

INFLUÊNCIA DA APLICAÇÃO DE EFLUENTE DE ESGOTO TRATADO NA TAXA DE INFILTRAÇÃO DE ÁGUA NO SOLO

G. O. Santos¹, R. T. de Faria², G. F. Dantas³, G. A. Rodrigues⁴, A. de Sousa⁵

Doutorando, FCAV/UNESP, Jaboticabal - São Paulo. Email: gilmar_engambiental@yahoo.com.br

Doutor, Pesquisador FCAV/UNESP Jaboticabal - São Paulo. Email: rogeriofaria@fcav.unesp.br

Doutorando, FCAV/UNESP, Jaboticabal - São Paulo. Email: geffson@hotmail.com

Doutorando, FCAV/UNESP, Jaboticabal - São Paulo. Email: gilberto.rodrigues@fatectq.edu.br

Tecnólogo em Agronegócios, FATEC, Taquaritinga - São Paulo. Email: andesouza@live.com

Doutor, Pesquisador FCAV/UNESP Jaboticabal - São Paulo. Email: dalri@fcav.unesp.br

Apresentado no

XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015

13 a 17 de setembro de 2015- São Pedro- SP, Brasil

RESUMO: A quantificação da taxa de infiltração básica de água no solo (TIB) em projetos de irrigação por aspersão tem como objetivo estabelecer a taxa máxima de aplicação de água dos aspersores para que não ocorram perdas por escoamento superficial. Neste estudo, avaliou-se a influência de aplicações sucessivas de efluente esgoto tratado (EET) na TIB em Latossolo Vermelho eutrófico cultivado com *Brachiaria brizantha*. Um sistema de aspersão em linha tripla foi utilizado para aplicar lâmina uniforme de irrigação (3.212 mm), mas gradual de EET, em seis tratamentos, quatro repetições, com as seguintes frações do EET em água: E₅=1,0; E₄=0,87; E₃=0,6; E₂=0,31, E₁=0,11 e E₀=0,0. Na condição inicial, avaliou-se apenas o tratamento E₃ em quatro repetições. Utilizaram-se infiltrômetros de anéis concêntricos para medir a infiltração na condição inicial do experimento e após um ano de aplicação de fertirrigação. Os dados foram ajustados ao modelo Kostiakov-Lewis. O efluente apresentou salinidade média (0,46±0,1 dS m⁻¹) e média razão de adsorção de sódio (RAS=18,1±3,2). Na condição inicial a TIB variou de 19 a 48 mm h⁻¹, valores considerados representativos do tipo de solo da área experimental. Na avaliação final os valores da TIB para os tratamentos E₅, E₄, E₃, E₂, E₁ e E₀ foram 217, 97, 117, 31, 36, 40 mm h⁻¹. A maior aplicação de EET possivelmente propiciou em maior perfilhamento da forrageira, possivelmente favorecendo o aumento da porosidade do solo, resultando no aumento da TIB, reduzindo os riscos de escoamento superficial e erosão do solo.

PALAVRAS-CHAVE: água residuária, infiltração, irrigação, manejo de solo

INFLUENCE OF SEWAGE WASTEWATER TREATY ON WATER INFILTRATION RATE IN SOIL

ABSTRACT: Quantification of infiltration rate of water into the soil (TIB) under sprinkler irrigation projects aims to establish the maximum rate water application of sprinklers to occur no losses by runoff. This study evaluated the influence of successive applications of treated sewage effluent (TSE) in TIB in Oxisol cultivated with *Brachiaria*. A triple online sprinkler system was used to apply uniform water depth (3,212 mm), but gradual TSE in six treatments, four replications, with the following fractions of water TSE: E₅, E₄, E₃, E₂, E₁ and E₀. In the initial condition, it evaluated only the E₃ treatment in four replications. Infiltrimeters were used to measure the concentric ring infiltration into the initial condition of the experiment and after one year of application fertigation. The data were adjusted to Kostiakov-Lewis model. The effluent had an average salinity (0.1 dS ± 0.46 m⁻¹) and middle sodium adsorption ratio (SAR = 18.1 ± 3.2). In the initial condition TIB ranged from 19 to 48 mm h⁻¹, values

considered representative of the type of soil of the field. At the final evaluation values for TIB treatments E₅, E₄, E₃, E₂, E₁ and E₀ were 217, 97, 117, 31, 36, 40 mm h⁻¹. A further application of TSE possibly led to a greater tillering forage, possibly favoring the increased soil porosity, resulting in increased TIB, reducing the risk of runoff and soil erosion.

KEYWORDS: wastewater, infiltration, irrigation, soil management

INTRODUÇÃO

A quantificação da taxa de infiltração básica (TIB) de água no solo, em projetos de irrigação por aspersão, tem como objetivo estabelecer a taxa máxima de aplicação de água dos aspersores, para que não ocorram perdas por escoamento superficial (COELHO et al., 2000).

Para José et al. (2013) considerar pequenas extensões como área uniforme, pode interpretar erroneamente as respostas obtidas devido a dinâmica das características físico-hídricas no espaço e no tempo.

O escoamento superficial é responsável por processos indesejáveis, como a erosão do solo e as inundações, logo a infiltração determina o balanço de água na zona radicular e, por isso, o conhecimento desse processo e suas relações com as propriedades do solo são de fundamental importância para o eficiente manejo do solo e da água (DALRI et al., 2010).

A aplicação de resíduos urbanos em solos agrícola e crescente em nível mundial devido ao grande volume de esgoto gerado diariamente torna-se necessário o desenvolvimento de técnicas que visem à sua reutilização, contribuindo desta forma para a preservação dos sistemas naturais (NICHELE, 2009; SOUZA et al., 2013).

O uso de água residuárias na agricultura além de fornecer macro e micro nutrientes às culturas e propiciar a economia de água exige também conhecimento técnico, devido ao elevado teor de sódio. As elevadas concentrações de sódio no EET podem trazer eventuais deteriorações na estrutura do solo, alterando o sistema de poros e contribuindo para alterações na infiltração e condutividade hidráulica (SILVA, 2013).

Assim, neste estudo, avaliou a influência de aplicações sucessivas de efluente esgoto tratado (EET) na TIB de água em Latossolo Vermelho eutrófico cultivado com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante o ano de 2013 e 2014 na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV-UNESP), em Jaboticabal, SP (21°14'41,9"S e 48°16'25,2"O). Utilizou-se efluente proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Dr. Adelson Taroco, localizada próxima à área experimental cujo sistema de tratamento é constituído por um sistema misto (Anaeróbio e Aeróbio) através de Digestor Anaeróbio de Fluxo Ascendente (DAFA) e Lagoas Facultativas. Essa ETE coleta esgoto da cidade de Jaboticabal, cujo município possui 71.662 habitantes, área territorial de 707 km² e densidade demográfica de 101,4 hab km² (IBGE, 2010).

O solo da é classificado como Latossolo Vermelho eutrófico (LVe) (ANDRIOLI e CENTURION, 1999), caracterizado por textura muito argilosa (>50%), alto teor de ferro, boa fertilidade e relevo suave (Tabela 1).

TABELA 1. Característica química média do solo na área experimental de 0-100 cm, em novembro de 2012.

pH	MO	K	Ca	Mg	H+Al	$\frac{S}{B}$	T	Al	P	B	Cu	Fe	Mn	Zn	S	V	
	g dm ⁻³	----- mmol dm ⁻³ -----					----- mg dm ⁻³ -----										%
5,5	20	4	25	12	27	40	68	0	53	0,3	3,4	12	18	2	24	57	

O solo da área experimental é argiloso a muito argiloso (Tabela 2) com alto teor de ferro e elevada porosidade (Tabela 3) devido à alta concentração de argila resulta alta densidade do solo em todas as camadas na condição inicial.

TABELA 2. Característica química média do solo na área experimental de 0-100 cm, em novembro de 2012.

Trat.	Prof. (cm)	Areia total	Areia grossa	Areia fina	Argila	Silte	Classificação
		g kg ⁻¹					
E ₅	0-15	230	96	134	534	236	Argiloso
E ₅	15-45	215	82	134	611	173	Muito argiloso
E ₅	>45	210	73	137	592	198	Argiloso
E ₃	0-15	230	90	140	587	183	Argiloso
E ₃	15-45	208	80	128	597	195	Argiloso
E ₃	>45	206	72	134	612	182	Muito argiloso
E ₀	0-15	221	89	132	566	213	Argiloso
E ₀	15-45	208	78	130	592	200	Argiloso
E ₀	>45	209	74	135	598	193	Argiloso

TABELA 3. Densidade e porosidade do solo nas camadas 0-15, 15-45 e >45 cm de profundidade, determinadas no início do em experimento, em janeiro de 2013.

Profundidade (cm)	Densidade do solo (g cm ⁻³)	Porosidade total (%)
0-15	1,45	46
15-45	1,49	44
>45	1,34	50
Média	1,43	47

O experimento foi conduzido em área útil de 345,6 m², constituídas de 24 parcelas de 14,4 m², com 2,4 m de largura e 6 m de comprimento. Distribuição uniforme da lâmina de irrigação e gradual de EET foi obtida com um sistema de aspersão em linha tripla (JOHNSON et al., 1983), possibilitando definir cinco tratamentos, em quatro repetições, com as seguintes frações do efluente em água: E₅=1,0; E₄=0,87; E₃=0,6; E₂=0,31, E₁=0,11 e E₀=0,0 (Figura 1).

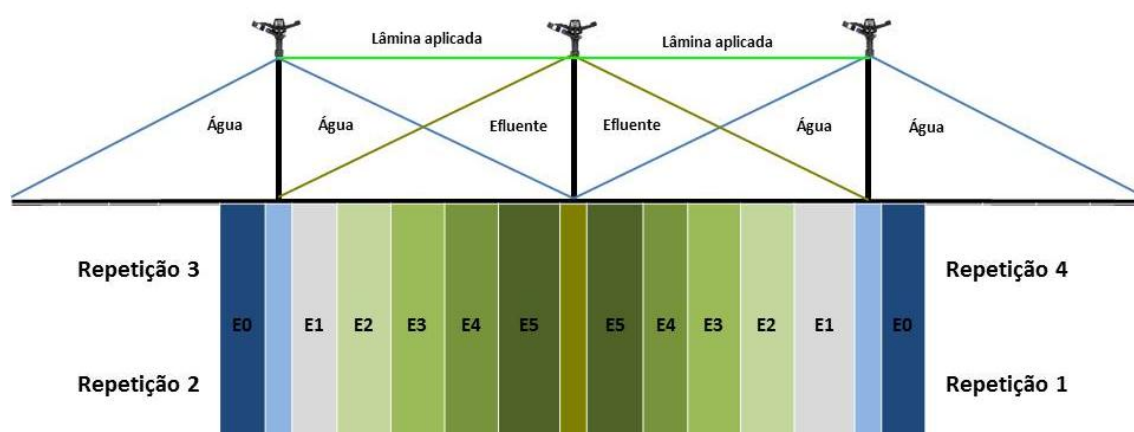


FIGURA 1. Esquema experimental com as linhas de distribuição gradual de EET em água.

Ao término de cada estação do ano foram feitas análises de nutrientes no EET (Tabela 4) pelo método APHA (2005).

TABELA 4. Densidade e porosidade do solo nas camadas 0-15, 15-45 e >45 cm de profundidade, determinadas no início do em experimento, em janeiro de 2013.

Elementos	Unidades	Média	Parâmetros
pH	-	7,0±0,3	5-9 ^a
CE	dS m ⁻¹	0,46±0,01	<3 ^b
Ntotal	mg L ⁻¹	52,9±7,0	-
K	mg L ⁻¹	20,3±7,2	10-40 ^c
P	mg L ⁻¹	1,1±0,4	<2 ^b
Ca	mg L ⁻¹	15,5±6,4	20-120 ^c
Mg	mg L ⁻¹	6,2±2,6	10-50 ^c
Na	mg L ⁻¹	58,8±8,7	50-250 ^c
RAS	-	18,0±2,9	4,5-7,5 ^c

Obs.: pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade elétrica; Ntotal: nitrogênio total; Fetotal: Ferro total; K: Potássio; P: Fósforo; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Na: Sódio; RAS: Razão de adsorção de sódio; Fonte: ^aBrasil (2011); ^bAyers e Westcot (1976); ^cFeigin, Ravina e Shalhevet (1991).

A área experimental recebeu EET sob o cultivo de *Brachiara brizantha* durante 24 meses, sendo aplicada lâmina de irrigação com EET de 4.106 mm no tratamento E₅. Foram aplicados no tratamento E₅ (kg ha⁻¹): N=2.063, P=48, K=777, Ca=616, Mg=200 e Na=2.322. Os demais tratamentos receberam quantidades proporcionais às frações de aplicação definida em cada tratamento. As adubações foram escalonadas de acordo com as necessidades da cultura em cada ciclo de corte (28 dias).

Na forma mineral, no tratamento E₀, foram aplicados 1.105 kg ha⁻¹ de N, 232 kg ha⁻¹ de P e 1.250 kg ha⁻¹ de K. Doses superiores no tratamento E₃ na mesma estação foram em suprir a necessidade hídrica da cultura. Todos os tratamentos receberam adubação mineral complementar de P e K. As adubações foram escalonadas de acordo com as necessidades da cultura em cada ciclo de corte (28 dias).

A avaliação da taxa de infiltração básica de água no solo foi realizada em março de 2013 para caracterização inicial e em setembro de 2014 para avaliação do efeito da aplicação de EET em cada tratamento.

Foram utilizados anéis concêntricos, com quatro repetições (Figura 2), seguindo a

metodologia proposta por Bernardo, Soares e Mantovani (2006) sendo descartada a de maior discrepância entre os dados. Calibraram-se os coeficientes da equação de Kostiavok aos dados de infiltração para representar as curvas de infiltração instantânea e acumulada e determinar a taxa de infiltração básica.

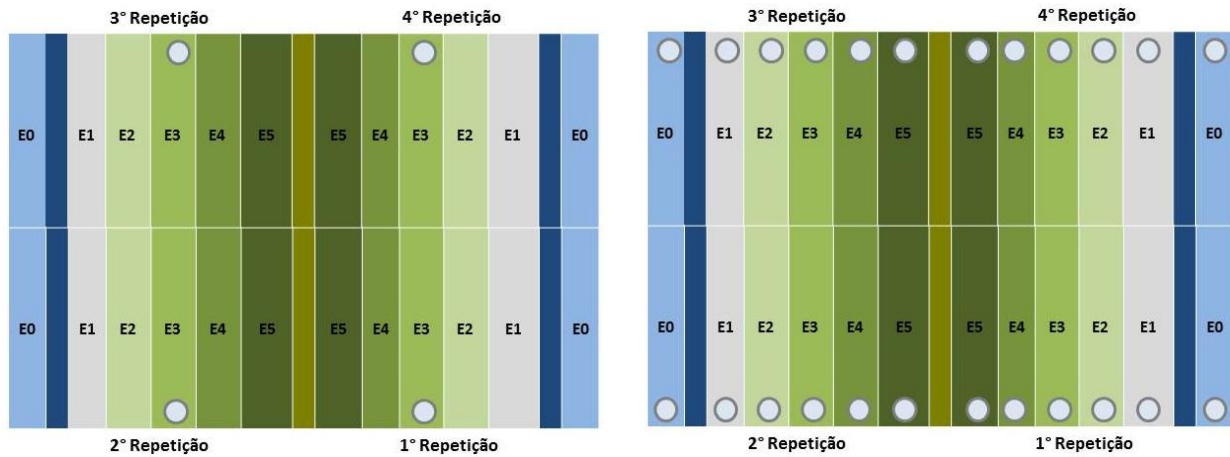


FIGURA 2. Localização da determinação da velocidade de infiltração de água no solo no início do experimento (esquerda), em março de 2013 e no término do experimento (direita), setembro de 2014.

Os valores de taxa de infiltração foram obtidos pela relação entre lâmina infiltrada e o tempo de infiltração considerado.

Com os dados da taxa de infiltração média obtidos no campo, verificou-se a adequação do modelo de Kostiakov-Lewis (equação 1), para a estimativa da taxa de infiltração de água nos diferentes manejos de aplicação de EET.

$$i = k \alpha t^{(\alpha-1)} + i_f \quad (1)$$

Em que: i = Taxa de infiltração observada (cm h⁻¹); i_f = Taxa de infiltração final (cm h⁻¹); α e k = Parâmetros estatísticos; e T = Tempo de infiltração (minutos).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de infiltração acumulada e instantânea apresentadas na Figura 3 mostram valores de infiltração básica de 19, 21 e 48 mm h⁻¹, com valor médio de 29 mm h⁻¹ para a condição inicial da área experimental. Esses valores podem ser considerados representativos do tipo de solo da área experimental e a variabilidade pode ser considerada normal. Oliveira et al. (2000) avaliando a taxa de infiltração de água em um solo Podzólico Vermelho-Amarelo, encontrou uma variação média de infiltração de água no solo em quatro repetições de 21,8%, com valor médio de 49,6 mm h⁻¹.

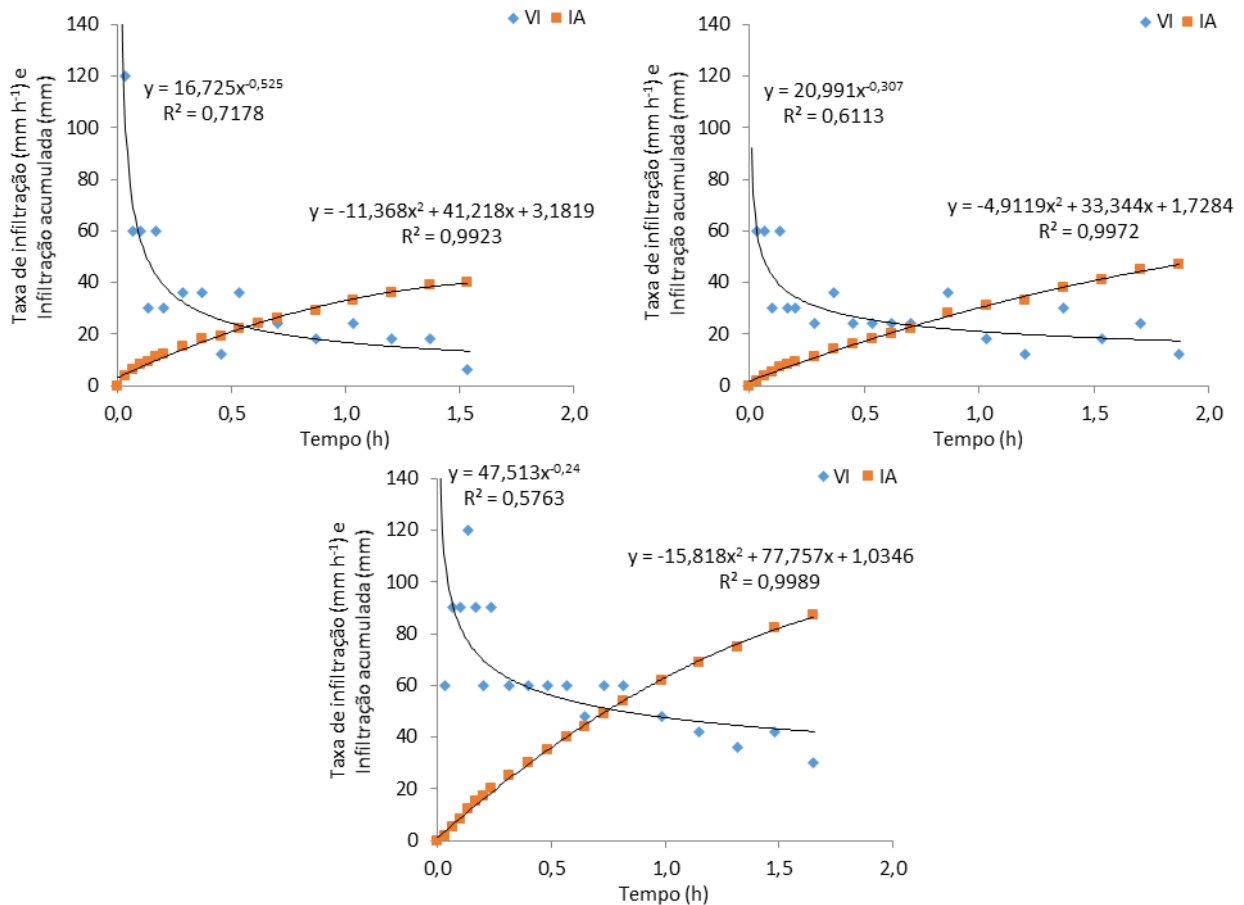
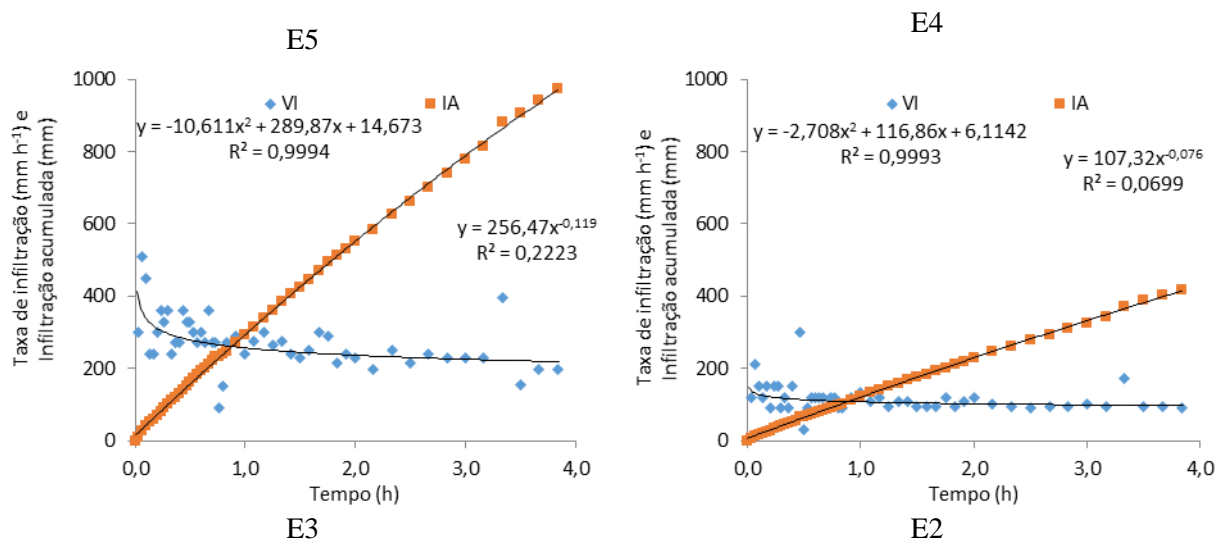


FIGURA 3. Infiltração acumulada (IA) e taxa de infiltração instantânea (TI) em três repetições da área experimental determinada em março de 2013.

Houve aumento da taxa de infiltração básica em função do manejo adotado, sendo de 217, 97, 117, 31, 36, 40 mm h⁻¹, para os tratamentos E₅, E₄, E₃, E₂, E₁ e E₀, respectivamente, com valor médio de 90 mm h⁻¹ (Figura 4). Cortes efetuados a 15 cm a cada 28 dias, propiciou na morte e rebrota de parte do sistema radicular, o que favoreceu no aumento da infiltração continuada, provocada pelo aumento de macro e micro poros.



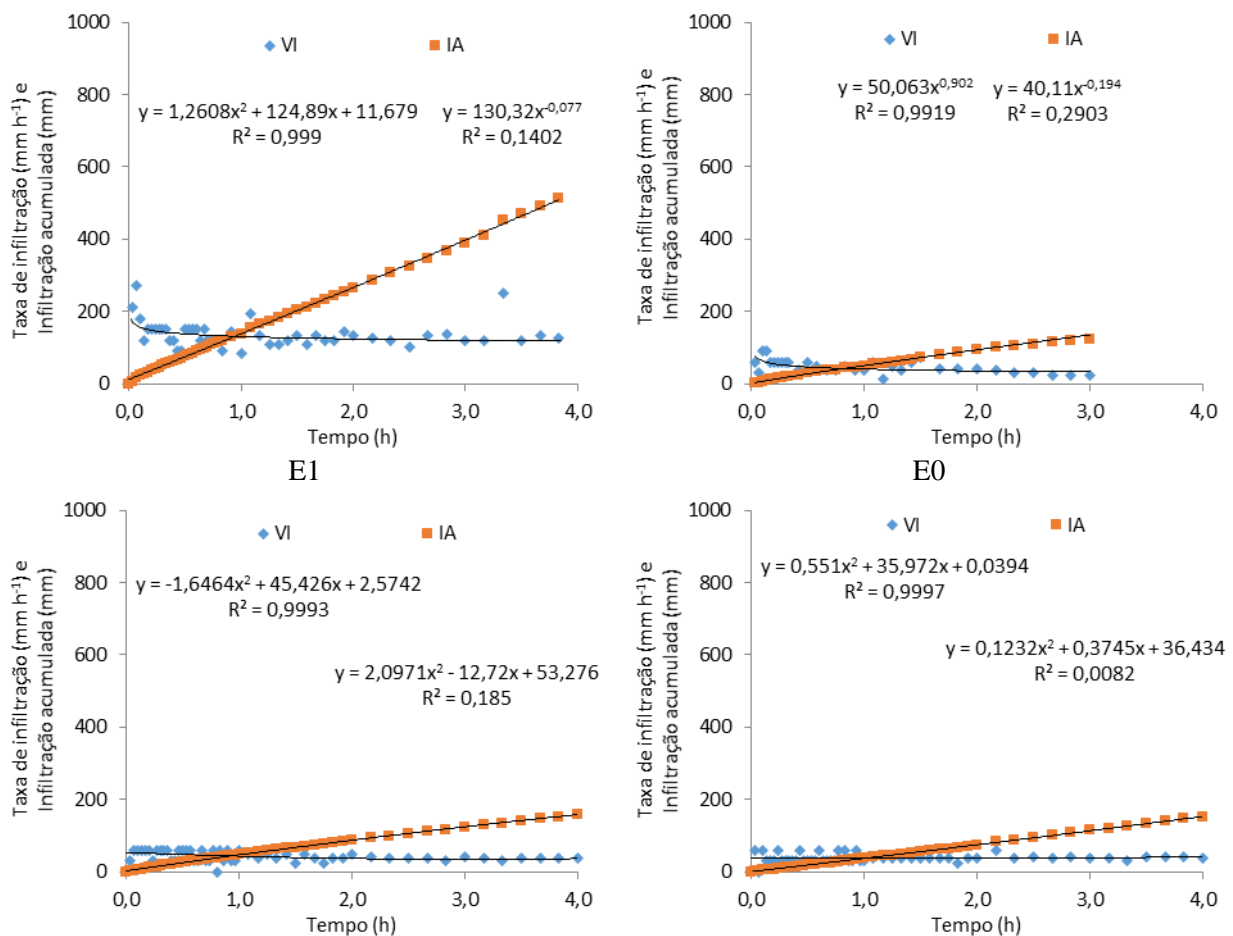


FIGURA 4. Infiltração acumulada (IA) e taxa de infiltração instantânea (TI) nos tratamentos de E₅-E₀ em setembro de 2014.

Doses graduais de EET propiciaram no aumento na taxa de infiltração básica, sendo no tratamento E₃ de 310% em relação à condição inicial em março de 2013. No entanto, no tratamento E₀ não houve aumento significativo, sendo de apenas 36% durante o período avaliado.

José et al. (2013) avaliando a taxa de infiltração básica de água em três solos do noroeste do Estado do Paraná, região constituída por Nitossolo Vermelho Distroférico e Latossolo Vermelho Distroférico, encontraram variabilidade espacial em até 3 e 12 metros para a TIB.

Souza e Alves (2003) avaliando as modificações do movimento da água de um Latossolo Vermelho distrófico sob vegetação de cerrado, para diferentes condições de uso e manejo do solo, obtiveram taxa constante de infiltração de água para áreas de pastagem de 190 mm h⁻¹.

A análise do EET demonstrou média a alta razão de adsorção de sódio (18,0±2,9) com médio potencial de salinização do solo (0,46±0,01), classificando como C₂S₃. Além da irrigação esses riscos podem ser minimizados devidos aos elevados índices pluviométricos (>1.400 mm ano⁻¹). O aumento no teor de sódio no solo foi observado por Pereira et al. (2010) avaliando a influência de diferentes lâminas de irrigação na laranjeira (100%, 125%, 150% e 200% da ETc) com EET, no entanto, o índice pluviométrico da região (>1.200 mm ano⁻¹) foi suficiente para lixiviar o excesso de sódio.

Oliveira et al. (2000) avaliando o efeito de aplicações sucessivas de água residuária proveniente de higienização de granjas de suínos, com quatro diferentes deferentes concentrações de sólidos totais (0-26,9 g L⁻¹), com teor de sódio entre 158-552 mg L⁻¹ e RAS

entre 2,7-4,4, sobre a TIB do solo, concluíram que a concentração de sólidos totais desse efluente foi mais importante na redução da capacidade de infiltração do solo que os níveis de RAS e de salinidade.

Dalri et al. (2010) associou a alta taxa de infiltração de água no solo com o elevado teor de matéria orgânica presente na vinhaça, que propiciou em uma ação cimentante, agregando partículas pequenas em partículas maiores, elevando a taxa de infiltração de água no solo.

Para Andrade Júnior et al. (2006) quanto maior a salinidade da água, menor será o efeito dispersante do sódio, uma vez que os sais atuam no solo de maneira oposta ao sódio, ou seja, os sais presentes na solução do solo têm efeito flocculante, aumentando a infiltração de água no solo, reduzindo o escoamento superficial e os riscos de erosão.

O cultivo intensivo de forragem e a aplicação constante de EET possivelmente propiciou maior perfilhamento da forrageira, favorecendo no aumento dos poros do solo, resultando no aumento da TI, reduzindo os riscos de escoamento superficial, salinização e erosão do solo.

CONCLUSÕES

A aplicação gradual de EET propiciou em aumento da taxa de TIB de 29 mm h⁻¹ em média para sendo de 217, 97, 117, 31, 36, 40 mm h⁻¹, para os tratamentos E₅, E₄, E₃, E₂, E₁ e E₀, respectivamente.

O cultivo intensivo e a aplicação sucessiva de EET propiciaram em maior perfilhamento da forrageira, favorecendo no aumento dos poros do solo, resultando no aumento da TIB, reduzindo os riscos de escoamento superficial, salinização e erosão do solo.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP pela ajuda financeira e ao Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Jaboticabal - SAAEJ pela disponibilidade do efluente.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21 edition, Washington, 2005.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; SILVA, E. F. de. F. e; BASTOS, E. A.; MELO, F. de B.; LEAL, C. M. Uso e qualidade da água subterrânea para irrigação no Semi-Árido piauiense. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.4, p.873-880, 2006.
- ANDRIOLI, I.; CENTURION, J. F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 27, Brasília, 1999. Anais... Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 32p. (CD-ROM).
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. Calidad del agua para la agricultura. Roma: FAO, 1976. 174p. (Estudios FAO: Riegos y Drenajes, 29).
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de Irrigação. 8. Ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N.430, de 13 de maio de 2011. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br>>. Acesso em: 07 mar. 2014.
- COELHO, R. D.; MIRANDA, J. H. de; DUARTE, S. N. Infiltração da água no solo: parte I,

infiltrômetro de anéis versus infiltrômetro de aspersores. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.2, p.137-141, 2000.

DALRI, A. B.; CORTEZ, G. E. P.; RIUL, L. G. S.; ARAÚJO, J. A. C.; CRUZ, R. L. Influência da aplicação de vinhaça na capacidade de infiltração de um solo de textura franco arenosa. *Irriga*, v.15, n.4, p.344-352, 2010.

FEIGIN, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. *Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection*. Berlin: Springer-Verlag, 224p., 1991.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA e ESTATÍSTICA. Censo demográfico 2010. Brasília: IBGE, 2010. Disponível em: <www.ibge.org.br>. Acesso em: 23/10/2013.

JOHNSON, D. E.; CHAUDHURI, U. N.; KANEMASU, E. T. Statistical analysis of line-source sprinkler experiments and other nonrandomized experiments using multivariate methods. *Soil Science Society of American Journal*, v.47, n.2, p.309-312, 1983.

JOSÉ, J. V.; REZENDE, R.; MARQUES, P. A. A.; BUTTURI-GOMES, D.; GONÇALVES, A. C. A. Continuidade espacial da taxa de infiltração básica de água em três solos do noroeste do Estado do Paraná. *Revista em Agronegócios e Meio Ambiente*, v.6, n.3, p.517-532, 2013.

NICHELE, J. Utilização de efluentes sanitários tratados para o suprimento de nutrientes à cultura do milho e modificações em propriedades químicas do solo. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 75f. 2009.

OLIVIERA, R. A.; CAMPELO, P. L. G.; MATOS, A. T.; MARTINES, M. A.; CECON, P. R. Influência da aplicação de águas residuárias de suinocultura na capacidade de infiltração de um solo podzólico vermelho-amarelo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.2, p.263-267, 2000.

PEREIRA, B. F. F.; DEON, M. D.; GOMES, T. M.; SCHAAF, M.; NOGUEIRA, S. F.; PAULA, A. M. de; SANTIN, R.; MONTES, C. R.; MELFI, A. J. Irrigação de laranja com efluente de esgoto tratado; Na e K no solo. *Anais... XXXII Congresso Brasileiro de Ciências do Solo*, Uberlândia, MG, 2010.

SILVA, A. G. de B. Efeito da irrigação com efluente de esgoto rico em sódio em propriedades químicas e físico-hídricas de um Argissolo e produtividade de capim Tifton 85 no município de Lins. Dissertação de mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 83p., 2013.

SOUZA, J. A. R. de; MOREIRA, D. A.; MATOS, A. T. de; RODRIGUES, A. S. de L. Effect of irrigation with wastewater from swine in the chemical properties of a latossol. *African Journal of Agricultural Research*, v.8, n.41, p.5166-5173, 2013.

SOUZA, Z. M. de; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.1, p.18-23, 2003.