

**DINÂMICA DO BULBO ÚMIDO EM IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO SUBSUPERFICIAL**Manuel Antonio Navarro Vásquez<sup>1</sup>, Antonio Gebson Pinheiro<sup>2</sup> & José Nilson Oliveira Filho<sup>3</sup><sup>1</sup> Engenheiro Agrônomo, Professor do IF/Crato-CE. [manava98@yahoo.com](mailto:manava98@yahoo.com)<sup>2</sup> Tecnólogo em Irrigação e Drenagem, Mestre em Engenharia Agrícola, UFR/Recife-PE. [gebson10@hotmail.com](mailto:gebson10@hotmail.com)<sup>3</sup> Tecnólogo em Irrigação e Drenagem, Graduado IF/Iguatu-CE. [nilsonoliveira.fl@gmail.com](mailto:nilsonoliveira.fl@gmail.com)**Palavras-chave:**gotejamento  
irrigação por capilaridade  
relação água-solo**RESUMO**

São insuficientes os estudos sobre movimento lateral e ascensão capilar da água quando aplicada abaixo da superfície do solo. Dessa forma, realizou-se este trabalho objetivando quantificar o tempo e a lâmina de irrigação aplicada para que a frente de avanço do bulbo úmido alcance as paredes laterais e a superfície de colunas de solo, assim como o incremento da área superficial molhada por gotejamento subsuperficial. Foram construídas colunas de solo e neles instaladas um gotejador a 0,15 m de profundidade e a 0,25 m equidistante dos extremos laterais, com vazão de 1,35 L h<sup>-1</sup> e pressão de serviço de 147 kPa. Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado com quatro repetições e os tratamentos foram quatro direções da frente de avanço do bulbo úmido (duas contínuas e duas opostas, ao tubo gotejador), em função do tempo (h) e lâmina de irrigação acumuladas (mm). Conclui-se que o tempo e a lâmina foram maiores para a posição contrária ao ponto de incisão do gotejador (5,614 h e 30,315 mm) e menores para as posições contínuas (5,198 h e 28,067 mm). Para atingir a superfície de solo, o tempo e a lâmina foram menores (1,909 h e 8,958 mm) quando comparados a todas as frentes de avanço laterais (5,406 h e 29,191mm). A área superficial molhada aumenta de forma linear à medida que se incrementam o tempo e a lâmina de irrigação aplicada.

**Keywords:**drip  
capillarity irrigation  
water-soil relationship**DYNAMICS OF THE WET-BULB DURING SUBSURFACE DRIP IRRIGATION****ABSTRACT**

There are insufficient studies on water lateral movement and capillary ascension when applied below the surface of the soil. The objective of this research was to quantify the time and water surface irrigation volume in order to assist the wet-bulb to reach the lateral walls and superficial layers of the soil, as well as to evaluate the increase of wet superficial area through subsurface drip irrigation. Soil columns were built and in them one dripper was installed at 0.15 m of depth and 0.25 m distance from the lateral ends, with a water flow of 1.35 L h<sup>-1</sup> and operating pressure of 147 kPa. The experimental design was completely randomized and the treatments were in four different directions from the wet-bulb (two continuous and two opposed to the dripper), in function of time (h) and irrigation levels accumulated (mm). Time and irrigations levels were verified as larger in the positions opposed to the point of incision of the dripper (5.614 h and 30.315 mm) and smaller for the continuous positions (5.198 h and 28.067 mm). Time and irrigations levels were smaller (1.909 h and 8.958 mm) to reach the soil surface when compared to the lateral advancement (5.406 h and 29.191mm). Wet superficial areas increase linearly as the time and the irrigation levels also rise.

## INTRODUÇÃO

Os subsídios técnicos para praticar agricultura baseada na irrigação por gotejamento subsuperficial mostram-se limitados. Os irrigantes são receosos à sua utilização devido ao fato de o bulbo úmido não ser visualizado instantaneamente e sua dinâmica é impossibilitada de ser avaliada sem auxílio de instrumentos sofisticados e caros como TDR, sonda de nêutrons, entre outros.

Os distintos processos que integram essa dinâmica são de fato fortemente interdependentes, já que ocorrem sequencial ou simultaneamente. Para sua avaliação global é necessário considerar o balanço hídrico do solo como uma aplicação da Lei de Conservação da Massa (RODRÍGUEZ & LÓPEZ, 2014).

Dimensionar o bulbo úmido utilizando métodos analíticos, empíricos ou numéricos, requer uma maior ou menor complexidade de obtenção dos dados e resolução de equações em função do volume de água aplicada, vazão do emissor, condutividade hidráulica saturada, conteúdo de umidade inicial e residual do solo (CRUZ et al., 2015).

Maia et al., (2010) demonstram que a dimensão e geometria do bulbo úmido são importantes para estimar o volume do solo molhado, a vazão do emissor e o tempo de aplicação de água. Para Cook et al. (2006) esses parâmetros servem para estimar as lâminas e frequência de irrigação, os número de gotejadores, o dimensionamento hidráulico do sistema e como apontado por (HAO et al., 2007), para o próprio manejo da irrigação.

Por outro lado, Patel & Rajput (2008) indicam que as raízes das plantas absorvem água e nutrientes do bulbo úmido e estes são visualizados através de abertura de trincheiras que demandam demasiado tempo, esforço físico e possuem custos elevados (BARROS et al., 2009).

Assim, o comprimento do diâmetro de umedecimento no momento que tende a estabilizar-se, a partir da lâmina aplicada, também proporciona informação importante sobre o máximo de espaçamento entre emissores, que pode garantir uma franja contínua de umidade e uma sobreposição entre bulbos de 10 % (MUJICA et al., 2013), auxiliando a técnicos e irrigantes na tomada de decisão acerca do dimensionamento hidráulico

e manejo de sistemas de irrigação dessa natureza (KUNZ et al., 2014).

Apesar das limitações para determinar esses parâmetros, a irrigação por gotejamento subsuperficial destaca-se por apresentar redução da evaporação da água, menor interferência com os tratamentos culturais, aumento da longevidade das culturas (ANDRADE JÚNIOR et al., 2012), aumento da eficiência no uso da água e fertilizantes (LEOPOLDO et al., 2013). Além disso, o sistema pode ser utilizado para diferentes culturas (RAJPUT & PATEL, 2009), aumentando a produtividade (SINGH et al., 2006), reduzindo perdas hídricas pela aplicação de baixo volume (PARKES et al., 2010) e sendo indispensável seu uso em regiões áridas e semiáridas (TABATABAEI & NAJAFI, 2007).

O sistema apresenta, entretanto, possibilidade de formação de vácuo no interior dos tubos e gotejadores, tornando possível a sucção de partículas de solo pelos emissores, além de intrusão radicular da cultura no orifício dos gotejadores, causando obstrução dos mesmos, sendo esses os principais problemas a serem resolvidos (LAMM, 2009).

De acordo com Souza et al. (2012), esse entrave pode ser reduzido utilizando um sistema para proteção do emissor, com base em suas características construtivas, de forma que se garanta a vazão de projeto. Segundo Suarez-Rey et al. (2006), o problema de intrusão de emissores por raízes pode ser evitado com a aplicação de trifluralina no sistema de irrigação.

Desse modo, a intensidade com que esse processo pode ocorrer é função de parâmetros ligados principalmente ao manejo da irrigação, necessitando de maior controle com o uso imprescindível de ventosas de duplo efeito em todos os pontos altos do sistema, lavagem das tubulações após o uso e verificação cuidadosa do sistema de filtragem (MARQUES et al., 2006).

Apesar desses conhecimentos, faltam métodos de ensaios e informações seguras que atestem a real capacidade de distribuição lateral e vertical da frente de molhamento da lâmina de irrigação aplicada de forma subsuperficial. De acordo com Barreto et al. (2011) a utilização desse sistema de irrigação pode trazer vantagens em relação ao uso

de água, mas requer o conhecimento da capacidade de ascensão de água no meio de crescimento das raízes, atributo pouco estudado.

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi quantificar o tempo e a lâmina de irrigação acumulados para que a frente de avanço do bulbo úmido alcance 0,25 m em todos os extremos laterais e 0,15 m de ascensão capilar até a superfície de colunas de solo, assim como o incremento da área superficial molhada em relação ao ponto de emissão sobre irrigação por gotejamento subsuperficial.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Hidráulica pertencente ao Curso de Irrigação e Drenagem, do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE, Campus Iguatu. O solo utilizado é da classe Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico (EMBRAPA, 1999) com densidade média de 1,4 kg dm<sup>-3</sup>. Sua classe textural pode ser vista na Tabela 1.

Foi montado um sistema de irrigação por gotejamento subsuperficial dotado de um conjunto motobomba centrífuga de 245,16 W de potência com 3500 rpm, 2 registros de gaveta, 1 filtro de disco e um manômetro com amplitude de medida de pressão de 0 a 588 kPa. A linha de derivação foi de PVC rígido de 25 mm de diâmetro e 4 m de comprimento que portava 4 linhas laterais de polietileno flexível de 12,5 mm de diâmetro e 1 m de comprimento as quais continham um gotejador autocompensante com pressão de funcionamento de 147 kPa e vazão de 1,35 L h<sup>-1</sup>.

As amostras de solos coletadas nas profundidades de 0-0,2 e 0,2-0,40 m foram transportadas ao laboratório de hidráulica, espalhados sobre um local plano e limpo para secar ao ar livre, destorroadas e passadas em peneiras de 2 mm. Posteriormente, construíram-se as colunas

do solo no interior de cubas de vidro de 4 mm de espessura e 0,5 m de lado. Na extremidade inferior da cuba foram colocados um círculo feito com tela de nylon e outro com papel filtro, para sustentação do material e visando também evitar a perda de solo durante os ensaios.

A construção das colunas foi feita de forma a manter a densidade de solo o mais próximo possível dos solos no campo, com pesagens de material e mantendo as sequências das camadas. Quando a coluna de solo atingiu uma altura de 0,25 m, foi instalada a linha lateral de irrigação com o gotejador no centro de cada coluna de solo, prosseguindo com o preenchimento do solo até a altura definitiva de 0,40 m.

As cubas de vidro contendo as colunas de solo foram acondicionadas em estruturas de metal montadas sobre tiras de EVA (Etileno Acetato de Vinila), a uma altura de 1,0 m da superfície do solo, representando as quatro unidades experimentais e nestas condições o sistema de irrigação foi acionado.

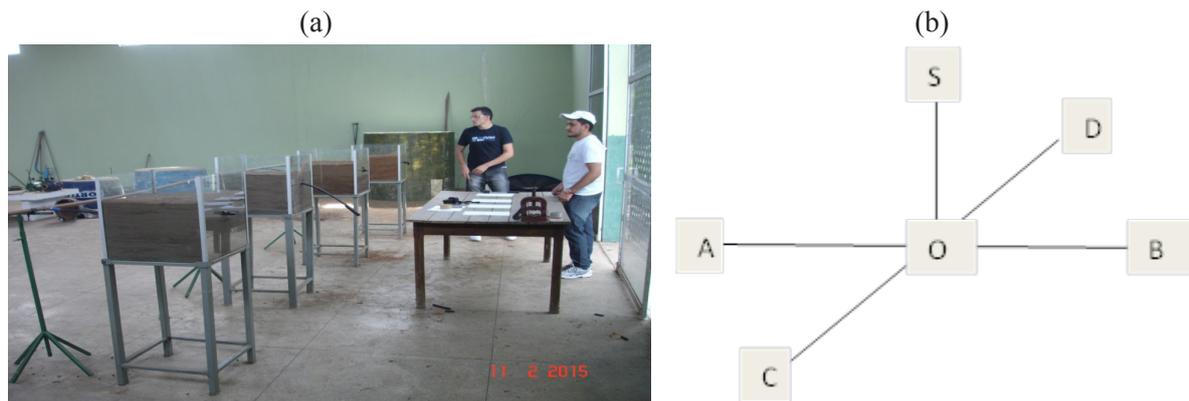
O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 4 repetições. Cada unidade experimental foi composta pelas quatro frentes de avanço do bulbo úmido em direção aos extremos laterais das colunas de solo a partir do ponto de emissão do gotejador distantes a 0,25 m, e também pela ascensão capilar em direção à superfície da coluna de solo a partir do ponto de emissão do gotejador, distante a 0,15 m. (Figura 1a).

Essas direções foram conveniadas com as siglas W1, contínua ao tubo gotejador, direção OA; W2, contínua ao tubo gotejador, direção OB; W3, oposta ao tubo gotejador, direção OC; W4, contrária ao tubo gotejador, direção OD; W5, ascensão capilar, direção OS (Figura 1b).

Foi medido com um cronômetro o tempo gasto (h) e a lâmina de irrigação aplicada (mm) deduzida da vazão do gotejador, para que a frente de avanço do bulbo úmido a partir do ponto de emissão (O) alcançassem os extremos laterais (A, B, C e D) e

**Tabela 1.** Análise granulométrica do solo para as profundidades de 0-0,2 e 0,2-0,4 m

Profundidade (m)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classe Textural
0 - 0,2	74,4	17,3	8,3	Franco arenosa
0,2 - 0,4	76,0	16,4	7,6	Franco arenosa



**Figura 1.** Bancada montada para o experimento: Colunas de solo representando as unidades experimentais (a), direção da frente de avanço do bulbo úmido a partir do ponto de emissão do gotejador (b).

superficiais (E) das colunas de solo. Com auxílio de régua graduada em mm, foram medidos os incrementos de área superficial de bulbo úmido ( $m^2$ ) em função do tempo (h). As lâminas de irrigação (mm) também foram obtidas no momento em que a frente de avanço por capilaridade atingiram a superfície de solo sobre irrigação por gotejamento subsuperficial.

Os dados foram submetidos às análises de variância e a comparação de médias foi realizada usando-se o teste de Tukey para intervalo de confiança da média a 95 % de probabilidade. Para execução das análises estatísticas foi utilizado o programa estatístico ASSISTAT, versão 7.7 beta (pt).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à análise estatística descritiva dos valores médios do tempo gasto (h) e lâminas de irrigação (mm) para que a frente de avanço do bulbo úmido alcancem os extremos horizontais das cubas (W1, W2, W3 e W4) em relação ao ponto de emissão do gotejador (O), podem ser observados na Tabela 2.

O tempo e a lâmina de irrigação foram maiores para a posição W4. Esse resultado foi devido ao retardamento originado pelo acúmulo inicial de água para atingir a parede contrária ao ponto de incisão do gotejador para logo prosseguir com a frente de avanço do bulbo úmido. Já os menores tempos e lâminas foram alcançados pelas posições W1 e W2, contínuas ao tubo gotejador em ambas as direções, influenciados pelo fluxo preferencial originado pela pouca aderência do solo às paredes do tubo gotejador.

Os valores de tempo e lâmina não diferiram

entre si, mostrando que para todas as direções de avanço da frente de molhamento o bulbo úmido não exerceu retardo ou aceleração consideráveis. Dessa forma, pode-se afirmar que bastaria uma só direção para quantificar a área e, conseqüentemente, o volume do bulbo úmido, salvo algumas restrições de declividade tal como demonstrado por Barreto et al. (2008) e camadas de impedimento no solo (SILVA et al., 2002), principalmente.

Devido à textura franco arenosa do solo (Tabela 1), o evento de irrigação deverá apresentar longo tempo para atingir os extremos laterais das colunas presentes nele. Para aprofundar no perfil do solo, a água deverá apresentar menor tempo, pois será influenciada significativamente pelas forças gravitacionais e pela condutividade hidráulica (LAZAROVICH et al., 2007; MESQUITA & MORAES, 2004), que é influenciada pela granulometria do solo, massa específica e viscosidade do fluido (PREVEDELLO, 1999).

Esses resultados também podem estar relacionados às características do sistema de irrigação e aos efeitos construtivos das colunas de solo, tendo em vista que foram construídos com solo deformado. NOGUEIRA et al. (2000) relatam que a umidade mais próxima do emissor enterrado permanece inalterada após sucessivos incrementos de lâminas de irrigação. Evan et al. (2007) também afirmam que o emissor cria padrões de molhamento no solo de diferentes tamanhos e forma devido à vazão do emissor, à frequência e duração da irrigação, pelo movimento capilar da água e pela capacidade de retenção de água pelo solo. Entretanto, Souza & Matzura (2004) indicam que, à medida que se aumenta o volume de água aplicado, maior é o avanço da frente de molhamento, tanto em profundida-

**Tabela 2.** Valor médio e intervalo de confiança das medias de tempo (h) e lâmina (mm) para que a frente de avanço do bulbo úmido alcance os extremos laterais das cubas em relação ao ponto de emissão do gotejador

DFA	T (h)	L (mm)	Intervalo de confiança da media a 95 %			
			LIT	LIL	LST	LSL
W1	5,122a	27,657a	2,155	11,634	8,089	43,680
W2	5,274a	28,477a	2,136	11,534	8,411	45,419
W3	5,567a	30,059a	2,914	15,735	8,219	44,384
W4	5,614a	30,315a	2,929	15,822	8,398	44,809

DFA - Direção da frente de avanço; T - Valor médio de tempo; L - Valor médio de lâmina; LIT - Limite inferior de tempo; LIL - Limite inferior de lâmina; LST - Limite superior de tempo; LSL - Limite superior de lâmina.

Letras iguais indicam que as médias não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

de quanto lateralmente.

O tempo e a lâmina de irrigação média para que a frente de avanço do bulbo úmido atingissem a superfície de solo foram de 1,909 h e 8,958 mm, respectivamente. Porém, nas quatro colunas de solo esses valores foram diferentes, sendo o menor tempo de 1,217 h com lâmina de 6,570 mm e o maior tempo de 2,804 h com lâmina de 15,143 mm. Esses resultados demonstram que a frente de avanço vertical do bulbo úmido é mais rápida em comparação com a frente de avanço lateral do bulbo úmido. Essas variações podem ser devidas ao tipo de solo, a efeitos construtivos das colunas de solo produzido por variação da granulometria ao momento da peneiração, ao grau de compactação do solo realizada e distribuição desigual da lâmina

de irrigação. No entanto, como afirma Goebel et al. (2002), essa tendência pode variar, pois a atuação da capilaridade é dependente da interação de outros fatores, tais como as características das partículas de solo ao molhamento. Segundo Bachmann et al. (2000), o solo, ao ser envolvido com produtos hidrofóbicos, desenvolve maiores ângulos de contato na interface do coloide com a água. Berkowitz et al. (2004) relatam que a relação entre partículas e seu potencial mátrico são importantes para ocorrência da ascensão capilar nas camadas acima da franja capilar.

O teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios para os incrementos da área superficial molhada (m<sup>2</sup>), em função do tempo (h) e lâmina de irrigação acumuladas (mm), são apresentados na

**Tabela 3.** Teste F, coeficiente de variação (CV) e valores médios da área superficial molhada (m<sup>2</sup>), em função do tempo (h) e lâmina acumulado (mm)

Tempo de irrigação acumulada (h)	Área superficial molhada (m <sup>2</sup> )	Lâmina de irrigação acumulada (mm)	Área superficial molhada (m <sup>2</sup> )
0,117	0,005 a	0,632	0,004 a
0,545	0,010 a	2,942	0,009 a
0,880	0,015 a	4,751	0,014 a
1,288	0,028 ab	6,956	0,028 ab
2,195	0,058 abc	11,854	0,056 abc
2,523	0,0775 bcd	13,625	0,077 bcd
2,770	0,0875 bcd	14,957	0,087 bcd
3,298	0,095 cd	17,811	0,095 cd
3,897	0,13 d	21,045	0,128 d
F	12,153 **	F	12,49 3 **
CV (%)	45,24	CV (%)	45,23
DMS (5%)	6,0415	DMS (5%)	5,929

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Dados não transformados.

Tabela 3.

Observa-se diferença na área superficial molhada, em função do tempo e lâminas de irrigação acumuladas. Essas variações são mais acentuadas ao início do aparecimento da frente de molhamento na superfície do solo. Esses resultados corroboram com os obtidos por Souza et al. (2012), os quais verificaram a estabilização da área superficial molhada com aplicações contínuas de lâminas de irrigação superiores à 6 mm. Outra possibilidade são as regiões centrais da superfície molhada tenderem a saturação durante a aplicação de água, denominado de disco de saturação. Souza et al. (2006) encontraram uma forte correlação entre área superficial molhada e o disco saturado para solos arenosos utilizando diferentes lâminas de irrigação.

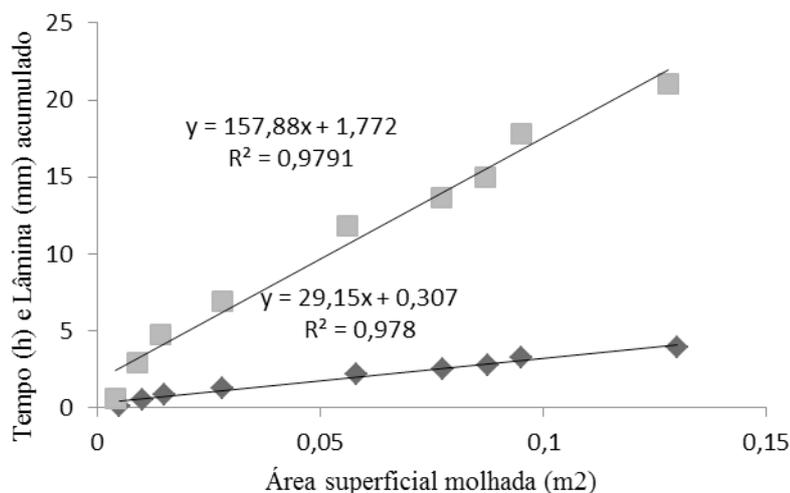
Na Figura 2 está apresentado o incremento da área superficial molhada com o acúmulo do tempo e a lâmina de irrigação acumulados de forma linear. Nota-se que não houve uma estabilização do crescimento da área superficial molhada, pelo contrário, estes se mostraram crescentes com o aumento do tempo e a lâmina de irrigação aplicada. Uma das explicações possíveis para esse fato é que as aplicações constantes de água nesse sistema promovem armazenamento superficial e o formato da superfície molhada apresenta-se no formato mais esférico à medida que se incrementam as lâminas de irrigação corroborando com Bizari et

al. (2016). Esses autores verificaram que a taxa de aplicação não influenciou no formato do bulbo molhado. De acordo com Lopes et al. (2009), a frente de molhamento aumenta consideravelmente nas duas direções quando se aumenta a vazão do emissor. Por outro lado, a forma dos bulbos sob o solo depende do equilíbrio de forças gravitacionais e capilares e está relacionado, entre outros fatores, à quantidade de água aplicada e à textura do solo.

## CONCLUSÃO

- O tempo e a lâmina de irrigação em média, para que a frente de avanço do bulbo úmido alcance as paredes laterais da coluna de solo foram de 5,614 h e 30,315 mm. Para as posições contrárias ao ponto de incisão do gotejador, o tempo e a lâmina de irrigação foram de 5,198 h e 28,067 mm, respectivamente.
- O tempo e a lâmina de irrigação média para que a frente de avanço do bulbo úmido atinja a superfície de solo foi de 1,909 h e 8,958 mm.
- A área superficial molhada aumenta de forma linear à medida que se incrementam o tempo e a lâmina de irrigação aplicada.

## AGRADECIMENTO



**Figura 2.** Incrementos de superfície molhada com acúmulo do tempo e lâminas de irrigação aplicadas.

Ao Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, campus Iguatu, por proporcionar os materiais e a infraestrutura requerida.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE JÚNIOR, A. S. DE; BASTOS, E. A.; QUEIROZ, R. V.; DUARTE, J. A. L.; BRAGA, D. L.; NOLETO, D. H. Níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.76-84, 2012. Disponível em: <<https://www.seer.sct.embrapa.br> > Capa > v.47, n.1, jan. 2012. pdf>. Acesso em: 13/11/2016.

BACHMANN, J.; HORTON, R.; VAN DER PLOEG, R. R.; WOCHEA, S. Modified sessile drop method for assessing initial soil-water contact angle of sandy soil. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p.564-567, 2000. Available in:<[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref...pid.pdf](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref...pid.pdf)>. I access in: 03/11/2016.

BARRETO C. V. G.; TESTEZLAF, R.; SALVADOR, C. A. Ascensão capilar de água em substratos de coco e de pinus. **Bragantia**, Campinas, v.71, p.385-393, 2011.

BARRETO, C. V. G.; SAKAI, E.; PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B. Técnica de avaliação de bulbo úmido por múltiplos cortes em trincheira. **Irriga**, Botucatu, v.13, n.2, p.160-169, 2008.

BARROS, A. C.; FOLEGATTI, M. V.; SOUZA, C. F.; SANTORO, B. L. Distribuição de água no solo aplicada por gotejamento enterrado e superficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.700-707, 2009. Disponível em: <[https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=000080&pid=S0100...pdf](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000080&pid=S0100...pdf)>. Acesso em: 08/11/2016.

BERKOWITZ, B.; SILLIMAN, S. E.; DUNN, A. M. Impact of the capillary fringe on local flow, chemical migration and microbiology. **Vadose Zone Journal**, v.3, p.534-548, 2004.

BIZARI, D. R.; GRECCO, K. L.; SOUZA, C. F.

Bulbo molhado estimado pela técnica da TDR na irrigação por gotejamento subsuperficial. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 2, p.477-485, 2016.

COOK, F. J.; FITCH, P.; THORBURN, P. J.; CHARLESWORTH, P. B.; BRISTOW, K. L. **Modelling trickle irrigation: comparison of analytical and numerical models for estimation of wetting front position with time**. *Environmental Modelling & Software*, v. 21, n. 9, p. 1353-1359, 2006.

CRUZ, B. F.; ZERMEÑO, G. A.; ÁLVAREZ, R. V.; CANO, R. P., MIGUEL RIVERA, G. M.; SILLER, G. M. Modelo para estimar la extensión del bulbo de humedecimiento del suelo en riego por goteo. **Tecnología y Ciencias del Agua**, v. 6, n. 4, p. 131-140, 2015. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v6n4/v6n4a9.pdf>. Consulta en: 02/02/2017.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 212p.

EVAN, R. G.; WU, I.; SMAJSTRALA, A. G. **Microirrigation systems**. In: Hoffman, G. J.; Evans, R. G.; Jensen, M. E.; Martin, D. L.; Elliott, R. L. (ed.). *Design and operation of farm irrigation systems*. St. Joseph: ASABE, 2007. p.632-683.

GOEBEL, M. O.; BACHMANN, J.; WOCHE, S. K.; FISHER, W. R.; HORTON, R. Water Potential and Aggregate Size Effects on Contact Angle and surface Energy. **Soil Science Society American Journal**, v.68, p.383-393, 2002.

HAO, A.; MARUI, A.; HARAGUCHI, T.; NAKANANO, Y. Estimation of wet bulb formation in various soil during drip irrigation. **Journal of the Faculty of Agriculture**, Kyushu University, v. 01, n. 52, p. 187-193, 2007.

KUNZI, J.; SCHONS de Á., V.; PET, M. Distribuição temporal e espacial da umidade do solo em

sistemas de irrigação por gotejamento subsuperficial. **Revista Monografias Ambientais – REMOA**, Centro do Ciências Naturais e Exatas - UFSM, Santa Maria, v. 13, n. 5, p. 3963-3976, 2014.

LAMM, F. R. Unique challenges with subsurface drip irrigation. St. Joseph: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009. AS-ABE paper no. 095927. 25 p. Available in: [https://asae.frymulti.com/abstract.asp?a\\_id=27345&t=1](https://asae.frymulti.com/abstract.asp?a_id=27345&t=1). I access in: 04/04/2017.

LAZAROVITCH, N.; WARRICK, A. W.; FURMAN, A.; SIMUNEK, J. Subsurface water distribution from drip irrigation described by moment analyses. **Soil Science of America Journal**, Madison, v. 6, p. 116-123, 2007. Available in: [https://www.gwri-ic.technion.ac.il/pdf/gwri\\_abstracts/2007/2007-57.pdf](https://www.gwri-ic.technion.ac.il/pdf/gwri_abstracts/2007/2007-57.pdf). I access in: 14/11/2016.

LEOPOLDO, G.; ANDREAU, R.; ETCHEVERS, P.; ZABALA, S. M.; CHALE, W.; ETCHEVERRY, M.; ROMAY, C.; SALGADO, H. Respuesta productiva del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo cubierta a la distribución de la humedad generada por riego por goteo subterráneo y superficial. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, v. 112, n.1, p.18-26, 2013. Disponible en: <https://www.dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5718081.pdf>. Consulta en: 03/02/2017.

LOPES, L.N.; MARTINS, E.; SANTORO, B.L.; SOUZA, C.F. Caracterização da distribuição da água no solo para irrigação por gotejamento. **Irriga**, v. 14, no. 4, p. 564-577, 2009.

MAIA, C. E.; LEVIEN, S. L. A.; MEDEIROS, J. F., NETO, J. D. Dimensões de bulbo úmido na irrigação por gotejamento superficial. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 41, n. 1, p. 149-158, jan-mar, 2010.

MARQUES, P. A. A.; FRIZZONE, J. A.; TEIXEIRA, M. B. O estado da arte da irrigação por gotejamento subsuperficial. **Colloquium Agrariae**, v.2, p.17-31, 2006.

MESQUITA, M. G. B. F; MORAES, S. O. **A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo**. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.34, n.3, p.963-969, mai-jun, 2004.

MUJICA, C. A.; CARMENATES, H. D.; PANIQUE, R. P. Determinación de la forma y dimensiones del bulbo húmedo en el riego subsuperficial para el cultivo de la caña de azúcar. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, v. 21, p.59-62, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.sld.cu/pdf/rcta/v21s1/rcta13esp12.pdf>. Acesso em: 04/02/2017.

NOGUEIRA, C. C. P.; COELHO, E. F.; LEÃO, M. C. S. Características e dimensões do volume de um solo molhado sob gotejamento superficial e subsuperficial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 4, n.3, p. 315-320, 2000.

PATEL, N.; RAJPUT, T. B. S. Dynamics and modeling of soil water under subsurface drip irrigated onion. **Agricultural Water Management**, Amsterdam v.95, p.1335-1349, 2008.

RAJPUT, T. B. S.; PATEL, N. Effect of subsurface drip irrigation on onion yield. **Irrigation Science**, v.27, p.97-108, 2009.

PARKES, M.; YAO, W. W.; MA, X. Y.; LI, J. Simulation of point source wetting pattern of subsurface drip irrigation. **Irrigation Science**, v.29, p.331-339, 2010.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: Sociedade Autônoma de Estudos Avançados em Física do Solo. 1999, 446p.

RODRÍGUEZ, G. M. R.; LÓPEZ, S. T. Comparación del comportamiento del flujo del agua en un Ferrasol bajo riego por goteo superficial y sub superficial. **Revista Ingeniería Agrícola**, Boyeros, La Habana, Cuba, v. 4, n.2, p.3-9, 2014. Disponible en: <https://www.scielo.sld.cu/pdf/rcta/v23n3/rcta01314.pdf>. Consulta en: 04/02/2017.

SILVA, M. S. L. da; KLAMT, E.; CAVALCANTE,

A. C.; KROTH, P. L. Adensamento subsuperficial em solos do semi-árido: processos geológicos e/ou pedogenéticos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, PB, v. 6, n. 2, p. 314-320, 2002.

SINGH, D. K.; RAJPUT, T. B. S.; SIKARWAR, H. S.; SAHOO, R. N.; AHMED, T. Simulation of soil wetting pattern with subsurface drip irrigation from line source. *Agriculture Water Management*, v.83, p.130-134, 2006.

SOUZA, C. F.; FOLEGATTI, M. V.; MATSURA, E. E.; OR, D. Calibração da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) para a estimativa da concentração da solução do solo. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.26, p.282-291, 2006.

SOUZA, C. F.; MATSURA, E. E. Distribuição de água no solo para o dimensionamento da irrigação

por gotejamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.8, p.7-15, 2004.

SOUZA W. J.; BOTREL, T. A.; COELHO, R. D.; NOVA, N. A. V. Irrigação localizada subsuperficial: Gotejador convencional e novo protótipo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.811-819, 2012.

SUAREZ-REY, E. M.; CHOI, C. Y.; MCCLOSKEY, W. B.; KOPEC, D. M. Effects of chemicals on root intrusion into subsurface drip emitters. *Irrigation and Drainage*, v.55, p.501-509, 2006.

TABATABAEI, S. H.; NAJAFI, P. Effect of using subsurface drip irrigation and ET-HS model to increase WUE in irrigation of some crops. *Irrigation and Drainage*, v.56, p.477-486, 2007.