, 2009.

LIMA, W. L. OLIVEIRA, J. R. SAGGIN JUNIOR, O. J. RAPOSO, T. P. ALVES, G. C. SILVA, E. M R. BERBARA, R. L. L. *Editoração de imagens para avaliação de crescimento de plantas ou microrganismos com programa SIARCS*. Seropedica: Embrapa Agroecologia Rio de Janeiro, 2006. 32p. (Boletim Técnico).

NEVES, C. S. V. J.; STENZEL, N. M. C.; CARVALHO, S. L. C.; FURLANETO, T. L. R.; OKUMOTO, S. H. Sistema radicular de quatro porta-enxerto sob copa de tangerina pocã. *Revista Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 32, n.2, p. 487-492, mar/abr. 2008.

OTTO, R.; FANCO, H. C. J.; FARONI, C. E.; VITTI, A. C.; TRIVELIN, P. C. O. Fitomassa de raízes relacionada à adubação nitrogenada de plantio. *Revista de Pesquisa Agropecuária*, Brasília, v. 44, n. 4, p. 398 – 405, abr. 2009.

RAIJ, B. VAN.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; A. M.C. FURLANI, A. M. C (Ed). *Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. 2 ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. 285p . (Boletim Técnico 100).

RAMOS, A.; FOLEGATTI, M. V.; BOVI, M. L. A.; DIOTTO, A. V. Distribuição espacial do sistema radicular da pupunheira em função das lâminas de irrigação. *Revista Irriga*, Botucatu, v.14, n. 4, p. 431-440, out/dez. 2009.

RIBEIRO, A. A.; COELHO, R. D.; TEIXEIRA, M. B. Entupimento de tubos gotejadores convencionais com aplicação de cloreto de potássio (branco e vermelho) via duas qualidades de água. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 279-287. mar/abr. 2010.

SANDRI, D.; MATSURA, E. E. M.; TESTEZLAF, R. Alteração química do solo irrigado por aspersão e gotejamento subterrâneo e superficial com água residuária. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v.13, n.6, p.755–764, dez. 2009.

SANTOS, J. S.; LIMA, V. L. A.; BORGES JUNIOR, J. C. F.; SILVA, L. V. B. D.; AZEVEDO, C. A. V. Mobilidade de solutos em coluna de solo com água residuária doméstica e de suinocultura. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.14, n.11, p.1226-1233, nov. 2010.

SANTOS, D. *Distribuição do sistema radicular e produtividade de cana-de-açúcar (saccharum ssp) fertirrigada por gotejamento subsuperficial*. 2010. 85 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu. 2010.

SOUSA, A. C. M. *Uso da irrigação subsuperficial com efluente de esgoto doméstico em área cultivada com Cana-de-açúcar*. 2012. 123p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

VASCONCELOS, A. C. M.; GARCIA, J. C. *Desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar*. Piracicaba: Potafos. 2005. 32p. (Encarte Técnico).