

DESENVOLVIMENTO DE EMISSORES ALTERNATIVOS PARA IRRIGAÇÃO SUBSUPERFICIAL DE BAIXA PRESSÃO

Marcos Antonio Mosca; Roberto Testezlaf; Eder Pereira Gomes

*Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP,
marcos.mosca@agr.unicamp.br*

1 RESUMO

A busca pela minimização da quantidade de água aplicada na agricultura pela irrigação, vem intensificando pesquisas que visam aumentar o acesso de tecnologias de irrigação mais eficientes aos agricultores, e, conseqüentemente, incentivando o uso de métodos de aplicação localizada. Com o objetivo de contribuir com informações que levem ao desenvolvimento de um sistema alternativo de irrigação por gotejamento subsuperficial avaliaram-se dois tipos de emissores desenvolvidos para operar pela ação de baixas pressões de serviço e complementarmente pelas forças matriciais do solo. Os modelos de emissores foram ensaiados em laboratório para determinação da curva característica e do perfil de redistribuição de água no solo. Os ensaios foram realizados com os emissores enterrados a 15 cm (1º modelo) e 14 cm (2º modelo) de profundidade e submetidos às pressões de 10 e 30 kPa. O regime de escoamento apresentado por ambos os modelos foi laminar, sendo que os bulbos molhados apresentaram expansões horizontais maior que as verticais, demonstrando a participação significativa das forças matriciais no processo de redistribuição de água no solo. Os emissores desenvolvidos para trabalhar subsuperficialmente e a baixa pressão demonstraram ter potencial para se tornar uma solução alternativa e com economia de água, necessitando, porém, de maiores avaliações em campo, para se tornar uma real possibilidade ao agricultor.

UNITERMOS: Irrigação localizada, redistribuição de água, fluxo insaturado.

MOSCA, M. A.; TESTEZLAF, R.; GOMES, E. P. DEVELOPMENT OF ALTERNATIVE EMITTERS FOR LOW PRESSURE SUBSURFACE IRRIGATION

2 ABSTRACT

Due to the need of minimizing irrigation water use, there has been an increase in research aiming to facilitate the producer's access to efficient irrigation technologies, and therefore, stimulating the use of localized application methods. In order to contributing with information which would help develop alternative subsurface drip irrigation system, two types of emitters were developed to work under low operating pressure and also under potential soil matrix forces around the emitter. The emitters were evaluated in laboratory conditions to determine its hydraulic characteristic equations and the soil water redistribution. The emitters were buried at the depths of 15 cm (1st model) and 14 cm (2nd model) and submitted to operating pressures of 10 and 30 kPa. Both emitters had a laminar flow, and create wet bulbs, which presented horizontal expansion bigger than the vertical one. The results demonstrated that soil matrix forces participated significantly in the water redistribution process. The emitters that

were developed to operate sub superficially at low pressure may become an alternate solution with water economy; however, further field evaluations still have to be carried out.

KEYWORDS: Localized irrigation, soil water redistribution, unsaturated flow.

3 INTRODUÇÃO

A importância da minimização da quantidade de água aplicada na agricultura pela irrigação, intensificou o uso de métodos de aplicação localizada. O fato de molhar apenas, e diretamente, a região da zona radicular das plantas, buscando suprir as suas necessidades hídricas com máxima eficiência, tornaram os sistemas de irrigação localizada soluções viáveis tecnicamente para regiões com baixa disponibilidade de água, reduzindo a demanda das fontes, mas exigindo alto investimento em capital (TELLES, 1985).

O sistema de irrigação localizada por gotejamento subsuperficial (IGS) - aplicação da água diretamente na raiz da planta com pequenos volumes aplicados a alta frequência e com auxílio das forças capilares (TESTEZLAF, 2002) -, representa significativa evolução no processo da aplicação de água às culturas. Esse método é uma resposta para a necessidade de se procurar novos sistemas de irrigação que sejam mais eficientes, que reduzam o consumo dos recursos hídricos, assim como, seu custo de instalação e, sobretudo, que minimizem os problemas de escassez de água.

PHENE et al. (1987) comparando o sistema de gotejamento superficial com o subsuperficial, apresentaram cinco vantagens para o IGS: i) aumento da vida útil do sistema junto com uma menor mão de obra anualmente empregada; ii) como a superfície do solo fica geralmente seca, ocorre a redução de doenças bem como no controle da infestação de ervas-daninhas; iii) com o solo seco entre as linhas de cultivo, aumenta a traficabilidade e reduz a compactação do solo; iv) água e nutrientes são usados com mais eficiência; e v) há uma significativa melhora nos rendimentos, bem como em algumas qualidades na produção.

CAMP (1998) relata que no Estado do Arizona (EUA), o sistema de gotejamento subsuperficial produziu 350% a mais na produção de repolhos em relação ao sistema por sulcos e 35% a mais na produção de abobrinha quando comparado aos sistemas de sulcos e gotejamento superficial.

Com o intuito de contribuir com informações que levem ao aumento da eficiência do uso da água de irrigação, esta pesquisa teve a finalidade de desenvolver dois diferentes emissores subsuperficiais, instalados em tubos de polietileno (PE), e que tivesse a aplicação de água determinada complementarmente pelas forças matriciais do solo, criadas pela demanda contínua da evapotranspiração de uma dada cultura. Consistiu como objetivos do trabalho: avaliar uma configuração desse sistema com materiais alternativos e analisar o seu desempenho sob a condição de baixa pressão, mediante a determinação do padrão de distribuição de água no solo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Hidráulica e Irrigação da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

Modelos de emissores

Foram desenvolvidos dois emissores, cujos projetos foram fundamentados nos princípios de condução de fluídos apresentados por SILVA (2004). Basearam-se no desenvolvimento de um sistema regido a baixa pressão, no qual a lâmina aplicada fosse determinada complementarmente pelas forças matriciais do solo. O sistema utiliza o princípio que o fluxo de água ocorre entre uma zona de maior potencial para outra de menor potencial, permitindo estabelecer um fluxo insaturado entre o interior da tubulação (saturado) e o solo ao redor do emissor (insaturado). Dessa forma, o projeto procurou possibilitar a formação de um meio poroso capilar que viabilizasse um maior contato da água dentro do tubo com o solo fora dele.

O 1º modelo de emissor é constituído de um conjunto de dois furos, separados entre si por uma distância de, aproximadamente, 17 mm, os quais foram transpassados por duas pontas de uma corda de nylon que, posteriormente, foi enrolada externamente entre os furos (Figura 1).



Figura 1. Desenho esquemático completo (a) e foto (b) do 1º modelo de emissor desenvolvido.

A construção do 1º modelo tem início com a perfuração do primeiro furo na tubulação de PE com ajuda de um vazador, onde é introduzida uma ponta da corda de nylon, cuja função é fazer a ligação da água do interior da tubulação com o meio externo (solo), em seguida, a corda é enrolada – sem apresentar folgas – sobre o diâmetro externo da tubulação até completar três voltas e, por fim, faz-se o último furo – na mesma linha do primeiro – introduzindo a outra ponta da corda, da mesma forma como foi realizado com a primeira ponta. Ressalta-se ainda que, todo processo de construção é realizado manualmente.

O 2º modelo de emissor é constituído de oito furos, ou seja, cada pedaço da corda de nylon (200 mm aproximadamente) forma um conjunto de dois furos, separados por uma distancia de 10 mm, onde foram transpassados pelas duas pontas da corda, formando a letra “U”. O emissor possui dois conjuntos de cada lado (vista de cima), possuindo um formato de “asa de libélula” (Figura 2).

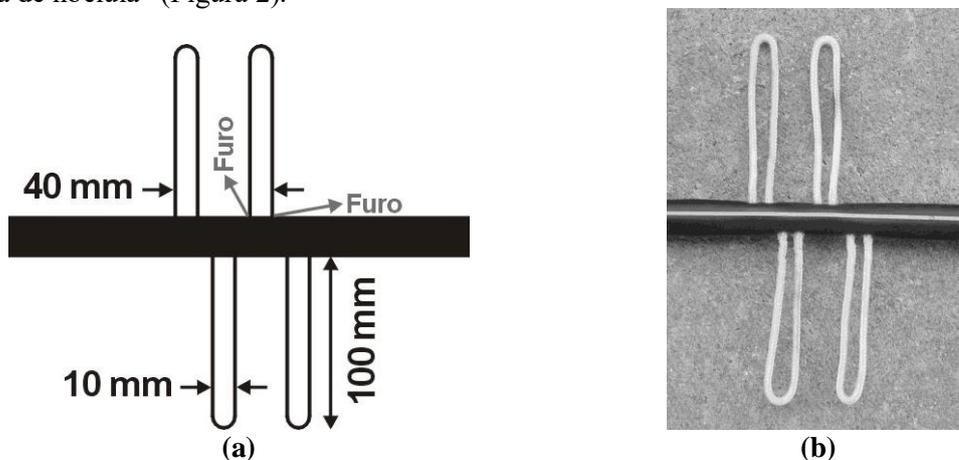


Figura 2. Desenho esquemático completo (a) e foto (b) do 2º modelo de emissor desenvolvido.

A construção do 2º modelo segue um procedimento similar ao realizado no 1º modelo, entretanto todas as perfurações podem ser realizadas no início da construção, pois as medidas entre os furos são conhecidas. Assim, o primeiro conjunto é feito com a introdução das duas pontas da corda de nylon uma em cada furo, assegurando-se que o comprimento da corda possua pouca mais que 210 mm; repetindo esse procedimento mais 3 vezes, visto que o 2º modelo possui 4 conjuntos. O processo de construção para o 2º modelo também é realizado manualmente.

Determinação da curva característica dos emissores

Para a determinação da curva característica dos modelos de emissores desenvolvidos, foi construído um módulo de ensaio para a determinação da vazão do emissor a diferentes pressões. A construção do módulo seguiu o esquema apresentado na Figura 3.

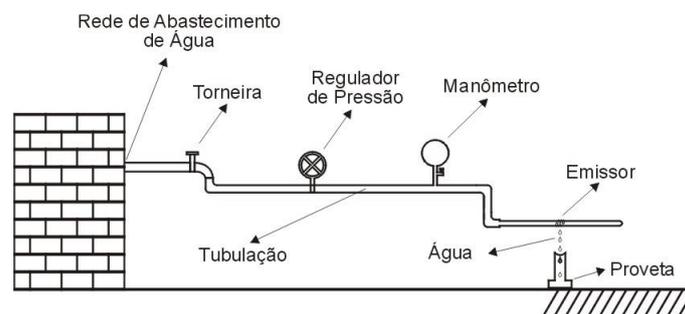


Figura 3. Esquema do módulo de ensaio para a determinação da curva característica.

Nesse módulo utilizou-se um tubo de PCV ligado diretamente a uma torneira (rede de abastecimento de água do próprio Laboratório) com um regulador de pressão, EICA, de 0 a 15 m.c.a, tipo VAR-B, seguido de um manômetro, KÖNNEN, de 0 a 10000 mm.c.a. com precisão de 100 mm, para aferir a pressão exata, ligados ao tubo de PE com o modelo de emissor.

A partir de pressões pré-definidas foram medidos os respectivos volumes. Para o 1º modelo de emissor obteve-se os volumes para as pressões de 10 a 60 kPa, durante o tempo de 3 minutos, com incrementos de 10 kPa, e 3 repetições a cada pressão. Posteriormente, com o valor do volume e do tempo calculou-se a vazão para a pressão correspondente; e, utilizando os valores da pressão e da vazão, bem como o auxílio de planilha eletrônica, pôde-se fazer o ajuste da curva característica do 1º modelo de emissor, baseada na equação proposta por KELLER (1990). Para o 2º modelo de emissor seguiu-se o mesmo procedimento, entretanto os volumes foram medidos para as pressões de 10 a 70 kPa, contemplando um ponto a mais na curva, com o intuito de ampliar o intervalo de pressão da curva.

Determinação do perfil de redistribuição de água no solo

Na determinação da redistribuição de água, utilizou-se um recipiente de plástico com diâmetro de 590 mm e altura de 800 mm preenchido com solo (Latosolo Roxo Distroférrico, textura argilosa), extraído da camada de 0-20 cm do Campo Experimental da FEAGRI. O volume de solo utilizado foi, anteriormente, colocado para secar sobre uma área coberta com passagem de ar lateral por um período de 5 dias, peneirado em malha de 2 mm.

No fundo do recipiente foi construída uma camada drenante para que não houvesse acúmulo de água e, assim, não afetar o processo de redistribuição no seu interior. Essa camada foi construída com brita nº 1, sobre a qual foi colocada manta filtrante circular, de forma a deixar passar apenas a água. O solo foi acondicionado e compactado sobre esse dreno em camadas de 10 cm, procurando-se obter o valor de densidade próximo ao existente no Campo Experimental ($1,2 \text{ g/cm}^3$).

Os modelos de emissores foram ensaiados uma única vez para as pressões de 10 e 30 kPa, e a aplicação de água foi constante durante todo o experimento. A aplicação de água para o

1º modelo de emissor foi de 35 dias, para 10 kPa, e 21 dias, para 30kPa, ininterruptamente; ao passo que, para o 2º modelo de emissor, o período de aplicação de água foi de 23 e 22 dias, para 10 e 30 kPa, respectivamente, sem interrupções.

A umidade do solo foi determinada pelo princípio da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR), utilizando-se um equipamento Marca: TRASE SYSTEM, Modelo 6050X1. As sondas foram dispostas a cada 10 cm de profundidade (vertical) e espaçadas de 10 cm (horizontal), contendo quatro sondas em uma linha horizontal; caracterizando um total de 20 sondas ao longo do recipiente (Figura 4). O 1º modelo emissor foi enterrado a uma profundidade de 15 cm, ao passo que o 2º modelo foi disposto a uma profundidade de 14 cm da superfície do solo, justamente para não ter seus cordões (nylon) próximos das sondas localizadas na 2ª camada (Figuras 5).

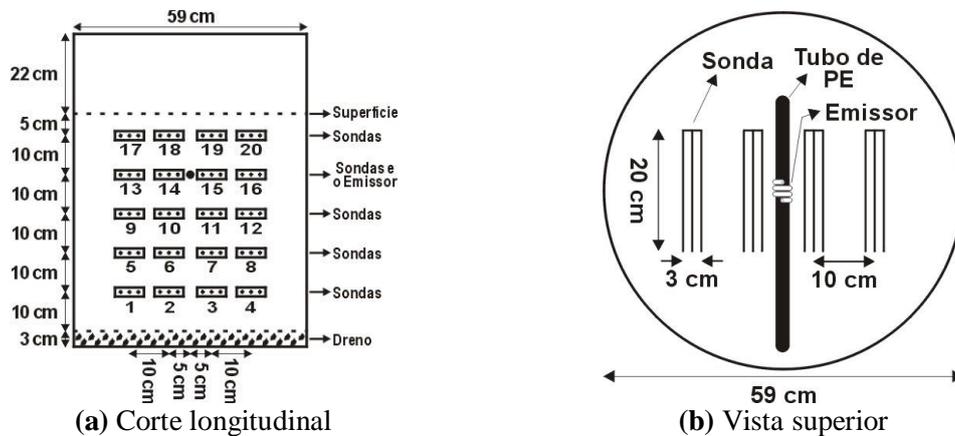


Figura 4. Desenho esquemático do posicionamento das sondas no recipiente para o ensaio do 1º modelo de emissor.

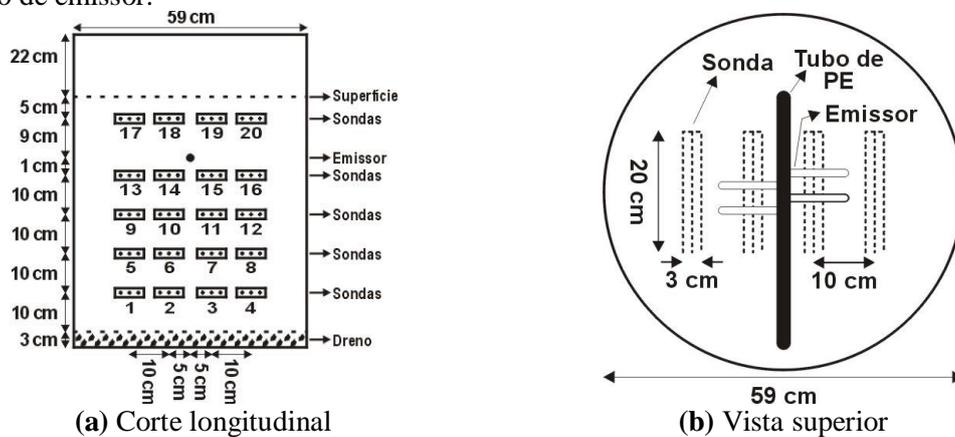


Figura 5 Desenho esquemático do posicionamento das sondas no recipiente para o ensaio do 2º modelo de emissor.

As leituras das sondas foram realizadas automaticamente pelo multiplexador do equipamento TDR. O equipamento TDR calculava os valores da constante dielétrica do solo (K_a) para cada sonda e, a partir da equação de calibração desenvolvida por TOPP et al (1980), estimava-se os valores correspondentes da umidade, em base volumétrica.

Para se ter valores constantes de pressão durante os ensaios (10 e 30 kPa) utilizou-se um Tubo de Mariotte ligado a um reservatório e instalado em alturas correspondentes às pressões desejadas.

Para analisar o comportamento dos emissores na condição subsuperficial realizou-se um balanço de massa a partir dos dados iniciais e finais de umidade no recipiente. No cálculo do balanço de massa, para os ensaios, definiu-se como volume de controle, para cada camada de sondas, o volume dado por um cilindro de $r = 20$ cm e $h = 10$ cm, totalizando $12566,37$ cm³.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Curvas características dos emissores

As Figuras 6 e 7 mostram as curvas características do 1º e 2º modelo de emissor, respectivamente, as quais permitem descrever o comportamento da vazão com a variação da pressão.

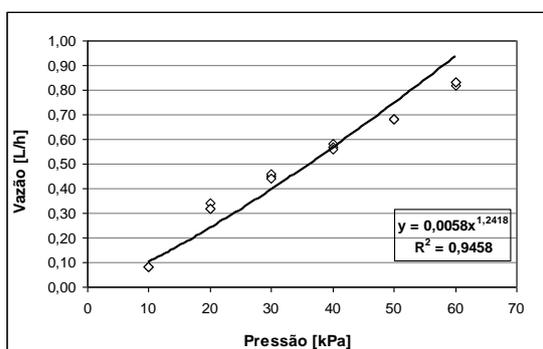


Figura 6. Curva característica do 1º modelo.

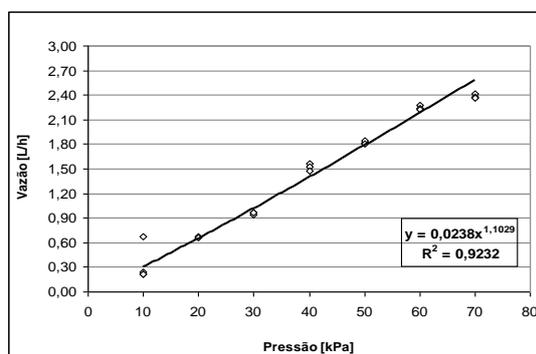


Figura 7. Curva característica do 2º modelo.

A curva do 1º modelo de emissor (Figura 6) apresenta coeficiente de descarga igual a 0,0058 e expoente do emissor igual a 1,2418, enquanto que, na Figura 7 (2º modelo), a curva apresenta coeficiente de descarga igual a 0,0238 e expoente do emissor igual a 1,1029. De acordo com Keller (1990), o expoente com valor próximo da unidade determina que o regime de escoamento do emissor tenha comportamento laminar. Comparativamente ao 1º modelo de emissor, o 2º modelo apresenta maior valor de vazão para o mesmo valor de pressão, o que pode ser explicado pelo fato do 2º modelo apresentar uma quantidade maior de furos. Por exemplo, para pressão de 30 kPa, a vazão do 1º modelo de emissor é aproximadamente $0,40$ L.h⁻¹ contra o valor de $1,01$ L.h⁻¹ para do 2º modelo, que apresenta, portanto, uma vazão 150% maior. Se a pressão analisada fosse 10 kPa, a vazão seria aproximadamente 200% maior para esse modelo.

Perfil de redistribuição de água no solo

Ensaio do 1º modelo de emissor a 10 kPa

Para o 1º modelo de emissor, submetido à pressão de 10 kPa, foi extraída a primeira leitura antes de se iniciar o ensaio (Figura 8). Posteriormente, as leituras foram extraídas a cada 24 horas, tendo início no dia 10/11/2003 (Figuras 9 a 11).

Durante os 18 dias de aplicação constante de água, a umidade próxima ao emissor se elevou de um valor aproximado de 1% no 1º dia (Figura 8), para 18% no 2º dia (Figura 9), 12% no 9º dia (Figura 10) e terminou com 9% no 18º dia de experimento (Figura 11), imprimindo ao bulbo um formato de uma elipse orientada horizontalmente, localizado entre 10 e 20 cm, pois o solo argiloso utilizado possui características, onde prevalece uma intensidade maior do potencial matricial em relação ao potencial gravitacional (REICHARDT, 1990). Notou-se também que, a umidade próxima ao emissor teve um decréscimo a partir do 2º dia do experimento, o que não deveria ter ocorrido porque em nenhum momento faltou água no reservatório que alimentava o emissor.

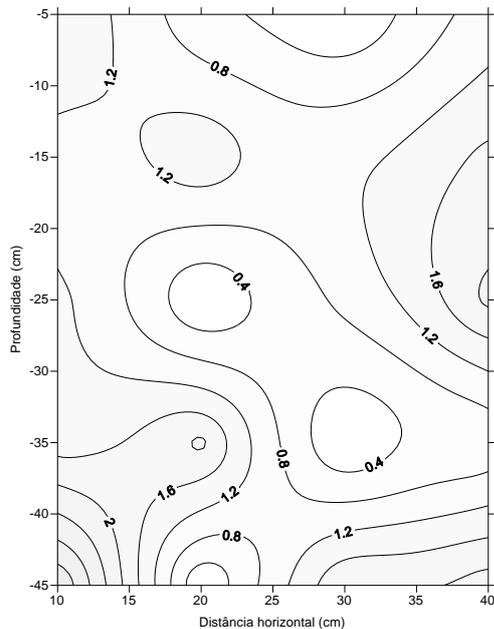


Figura 8. Perfil de umidade, em base volumétrica, do recipiente no 1º dia (10/11/2003) às 17:00h –início.

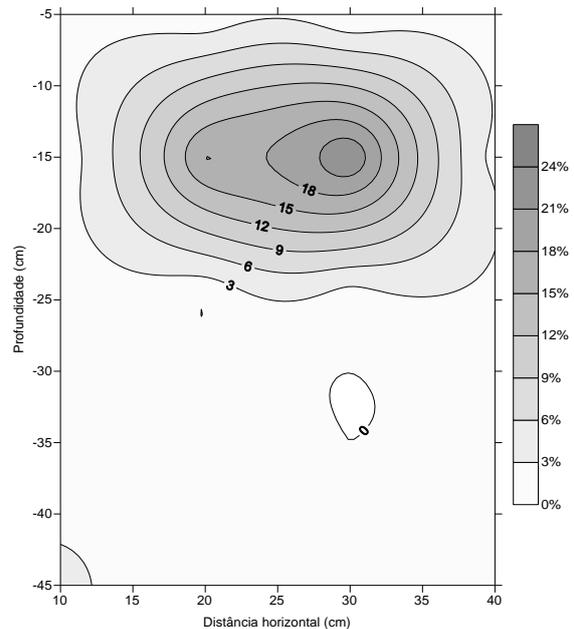


Figura 9. Perfil de umidade, em base volumétrica, do recipiente no 2º dia (11/11/2003).

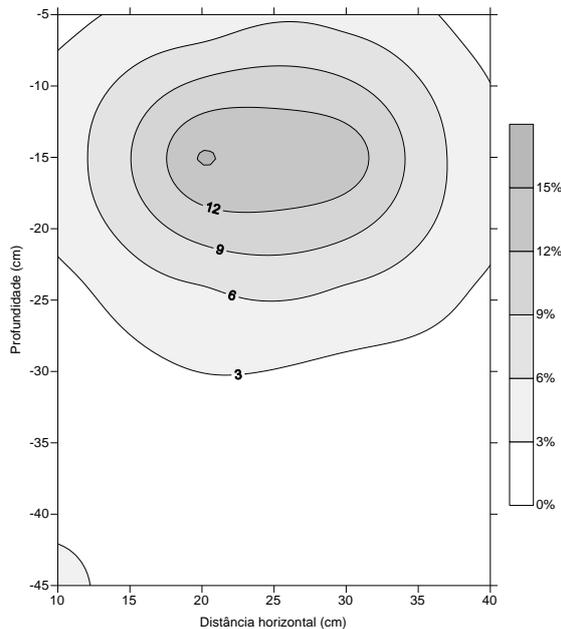


Figura 10. Perfil de umidade, em base volumétrica, do recipiente no 9º dia (18/11/2003).

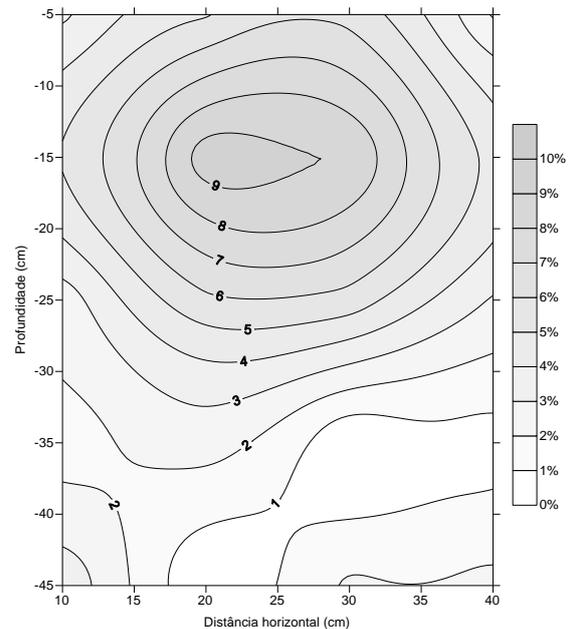


Figura 11. Perfil de umidade, em base volumétrica, do recipiente no 18º dia (27/11/2003) – último dia.

Um vazamento observado no reservatório, no dia 27/11/2003, ocasionou a perda da quantidade de água introduzida no módulo até aquele momento. No dia 02/12/2003 foi reiniciado o experimento, que teve seu término na data de 05/01/2004.

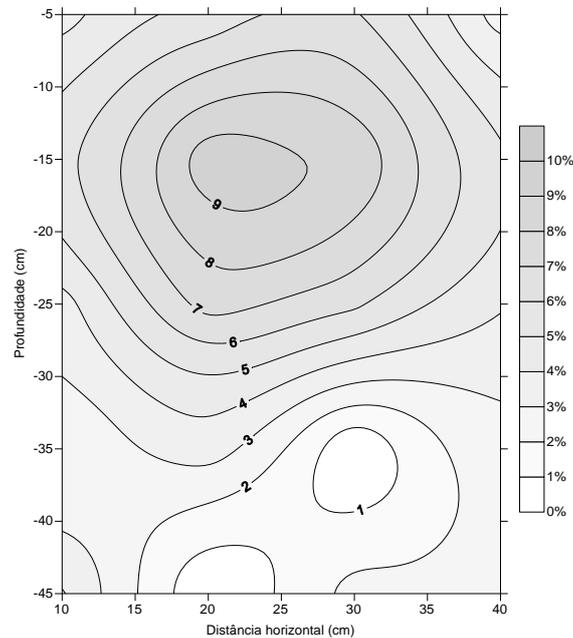


Figura 12. Perfil de umidade, em base volumétrica, do recipiente no 35º dia (05/01/2004).

Observa-se na Figura 12 que durante os 35 dias de experimento, a umidade próxima ao emissor atinge um valor aproximado de 9%, formando um bulbo localizado entre 10 e 20 cm no centro do recipiente, com dimensões iguais a 5 cm na vertical e 8 cm na horizontal. Verificou-se nesse ensaio que a quantidade de água consumida foi baixa (1,8 L), para tanto, considerou-se a possibilidade da existência de uma bolha de ar no interior da mangueira, próximo ao cotovelo (90°) de PVC localizado perto do emissor. Sendo descartada a possibilidade do emissor estar entupido, pois no experimento seguinte, ou seja, quando submetido à pressão de 30 kPa não foi notado esse tipo de problema, devido ao comportamento evolutivo do consumo da água pelo solo.

Ensaio do 1º modelo de emissor a 30 kPa

Para o 1º modelo de emissor submetido à pressão 30 kPa as condições iniciais da umidade do solo no recipiente foi determinada antes de se iniciar o ensaio (Figura 13), ou seja, antes de se liberar a água que alimentaria o emissor. Posteriormente, as leituras foram extraídas a cada 24 horas, tendo início no dia 10/02/04 e término em 01/03/04 (Figuras 14 a 16).

As Figuras de 14 a 16 apresentam a redistribuição de água no solo em umidade volumétrica, seguindo um crescimento que vai de um máximo próximo de 6% na Figura 13, com bulbo localizado entre 20 e 30 cm de profundidade até um máximo de próximo de 24% de umidade situado entre a profundidade de 10 e 20 cm, na Figura 16. Observa-se que a evolução da umidade, na formação do bulbo molhado, ocorreu em 21 dias, devido à baixa pressão fornecida pelo sistema adotado; além de imprimir ao bulbo um formato de uma elipse orientada horizontalmente, alcançando no 21º dia um bulbo molhado, de 24% de umidade com dimensões de aproximadamente 12 cm na horizontal e 7,5 cm na vertical. Salientando que, há um gradiente de umidade dentro do bulbo, partindo de 24% (camada exterior) e chegando bem perto do emissor com umidade em torno de 27%. O valor de umidade em volta do emissor está relativamente próximo ao valor da umidade na condição de capacidade de campo (C.C.) do solo utilizado que, segundo MEDEIROS (2002), pode atingir um valor aproximado de 35%, estimado em experimentos realizados no Campo Experimental da FEAGRI/UNICAMP para diferentes tratamentos culturais (escarificador, disco e enxada rotativa).

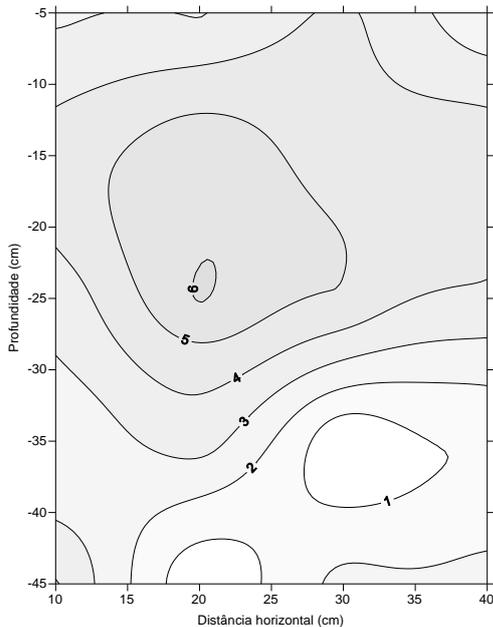


Figura 13. Perfil de umidade base volumétrica do recipiente no 1º dia (10/02/2004) às 12:00h – início.

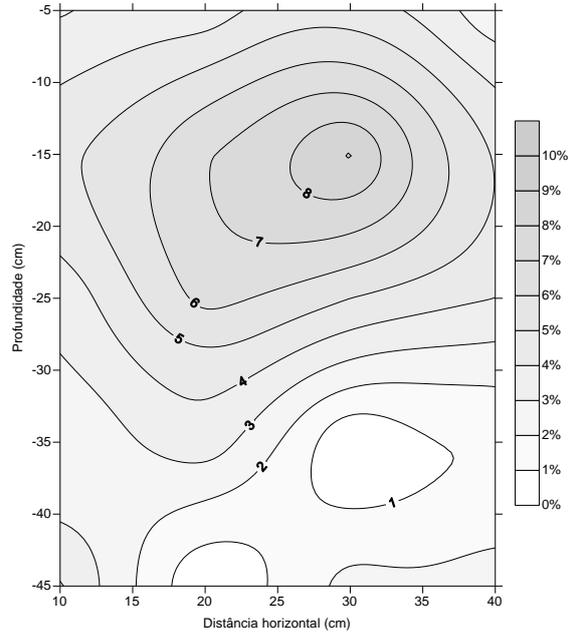


Figura 14. Perfil de umidade, em base volumétrica, do recipiente no 2º dia (11/02/2004).

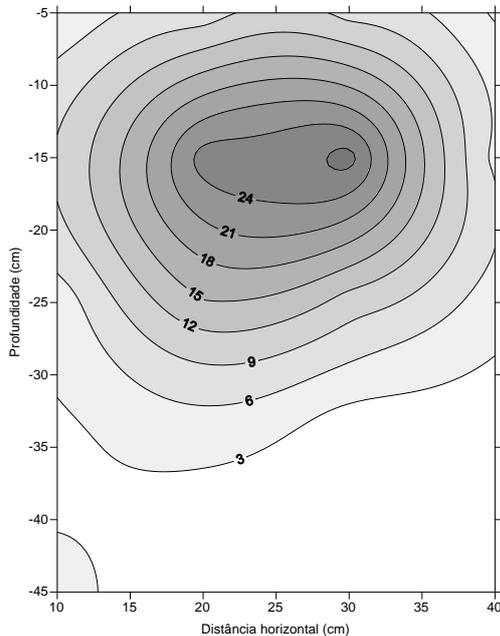


Figura 15. Perfil de umidade, em base volumétrica, do recipiente no 12º dia (21/02/2004).

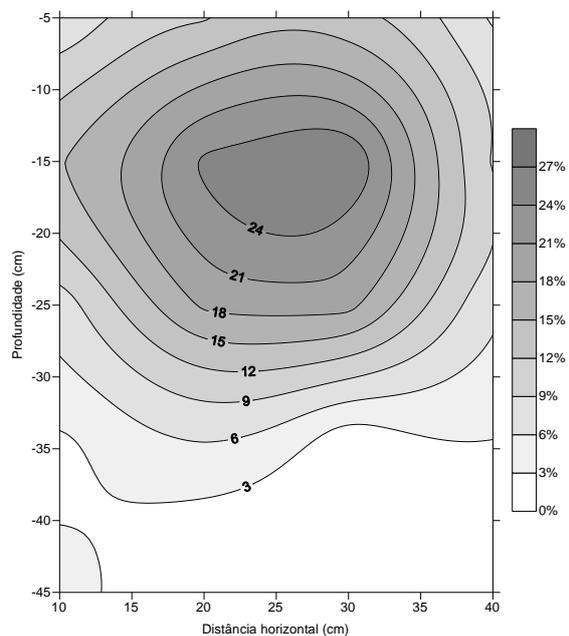


Figura 16. Perfil de umidade, em base volumétrica, do recipiente no 21º dia (01/03/2004) – último dia.

Ensaio do 2º modelo de emissor a 10 kPa

Para o ensaio do 2º modelo de emissor submetido à pressão de 10 kPa, as condições iniciais de umidade no interior do recipiente foram determinadas em 02/03/04 (Figura 17).

Posteriormente, as leituras foram realizadas a cada 24 horas sendo finalizado o experimento em 24/03/04 (Figuras 18 a 20).

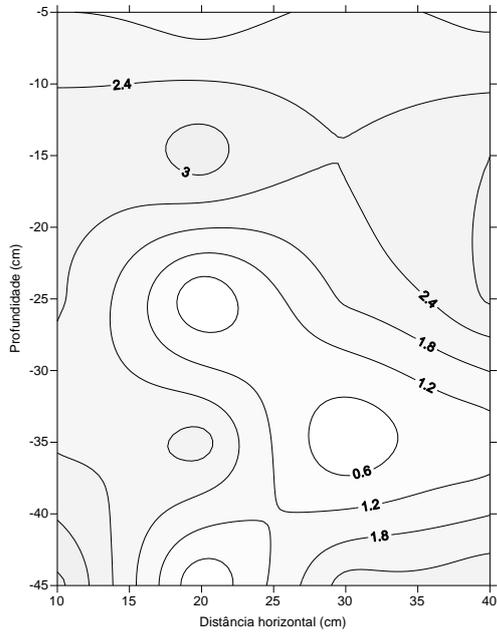


Figura 17. Perfil de umidade, em base volumétrica, do recipiente no 1º dia (02/03/2004) às 14:00h – início.

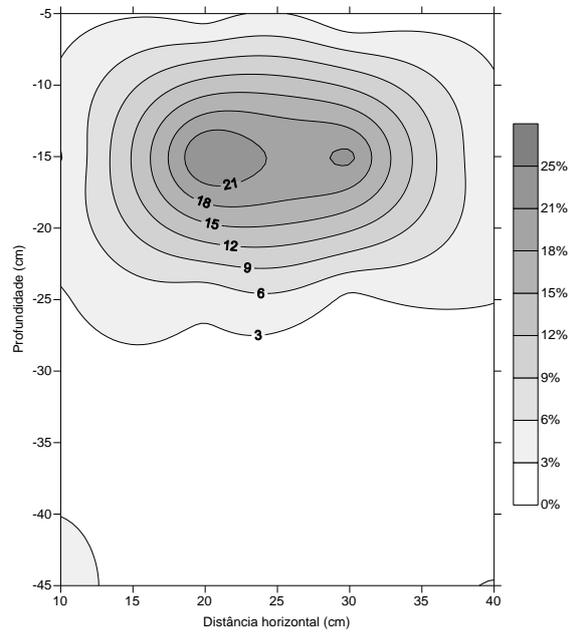


Figura 18. Perfil de umidade, em base volumétrica, do recipiente no 2º dia (03/03/2004).

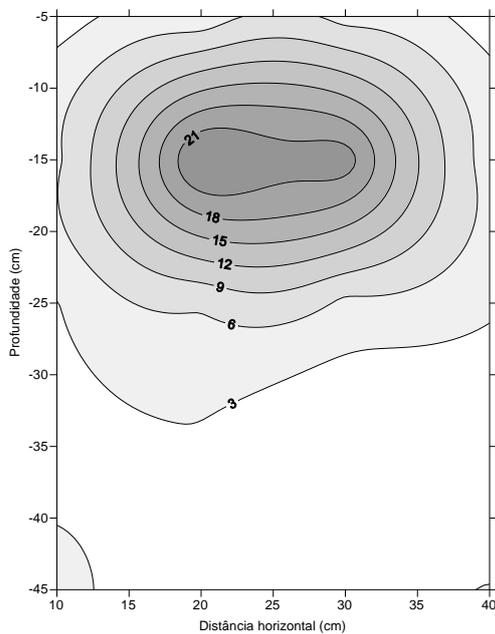


Figura 19. Perfil de umidade, em base volumétrica, do recipiente no 12º dia (13/03/2004).

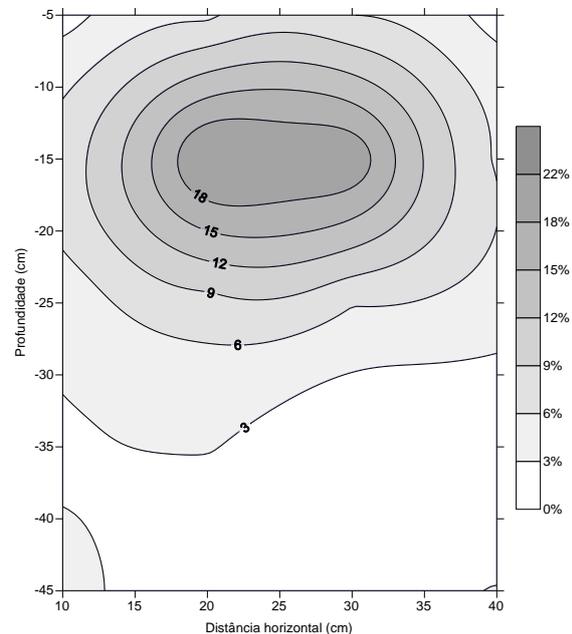


Figura 20. Perfil de umidade, em base volumétrica, do recipiente no 23º dia (24/03/2004) – último dia.

Durante os 23 dias de aplicação constante de água, a umidade próxima ao emissor parte de um valor aproximado de 3% localizada entre 10 e 20 cm de profundidade com diâmetro de 3 a 4 cm e termina com 18% no 23º dia de experimento, imprimindo um bulbo com formato de uma elipse orientada horizontalmente, localizado também entre 10 e 20 cm, porém com tamanho horizontal de 15 cm e vertical de 6 cm, frisando que há um gradiente de umidade dentro do bulbo, partindo de 18% (camada exterior) e chegando bem perto do emissor com umidade em torno de 22%.

Comparativamente ao 1º modelo de emissor a essa pressão, pode-se observar que esse emissor apresentou umidade final de 22%, enquanto que o 1º modelo atingiu um valor próximo de 10%. Os valores podem ser explicados pela diferenciação de configuração de furos existente entre os modelos.

Ensaio do 2º modelo de emissor a 30 kPa

A Figura 21 apresenta as condições iniciais de umidade no interior do recipiente para ensaio do 2º modelo de emissor submetido à pressão de 30 kPa. O experimento teve início no dia 07/04/2004, sendo finalizado em 28/04/2004 (Figuras 22 a 24).

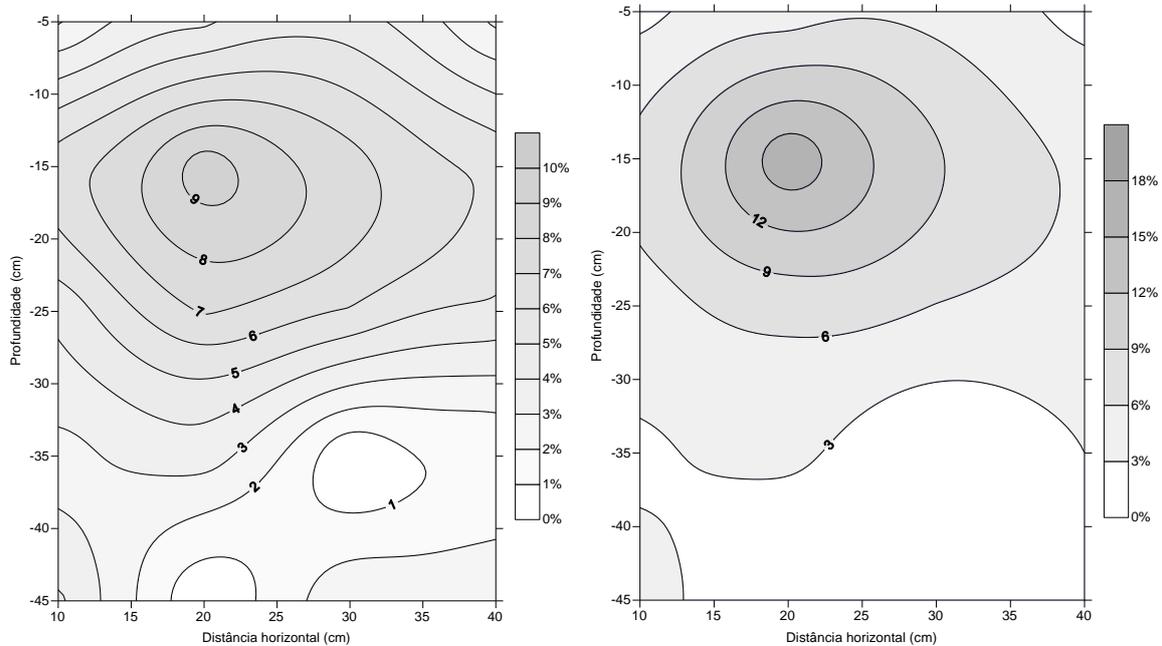


Figura 21. Perfil de umidade, em base volumétrica, do recipiente no 1º dia (07/04/2004) às 17:00h – início.

Figura 22. Perfil de umidade, em base volumétrica, do recipiente no 2º dia (08/04/2004).

Durante os 22 dias de aplicação constante de água, a umidade próxima ao emissor parte de um valor aproximado de 9% localizada entre 10 e 20 cm de profundidade com diâmetro aproximado de 3 cm e termina com 21% no 22º dia de experimento, imprimindo um bulbo com formato de uma elipse orientada horizontalmente, localizado também entre 10 e 20 cm, porém com tamanho horizontal de 15 cm e vertical de 5 cm, frisando que há um pequeno gradiente de umidade dentro do bulbo com umidade de 21% e chegando bem perto do emissor com umidade em torno de 26%.

Quando comparado com o 1º modelo de emissor a essa pressão, esse emissor apresentou umidade final de 26%, ou seja, praticamente igual ao 1º modelo (27%). Os dois modelos de

emissores operando a uma pressão de 30 kPa, determinaram uma umidade na área central do bulbo próxima do valor da umidade correspondente à C.C.

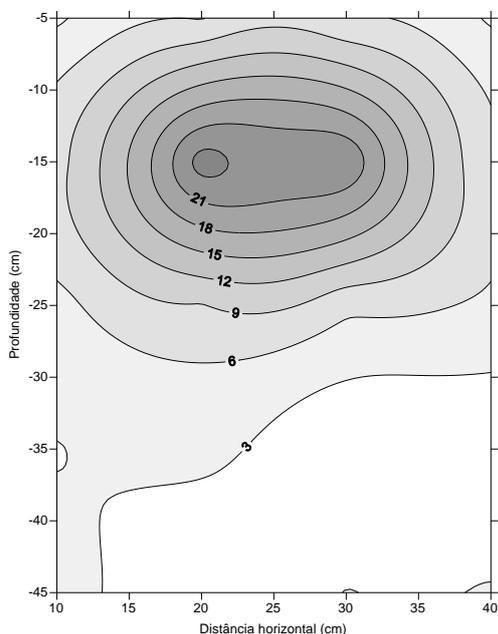


Figura 23. Perfil de umidade, em base volumétrica, do recipiente no 12º dia (18/04/2004).

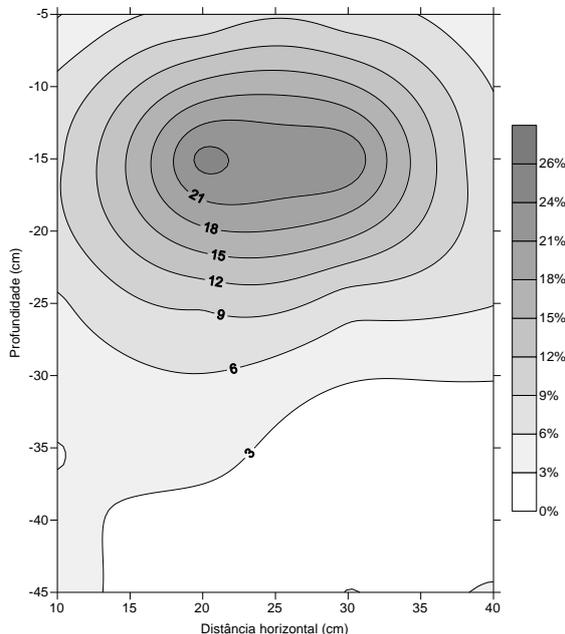


Figura 24. Perfil de umidade, em base volumétrica, do recipiente no 22º dia (28/04/2004) – último dia.

Balanço de massa

A Tabela 1 aponta os resultados do balanço de massa dos experimentos realizados com os dois modelos de emissores nas duas pressões ensaiadas. Com os dados do balanço foram estimados os valores de vazão dos emissores quando submetidos à condição de enterrados e, assim comparar com os dados obtidos pelas equações características.

Tabela 1. Determinação da vazão dos emissores no experimento.

Descrição	1º modelo		2º modelo	
	[10 kPa]	[30 kPa]	[10 kPa]	[30 kPa]
Volume consumido no experimento [L]	1,8	5,5	4,0	2,8
Tempo do experimento [dia]	35	21	23	22
Vazão no interior do recipiente [L.h ⁻¹]	0,002	0,011	0,007	0,005
Vazão estimada pela equação [L.h ⁻¹]	0,080	0,450	0,230	0,950

O 1º modelo de emissor submetido a 10 kPa consumiu, em 35 dias, o volume de 1,8 litros de água; já, quando submetido a 30 kPa, o consumo ficou em 5,5 litros, em 21 dias. O 2º modelo de emissor a 10 kPa consumiu, em 23 dias, o volume de 4 litros; enquanto, a 30 kPa, o consumo ficou em 2,8 litros, em 22 dias.

Pela Tabela é possível notar que as vazões dos emissores enterrados foram menores que as vazões correspondentes à aplicação das equações. O 1º modelo de emissor apresentou, na sua curva característica, vazão média de 0,08 L.h⁻¹ e 0,45 L.h⁻¹, em 10 e 30 kPa, respectivamente, enquanto que depois de enterrado, o mesmo emissor apresentou vazão média de 0,002 L.h⁻¹ e 0,011 L.h⁻¹, em 10 e 30 kPa, respectivamente. O 2º modelo de emissor apresentou na sua curva,

vazão média de 0,23 L.h⁻¹ e 0,95 L.h⁻¹, em 10 e 30 kPa, respectivamente, enquanto que, depois de enterrado, o mesmo emissor apresentou vazão média de 0,007 L.h⁻¹ e 0,005 L.h⁻¹, em 10 e 30 kPa, respectivamente. Os diferenciais de vazão encontrados nos dois modelos de emissores demonstram que seus funcionamentos foram afetados na condição enterrada e que a aplicação de água, nesse caso, foi determinada complementarmente pela interação com as forças matriciais do solo, assim como pela sua condutividade hidráulica.

6 CONCLUSÃO

As condições dos experimentos e dos emissores desenvolvidos permitiram constatar que, embora os modelos possuam comportamentos similares, o 1º modelo de emissor apresentou menor quantidade de materiais (cordão de nylon) para sua confecção, bem como menor quantidade de furos, permitindo menor tempo de construção, quando comparado ao 2º modelo de emissor.

O 1º modelo de emissor a pressão de 30 kPa é a configuração que melhor respondeu às expectativas dos objetivos propostos, pois apresentou dimensões de bulbo molhado relativamente igual ao 2º modelo, porém com maior percentual de umidade no bulbo como um todo, assim como próximo ao emissor.

Os emissores desenvolvidos para trabalhar subsuperficialmente e a baixa pressão demonstraram nos ensaios um potencial para se tornar uma solução alternativa e com economia de água. Entretanto, é necessário estudá-lo com intervalos de tempo maiores que o apresentado nesse trabalho e para outras pressões, bem como avaliar outros modelos de emissor, tornando possível o estabelecimento de novos parâmetros que comprovem a viabilidade do sistema não somente em laboratório, mas também em campo na presença de culturas.

7 AGRADECIMENTOS

Ao Serviço de Apoio ao Estudante – SAE/UNICAMP, que pelo Programa CNPq/PIBIC, concedeu uma Bolsa de Iniciação Científica ao primeiro autor, o que viabilizou a execução deste projeto.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMP, C. R. Subsurface drip irrigation: a review. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.41, n.5, p.1353-1367, 1998.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Chapman and Hall, AVI, 1990. p.427-439.

MEDEIROS, G. A. **Influência do manejo de um Latossolo Vermelho sobre a eficiência do uso da água e produção do feijoeiro irrigado**. 176 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2002.

PHENE, C. J. et al. Advantages of subsurface irrigation for processing tomatoes. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.200, p.101-114, 1987.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188 p.

SILVA, E. D. **Fluid conduction utilizing a reversible unsaturated siphon with tuberc porosity action**. U.S. Patent 6.766817 B2, 27 jul. 2004.

TELLES, D. D. Irrigação localizada. **Item Irrigação e Tecnologia Moderna**, n.23, p.29-30, 1985.

TESTEZLAF, R. **FA876** . técnicas de irrigação. irrigação: técnicas, usos e impactos. Unicamp, 2002. 1 CD-ROM (notas de aula).

TOPP, G.C. et al. Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. **Water Resources**, n.16, p.574-582, 1980.