

Comportamento do Teor de Água num Solo Cultivado com Cana-de-Açúcar Irrigada com Diferentes Lâminas¹

Mírian Paula Medeiros André Pinheiro², Raimundo Leite Cruz³ e Welson Lima Simões⁴

¹Aceito para Publicação no 3º Trimestre de 2015

²Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Departamento de Engenharia Rural, Campus Botucatu. Fazenda Experimental Lageado, Rua José Barbosa de Barros, nº. 1780, CEP: 18610-307, Botucatu – SP. E-mail: medeirosmirian@yahoo.com.br

³Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Departamento de Engenharia Rural, Campus Botucatu. Fazenda Experimental Lageado, Rua José Barbosa de Barros, nº. 1780, CEP: 18610-307, Botucatu – SP. E-mail: cruz@fca.unesp.br

⁴Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA Semiárido. Rodovia BR-428, Km 152, Zona Rural, 23 CEP: 56302-970, Petrolina, PE. E-mail: welson.simoies@embrapa.br

RESUMO: O balanço de água no solo está relacionado com a capacidade de retenção e sua demanda evapotranspirativa. Objetivou-se com esse trabalho mapear a distribuição de água no perfil do solo, analisando a disponibilidade da mesma às plantas, para diferentes lâminas de irrigação aplicadas. Este experimento foi conduzido num talhão da Fazenda São Jorge, pertencente à AGROVALE, em Juazeiro-BA. A variedade de cana-de-açúcar utilizada foi a VAT 90212. O delineamento foi em blocos casualizados, com dez tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram diferenciados pela redução das lâminas nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura, sendo: T1 com irrigação plena (100% da evapotranspiração da cultura (ET_c)) no ciclo; T2, T5 e T8 com uma lâmina de 85% da ET_c, na primeira, segunda e terceira fase do ciclo, respectivamente; T3, T6 e T9 com uma lâmina de 70% da ET_c, na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente; e T4, T7 e T10 com uma lâmina de 55% da ET_c, na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente. O sistema de irrigação foi

gotejamento subsuperficial. O teor de água no solo foi determinado utilizando a sonda de multissensores de capacitância “Delta-T Profile probe PR2/6”, e quatro tubos de acesso de um metro de comprimento instalados por parcela, espaçados 30 cm entre eles. Observou-se que a umidade no solo encontrava-se acima da capacidade de campo a partir de 60 cm de profundidade para todos os tratamentos avaliados, indicando que as lâminas de irrigação aplicadas pela AGROVALE estavam superestimadas havendo, conseqüentemente, percolação do volume hídrico aplicado.

PALAVRAS-CHAVE: Distribuição de água, PR2, *Saccharum* ssp., Semiárido.

**BEHAVIOR OF MOISTURE SOIL CULTIVATED WITH SUGAR-CANE
IRRIGATED WITH DIFFERENT BLADES**

SUMMARY: The water balance in the soil is related to the retention capacity and evapotranspiration. The objective of this work to map the distribution of water in the soil profile, analyzing the availability of the plants, for various water depths applied. This experiment was conducted in a field of St. George Farm, belonging AGROVALE in Juazeiro-BA. The variety of cane sugar used was VAT 90212. The design was a randomized block with ten treatments and three replications. The treatments were differentiated by the reduction of the blades at different stages of development of culture: T1 with full irrigation (100% of crop evapotranspiration (ET_c)) in the cycle; T2, T5 and T8 blade with a 85% etc., in the first, second and third phase of the cycle, respectively; T3, T6 and T9 blade with a 70% etc., in the first, second and third phase, respectively; and T4, T7 and T10 with 55% of the blade etc. in the first, second and third phase, respectively. The irrigation system was subsurface drip. The water content in the soil was determined using the multi-sensor probe capacitance "Delta-T Profile probe PR2/6", and four access tubes of a meter long installed per plot, spaced 30 cm between them. It was observed that the moisture in the soil found above the field capacity from 60 cm depth for all treatments, indicating that irrigation depth applied by AGROVALE were overestimated and there consequently percolation of water volume applied.

KEYWORDS: Availability of water, PR2, *Saccharum* ssp., Semiarid.

INTRODUÇÃO

As principais fontes para disponibilização de água no solo são as chuvas, as ascensões capilares dos lençóis e a irrigação. A quantidade de água no solo é determinada pelo volume adsorvido, e a retenção da mesma é determinada por características como textura, capilaridade e potencial mátrico, que são específicas de cada tipo de solo.

Para estudar o balanço hídrico, é necessário entender a relação entre as formas de entrada, saída e conservação da água no meio (atmosfera, plantas e solo). A água do sistema é movimentada pela precipitação ou irrigação, que abastece o meio; pela evapotranspiração, que é a perda por evaporação do solo e transpiração das plantas para o ambiente; pelo escoamento superficial, que é a perda superficial causada pelo excesso de chuvas ou irrigações numa área; e pelo armazenamento da água, que é a retenção no perfil solo (FENN *et al.*, 1975). Segundo Santos (2008), há duas formas de entender o armazenamento de água no solo, através da medição direta ou indireta da umidade e da estimativa por modelos de balanços hídricos.

O processo de penetração de água no solo ou infiltração é um fator determinante, sendo o responsável por abastecer as camadas superiores e inferiores do solo. Esse preenchimento ocorre, geralmente, de cima para baixo, o que fará com que as camadas mais profundas retenham mais água que as camadas mais superficiais após o processo de evapotranspiração (CARVALHO & SILVA, 2006).

O solo é dividido em camadas, cada uma desempenha um papel no momento de reter e transmitir a água entre as mesmas são nelas também que são realizadas as análises para conhecer o armazenamento daquele solo. De acordo com Carvalho & Silva (2006), há 5 camadas: zona de saturação, zona de transição, zona de transmissão, zona de umedecimento e frente de umedecimento.

- *Zona de saturação*: é a região mais superficial do solo, conseqüentemente, a que possui um maior teor de umidade, saturando mais facilmente, atinge uma profundidade de 1,5cm.
- *Zona de transição*: fica abaixo da zona de saturação, apresenta o teor de umidade inconstante por ter perdas rápidas de água para a zona seguinte, apresenta uma profundidade de 5cm.

- *Zona de transmissão*: é a camada do solo na qual a água é transmitida, sua característica principal é a pequena mudança no teor de umidade em relação ao tempo e ao espaço, portanto, retendo alta umidade.
- *Zona de umedecimento*: por se localizar abaixo da zona de transmissão, essa camada está a uma grande profundidade, e apresenta como característica principal uma alta redução no teor de umidade.
- *Frente de umedecimento*: região do solo que apresenta uma grande variação de umidade, por consequência do alto gradiente hidráulico; é também o perímetro máximo aparente da movimentação da água no solo.

A presença da água no solo tem como característica principal o potencial matricial, relação existente entre as moléculas de água e a matriz do solo. A disponibilidade hídrica para as plantas sofre influência direta desse potencial, já que com os solos mais secos, há um aumento do mesmo e um maior gasto de energia para extrair água da matriz. O potencial matricial está relacionado com a adesão, coesão e tensão superficial da água nos solos, responsáveis pelos efeitos da capilaridade e sua representação é Ψ_m . A expressão dessa interação é mostrada na curva característica de água no solo, que é mutável de acordo com cada tipo de solo.

As medidas da quantidade de água no solo podem ser estudadas pelo conteúdo de água no solo (volume ou massa presente no meio) ou pelo potencial mátrico (força com a qual a água está presa ao solo).

O conteúdo da água no solo em função da massa trabalha com a relação entre a massa da amostra úmida (θ_u) pela massa da amostra seca (θ_s), denominada umidade gravimétrica (θ). Já o conteúdo da água no solo em função do volume trabalha com a relação entre o volume de água na amostra (V_A) pelo volume total do solo (V_T), denominada umidade volumétrica (V).

Na relação planta-solo, a cultura da cana-de-açúcar sofre influência direta do teor de umidade, pois seu rendimento oscila de acordo com a quantidade de água disponível para a mesma (INMAN-BAMBER & SMITH, 2005).

Objetivou-se com esse trabalho mapear a distribuição de umidade no perfil do solo, analisando-se a disponibilidade da mesma à planta, para diferentes lâminas de irrigação aplicadas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido num talhão experimental de cana-de-açúcar da Fazenda São Jorge, pertencente à Agroindústria do Vale do São Francisco (AGROVALE), que possui aproximadamente 18 mil hectares de áreas cultivadas, localizados no município de Juazeiro – BA. O clima da região, segundo a classificação climática de Köppen é do tipo BSW_h, tropical Semiárido conforme descrito por Reddy & Amorim Neto (1983). A precipitação apresenta uma média anual em torno de 500 mm, irregularmente distribuído e se concentra nos meses de novembro a abril. A umidade relativa do ar média anual é de 66% e a temperatura do ar média anual é de 26,5°C, apresentando os maiores picos entre outubro e dezembro, sendo julho é o mês com temperaturas mais amenas.

Os principais padrões de retenção de água no solo da área foi realizados por um laboratório de física do solo contratado pela empresa AGROVALE, cujas capacidades de campo (CC) foram de 0,3412 e 0,2799% para as profundidades de 0-20 cm e 20-40cm do perfil do solo.

O experimento foi instalado em julho de 2012 e colhido em junho de 2013, totalizando 44 semanas, em que a duração das fases do ciclo da cultura está demonstrada na Tabela 1.

Tabela 1 - Descrição da duração das fases fenológicas da cana-de-açúcar, Juazeiro - BA

FASES	PERÍODO
I. Brotação e estabelecimento, com perfilhamento	16 semanas
II. Máximo crescimento de colmos	24 semanas
III. Maturação dos colmos	4 semanas

A variedade de cana-de-açúcar utilizada no experimento foi a VAT 90212, escolhida por ser a mais cultivada na região, plantada em colmos inteiros deitados na linha de cultivo, numa densidade de plantio de 12 gemas por metro linear, em fileiras duplas, no espaçamento de 0,70 x 1,30 m. Inicialmente, a irrigação aplicada após o plantio foi para atingir a capacidade de campo em toda a área até que as plantas estivessem com 20 cm de altura, quando se iniciaram os tratamentos. A colheita foi feita de forma manual, tendo o cuidado de empilhar e etiquetar cada tratamento em seu respectivo bloco. O experimento foi conduzido no ciclo

cana planta, na safra 2012/2013. Os tratos culturais e as aplicações de defensivos agrícolas obedeceram às necessidades da cultura, considerando o manejo integrado de pragas e doenças. A adubação de fundação foi determinada com base nas análises de fertilidade do solo da área, e as adubações de cobertura foram efetuadas via fertirrigação, com frequência de três vezes por semana, seguindo o cronograma da empresa.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com 10 tratamentos e 3 repetições, totalizando 30 parcelas, conforme exibido na Figura 1. As parcelas experimentais foram compostas por 5 fileiras duplas de cana-de-açúcar, com 10 m de largura por 12 m de comprimento. A área útil de cada parcela foi de 6 m de largura e 8 m de comprimento, totalizando 48m² (3 fileiras duplas centrais).

Os tratamentos foram diferenciados com a redução das lâminas de irrigação aplicadas pela empresa, nas fases de desenvolvimento da cultura (Tabela 1), sendo: T1 a testemunha, com irrigação plena (100% da evapotranspiração da cultura (ET_c)) em todo o ciclo; T2, T5 e T8 com uma lâmina de 85% da ET_c, apenas na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente; T3, T6 e T9 com uma lâmina de 70% da ET_c, apenas na primeira, segunda e terceira fase, respectivamente; e T4, T7 e T10 com uma lâmina de 55% da ET_c, apenas na primeira, segunda e terceira fase da cultura, respectivamente; e 100% da ET_c nas demais fases.

O sistema de irrigação utilizado foi gotejamento subsuperficial, com emissores autocompensantes tipo labirinto embutido na tubulação, com vazão média de 1,6 L h⁻¹, espaçados 0,5 m entre si. As linhas laterais foram instaladas em fileiras duplas, com os emissores colocados para cima, e enterradas a uma profundidade de 20 cm. Para evitar intrusão radicular nos gotejadores foi aplicado 1 L ha⁻¹ de Trifuralina, uma única vez, um mês antes do plantio. As lâminas de irrigações foram controladas automaticamente pelo quadro de comando de válvulas NMC-Pro, da Netafim, que era acoplado a válvulas hidráulicas com solenóides, que possibilitavam liberar a quantidade exata de água aplicada para cada tratamento.

O teor de água no solo foi determinado utilizando a sonda de multissensores de capacitância “Delta-T Profile probe PR2/6”, com quatro tubos de acesso de um metro de profundidade instalados por parcela experimental. O primeiro tubo se localizava entre a fileira dupla de cana e junto à linha de gotejo, sendo os demais espaçados de 30 cm entre si, distanciando-se da linha de gotejo, para um dos lados, com o intuito de avaliar a distribuição

de água no perfil do solo. Considerando-se que as irrigações terminavam próximo ao meio dia e que o solo era argiloso, o que exige um bom período para total distribuição de água no solo, optou-se por fazer as leituras de umidade (dos 48 tubos de acesso) no perfil do solo no horário entre 16:30 e 18:00 horas, com a justificativa de avaliar o solo ao final da evapotranspiração do dia. As leituras foram realizadas semanalmente durante o ciclo da cultura. Para comparação entre os tratamentos realizou-se a média das leituras por fase da cultura, onde, pelo método de interpolação da krigagem ordinária, realizada por meio do programa SURFER, geraram-se os gráficos de distribuição de água no perfil solo para cada tratamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - Fase I

Na Figura 1 nota-se que houve uma diferente distribuição de água no solo, de acordo com cada lâmina aplicada. Os pontos vermelhos e a traços verdes apresentam as posições dos gotejadores e das plantas, respectivamente, em campo. As zonas mais claras próximas à superfície, onde se encontram a maior parte dos sistemas radiculares da cultura, referem-se principalmente ao processo de extração da água do solo, que pode está associado à evapotranspiração, que ocorreram de forma diferenciada entre os tratamentos, conforme observado na Figura 1a, para as profundidades entre 20 e 40 cm, conforme descrito por (INFORGATO & ALVAREZ, 1957) enquanto há uma maior saturação do meio a aproximadamente um metro de profundidade. Na Figura 1b percebe-se que as maiores umidades do perfil do solo estão distantes da planta (próximo e distante aos gotejadores), no entanto, essa umidade começa a diminuir com a profundidade do solo, justificado pelos baixos índices de infiltração da água (BRAGAGNOLO & MIELNICZUK, 1990). As Figuras 1c e 1d apresentam comportamentos similares entre si, com os menores valores de umidade próximos aos gotejadores. Observa-se que para o tratamento com a lâmina de 70% da ETc, nas profundidades abaixo de 45 cm, a umidade do solo é superior a do solo que recebeu a lâmina de 55% da ETc, conforme esperado.

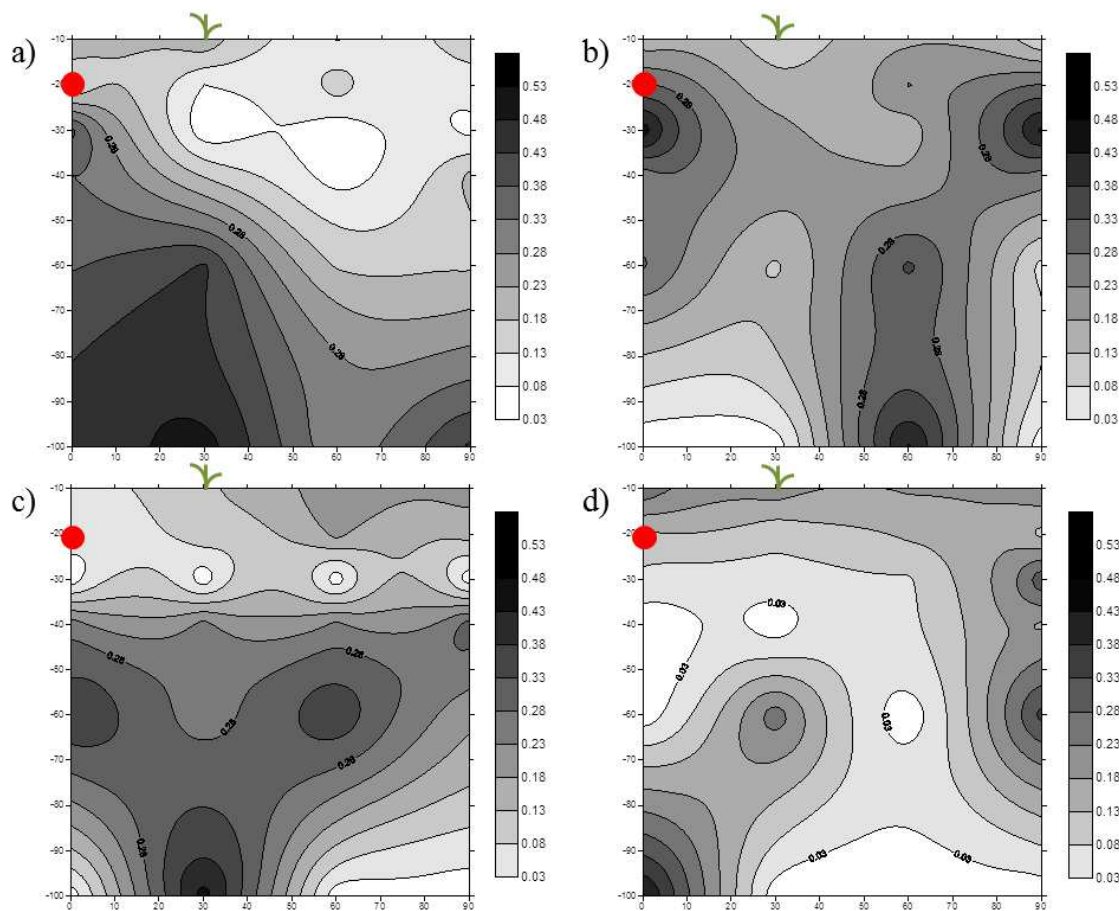


Figura 1 - Distribuição do teor de água (em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) no perfil do solo referente à Fase I para os tratamentos: a – 100% da ETc, b – 85% da ETc, c – 70% da ETc, d – 55% da ETc e ● é o local da linha de gotejadores.

3.2 - Fase II

Observa-se na Figura 2 que, para todos os tratamentos, nesta fase, a região do perfil do solo com menor umidade, proveniente da maior extração pela cultura, também está na posição equivalente à distribuição do sistema radicular da planta, entre 20 e 40 cm de profundidade, conforme descrito por Inforgato & Alvarez (1957). A maior extração nesta fase demonstra que a cultura está em processo de crescimento, sendo esta a de maior consumo hídrico, segundo Barbieri (1993).

Nas Figuras 2a e 2b notam-se informações semelhantes, pois, em ambos os casos, a umidade do solo aumenta significativamente a partir de 50 cm de profundidade, sendo tal comportamento justificado por essas serem as maiores lâminas. Nas Figuras 2c e 2d, que

representam os tratamentos com as menores lâminas, observa-se um comportamento parecido com os anteriores, entretanto, o pequeno aumento da umidade com a profundidade não ocorre tão uniforme como as demais.

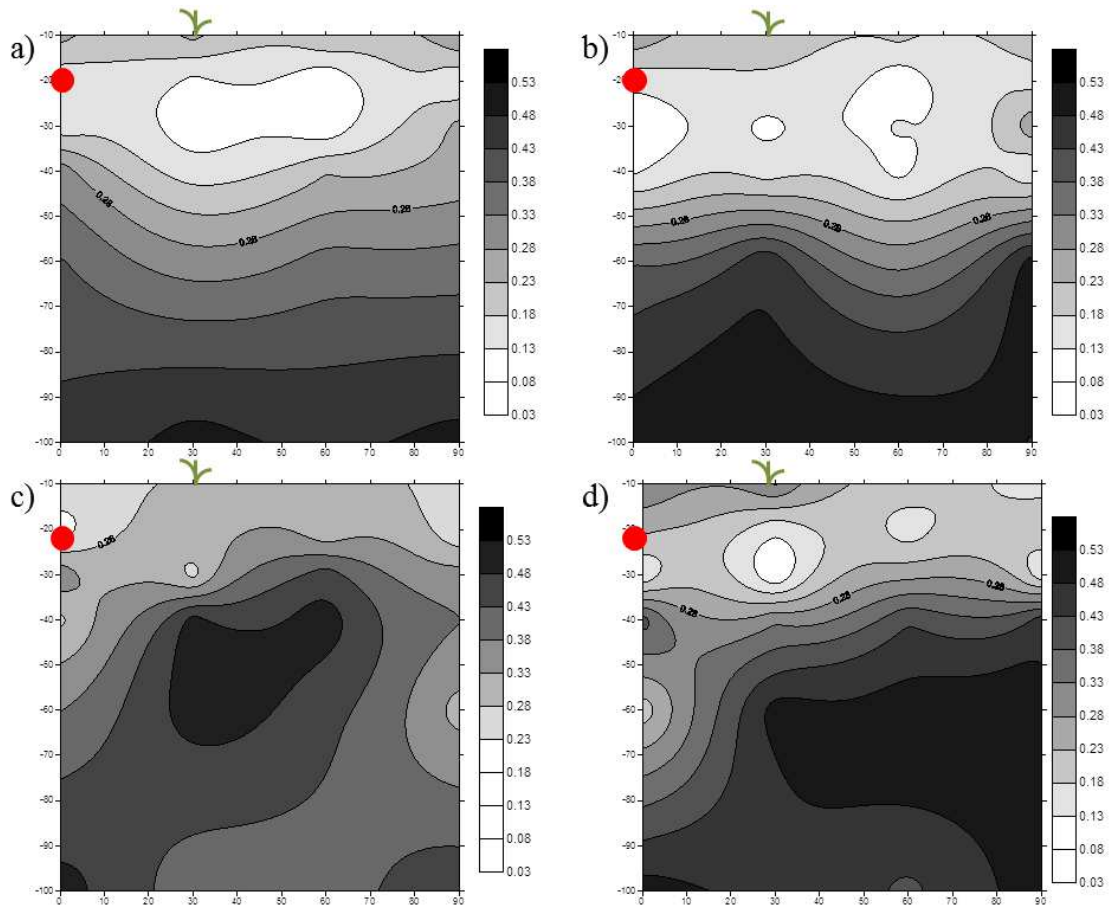


Figura 2 - Distribuição do teor de água (em $m^3 m^{-3}$) no perfil do solo referente à Fase II para os tratamentos: **a** – 100% da ETc, **b** – 85% da ETc, **c** – 70% da ETc, **d** – 55% da ETc e ● é o local da linha de gotejadores.

3.3 - Fase III

É possível observar na Figura 3 que, para todos os tratamentos a umidade no perfil inferior do solo é bastante elevada. Tal comportamento da umidade é justificado pelo grande volume de água depositado em excesso no solo, ao longo do ciclo, e pelo tipo de textura do mesmo, que tem uma elevada capacidade de retenção da mesma.

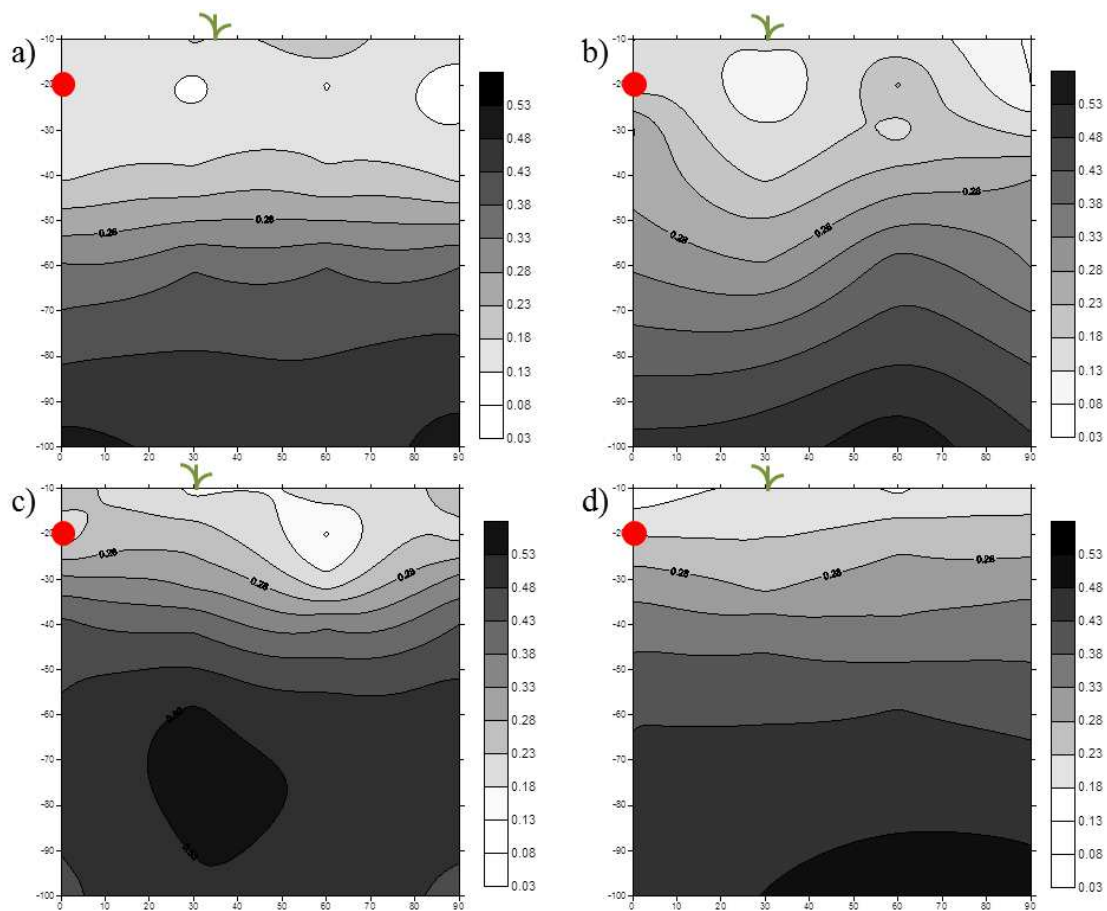


Figura 3 - Distribuição do teor de água (em $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) no perfil do solo referente à Fase III para os tratamentos: a – 100% da ET_c , b – 85% da ET_c , c – 70% da ET_c , d – 55% da ET_c e ● é o local da linha de gotejadores.

As zonas mais extensas de extração de água observada nas Fases II e III, fases de crescimento de colmos e maturação, respectivamente, comprovam que as plantas estavam apresentando sistemas radiculares mais bem desenvolvidos no perfil do solo e com elevadas taxas de evapotranspiração.

Assim, a capacidade de infiltração do solo é resultados das condições físicas do solo, tais como ausência de camadas compactadas, porosidade e estrutura (BAUMER & BAKERMANS, 1973), assim os resultados encontrados podem ter sofrido modificações, em função do manejo antes e durante o experimento.

O excesso de água observada no perfil do solo nas fases de desenvolvimento da cultura (Tabela 2) pode ser justificado pelo uso de coeficientes de cultura (K_c) superestimados. Este fato pode ser observado ao comparar-se os valores sugeridos por Soares

et al. (2003), para os Kc's relativos à cana-de-açúcar na FAO 56, com os utilizados pela empresa, que são superiores (Tabela 3).

Tabela 2 - Teores de água (em $m^3 m^{-3}$) no perfil do solo ao longo do ciclo

Profundidade (cm)	FASE I				FASE II				FASE III			
	Tratamentos											
	55%	70%	85%	100%	55%	70%	85%	100%	55%	70%	85%	100%
0-20	0,11	0,19	0,16	0,14	0,22	0,24	0,12	0,17	0,21	0,21	0,16	0,16
20-40	0,16	0,06	0,17	0,13	0,30	0,35	0,12	0,19	0,34	0,37	0,25	0,17
40-60	0,19	0,04	0,14	0,18	0,40	0,50	0,33	0,30	0,40	0,53	0,32	0,28
60-80	0,22	0,04	0,08	0,20	0,46	0,63	0,52	0,37	0,44	0,64	0,37	0,37
80-100	0,00	0,15	0,07	0,24	0,58	0,65	0,50	0,43	0,45	0,62	0,78	0,52

Tabela 3 - Coeficientes da cultura (Kc) sugeridos pela FAO56 e utilizados pela empresa AGROVALE para cana-de-açúcar

Idade (mês)	Kc FAO 56	Kc AGROVALE
	Cana planta	Cana planta
00 a 01	0,4	0,45
01 a 02	0,4	0,65
02 a 03	0,75	0,8
03 a 04	1,1	1
04 a 05	1,1	1,1
05 a 06	1,1	1,15
06 a 09	1,25	1,15
09 a 10	1,25	1,1
10 a 11	1,25	1
11 a 12	1,25	0,9
12 a 13	0,9	0,9
>13	0,7	0,7

Numa análise geral da distribuição de água no perfil do solo durante o ciclo da cultura, observa-se que na Fase I, houve uma menor uniformidade de água ao longo do perfil do solo, apresentando pontos uma maior umidade. Na Fase II, a umidade está bem mais distribuída no solo, e os tratamentos com maiores lâminas já exibem uma maior concentração hídrica aos 50 cm de profundidade. Na Fase III, há quase uma uniformidade na distribuição de água no perfil do solo.

CONCLUSÃO

O teor de água no perfil do solo da área experimental encontrava-se acima da capacidade de campo a partir de 60 cm de profundidade para todos os tratamentos avaliados, indicando que as lâminas de irrigação aplicadas pela empresa AGROVALE estavam superestimadas havendo, conseqüentemente, percolação do volume de água aplicada.

REFERÊNCIAS

BARBIERI, V. **Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): um modelo matemático-fisiológico de estimativa**. 1993. 142p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP, Piracicaba, 1993.

BAUMER, K.; BAKERMANS, W.A.P. Zero tillage. **Advances in Agronomy**, New York, v.25, p.77-125, 1973.

BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p.369-374, 1990.

CARVALHO, D.F. de; SILVA, L.D.B. da. **Infiltração**. 2006. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap5-INF.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2014.

FENN, D.G., HANLEY, K.I.; DEGEARE, T.V. Use of the water balance method for predicting leachate generation at solid waste disposal sites. **U.S. Environmental Protection Agency**, EPA 530/SW-168, Cincinnati, OH, p. 1–10. 1975.

INFORGATO, R.; ALVAREZ, R. Distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar var. Co. 209, em solo tipo terra-roxa-legítima. **Bragantia**: Boletim Técnico do Instituto Agrônômico do Estado de São Paulo, Campinas, v 16. n. 1, p. 1-13, 1957.

INMAN-BAMBER, N.G.; SMITH, D.M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, n. 2-3, p. 185-202, 2005.

REDDY, S.J.; AMORIM NETO, M.S. Dados de precipitação, evapotranspiração potencial, radiação solar global de alguns locais e classificação climática do Nordeste do Brasil. **Petrolina: EMBRAPA/CPATSA**, 1983. 280p.

SANTOS, A.R. **Capítulo 10: Balanço hídrico segundo Thornthwaite e Mather, 1955**. Departamento de Geografia/Climatologia, 2008. (Universidade Federal do Espírito Santo). Disponível em: <http://www.mundogeomatica.com.br/CL/ApostilaTeoricaCL/Capitulo10-BalancoHidrico.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2014.

SOARES, J.M.; VIEIRA, V.J.S.; JUNIOR, W.F.G.; FILHO, A.A.A. AGROVALE: Uma experiência de 25 anos em Irrigação da Cana-de-açúcar na região do Submédio São Francisco. **Revista ITEM**, Juazeiro, n. 60, p.55- 62, 2003.