

AValiação DOS MODELOS MATEMÁTICOS PARA DIMENSIONAMENTO DO BULBO MOLHADO NA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO

LUCAS MASSAYUKI SATO¹; CLAUDINEI FONSECA SOUZA² E JOSÉ GEANINI PERES²

¹ Eng. Ambiental e Sanitarista, PPGAA, CCA/UFSCar, the_luk@hotmail.com

² Prof. Doutor, Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental, CCA/UFSCar, cfsouza@cca.ufscar.br

³ Prof. Doutor, Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental, CCA/UFSCar, jogepe@cca.ufscar.br

1 RESUMO

O conhecimento das dimensões do bulbo molhado gerado pelo gotejador a ser utilizado no projeto é de fundamental importância para o correto dimensionamento e operação dos sistemas de irrigação por gotejamento. O objetivo deste trabalho foi testar o desempenho dos modelos Schwartzman-Zur Reproduzido e HYDRUS-2D na previsão das dimensões dos bulbos molhados para emissores de diferentes vazões. Na sua primeira parte, realizada na área experimental da Universidade de Taubaté, foram coletadas as dimensões dos bulbos molhados gerados por gotejadores de 2, 4 e 8 L.h⁻¹ em um Latossolo vermelho-amarelo. Na segunda, foram simuladas as dimensões dos bulbos molhados utilizando os modelos de Schwartzman-Zur Reproduzido e HYDRUS-2D. Os estudos estatísticos utilizados para avaliar o desempenho desses modelos mostraram que o de Schwartzman-Zur Reproduzido ajustou os dados experimentais com precisão de 94%, enquanto que, no caso do modelo HYDRUS-2D, esta precisão foi de 85%. Concluiu-se que os dois modelos estudados podem estimar adequadamente as dimensões do bulbo molhado para as condições estudadas, destacando-se, porém, que o modelo de melhor desempenho foi o de Schwartzman-Zur Reproduzido.

PALAVRAS-CHAVE: manejo de irrigação, simulação, irrigação localizada, TDR

**SATO, L. M.; SOUZA, C. F.; PERES, J. G.
MATHEMATICAL MODELS FOR DIMENSIONING OF WET BULB IN DRIP
IRRIGATION**

2 ABSTRACT

The knowledge about the dimensions of the wet bulb generated by drippers used in projects is vital for the proper design and operation of drip irrigation systems. The aim of this study was to test the performance of the Schwartzman-Zur Reproduced and Hydrus-2D models in the prediction of the dimensions of wet bulb generated by drippers of different flows. The study was performed at the experimental field of Taubaté University in Taubaté, State of São Paulo, Brazil. Firstly, it was collected the dimensions of wet bulbs generated by drippers of 2, 4 and 8 L h⁻¹ in a red-yellow latosol. Secondly, the wet bulb dimensions were simulated using Schwartzman-Zur Reproduced and Hydrus-2D models. The statistical analysis for evaluating the performance of these models have shown that the Schwartzman-Zur Reproduced predicted the experimental data with 94% precision, while the Hydrus-2D predicted with 85% precision. In conclusion the two models can adequately estimate the dimensions of the wet

bulb for the studied conditions. However, it must be highlighted that the Schwartzman Zur Reproduced model had the best performance.

KEYWORDS: irrigation management, simulations, localized irrigation, TDR

3 INTRODUÇÃO

A área irrigada no planeta, embora correspondente a apenas 17% da área total cultivada, responde por aproximadamente 40% da produção agrícola mundial, indicando a importância da irrigação na produção de alimentos e fibras (PAULINO et al., 2011).

Dentre os diferentes usos múltiplos da água, a agricultura irrigada é a atividade humana que mais consome água, cerca de 70% da água utilizada globalmente (FERERES & SORIANO, 2006). Esta grande demanda de água tem dado origem a conflitos com outros usos da água.

No Brasil, a área irrigada corresponde a 4,5 milhões de hectares, onde a irrigação localizada, com destaque para a irrigação por gotejamento, representa 8% deste total. Nos últimos anos, tem se verificado um aumento anual na área irrigada brasileira de 150.000 hectares (PAULINO et al., 2011).

Dentre os métodos de irrigação, a irrigação por gotejamento é aquela que tem apresentado maior crescimento mundial em termos de área irrigada, substituindo, principalmente, os métodos superficiais de irrigação (DASBERG & OR, 1999). No Brasil, segundo Christofidis (2006), a área irrigada pelos métodos localizados mais do que triplicou no período de 1996 a 2003.

Segundo Lopes et al. (2009), a irrigação por gotejamento é caracterizada pela aplicação de pequenas vazões de água diretamente na zona radicular da planta, mantendo a umidade do solo próxima a umidade da capacidade de campo. Este volume de solo molhado é conhecido por bulbo molhado e é nele onde as raízes das plantas absorvem água e nutrientes.

Segundo Souza et al. (2006) uma das maiores dificuldades encontradas no planejamento de um sistema de irrigação por gotejamento é a determinação do número de emissores que devem ser utilizados para se atingir a porcentagem de área a ser molhada por planta, havendo, para tanto, a necessidade de se determinar as dimensões do bulbo molhado para cada um dos emissores utilizados.

A determinação das dimensões do bulbo molhado é uma tarefa complexa, uma vez que o volume de solo molhado por um emissor é função do volume de água a ser aplicado, da vazão do emissor e da textura e da estrutura do solo (SOUZA et al., 2009).

Segundo Maia (2010), a vazão do gotejador, juntamente com as variáveis de umidade durante o processo de infiltração, tem grande importância na formação do bulbo molhado. O conhecimento da forma e dimensão do bulbo molhado pode evitar perdas de água por lixiviação e superposição exagerada dos emissores. Este autor afirma ainda que se tem tentado determinar a forma do bulbo molhado em função de diversas propriedades físicas dos solos tornando difícil de prever qual pode ser o padrão de distribuição da água em um determinado solo.

Devido a precisão, facilidade e rapidez para se obter resultados, a utilização de modelos computacionais torna-se cada vez mais, uma ferramenta importante para a prevenção de impactos no ambiente (MIRANDA et al., 2005).

Seguindo esta linha, Schwartzman e Zur (1986) desenvolveram um modelo simplificado para descrever o avanço da frente de molhamento com base no volume de um

bulbo molhado com o formato geométrico de uma elipsoide, determinando que as dimensões bulbo molhado, largura e profundidade, dependem da vazão do emissor, condutividade hidráulica do solo saturado e volume de água aplicada.

Genuchten e Simunek (2004) relatam que nas últimas décadas houve um grande aumento de modelos matemáticos que são capazes de estimar o movimento da água e dos solutos no solo. Com a crescente utilização dos modelos computacionais, o modelo HYDRUS-2D, é um software capaz de simular o movimento unidimensional de água, calor e solutos em um meio saturado variado, que tem sido utilizado para diversos trabalhos, porém, há a necessidade de ser avaliado em condições específicas de campo e laboratório.

Segundo Skaggs et al. (2004), a utilização do modelo HYDRUS-2D é uma estratégia eficiente para estudar a prática de manejo ideal para a irrigação por gotejamento, porém, foram realizados poucos trabalhos de simulações numéricas em que se utilizam dados de campo, deixando em dúvida as conclusões tiradas a partir da utilização de modelos matemáticos para dimensionar sistemas de irrigação por gotejamento.

No que foi exposto, este trabalho teve o objetivo de testar os modelos propostos por Schwartzman & Zur (1986) e HYDRUS-2D, comparando os seus resultados com informações coletadas em condições de campo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi dividido em duas partes. Na primeira parte, se monitorou a formação e a evolução do bulbo molhado em condições de campo a fim de fornecer informações básicas para testar os modelos matemáticos. Na segunda parte, realizaram-se simulações das dimensões do bulbo molhado utilizando dois modelos matemáticos distintos.

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Ciências Agrárias, da Universidade de Taubaté, cuja as coordenadas geográficas são: latitude 23°01'55,25" S; longitude 43°30'39,74" W e altitude de 571 metros; localizada no município de Taubaté, Estado de São Paulo. O clima da região, segundo a classificação Köppen, é Cwa, subtropical úmido.

Para a realização da primeira parte experimental promoveu-se a formação do bulbo molhado em uma casa de vegetação sob o solo do tipo LVA (EMBRAPA, 2006) cujas características estão apresentadas nas Tabelas (1) e (2).

Tabela 1. Características físico-hídricas do solo

Profundidade (m)	Físico-hídricas						
	p (%)	Ds (g cm ⁻³)	Dp (g cm ⁻³)	VIB (mm h ⁻¹)	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)
0,00 – 0,20	51	1,30	2,70	13,20	59	13	28
0,20 – 0,40	50	1,35	2,70	9,40	57	13	30
0,40 – 0,60	49	1,39	2,70	9,50	58	13	29

p = Porosidade; Ds = Densidade de solo; Dp = Densidade de Partícula; VIB = Velocidade de Infiltração Básica.

Tabela 2. Curva de retenção de água no solo expressa em umidade a base de volume

Profundidade (m)	Potencial Matricial (kPa)									
	0	1	2	4	10	30	50	100	500	1500
0,00-0,20	0,43	0,39	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32	0,29	0,26
0,20-0,40	0,47	0,42	0,38	0,36	0,34	0,33	0,33	0,32	0,27	0,25
0,40-0,60	0,45	0,39	0,37	0,35	0,34	0,33	0,32	0,31	0,28	0,25

Para o monitoramento da formação do bulbo molhado utilizou-se um Reflectômetro (TDR100 - Campbell Scientific) equipado com uma interface RS 232, que analisa o sinal eletromagnético automaticamente por um coletor de dados (CR1000 – Datalogger – Campbell Scientific) e 150 sondas de TDR que permitem a propagação e recepção do sinal eletromagnético, as sondas foram construídas conforme a metodologia proposta por Souza et al. (2006). Para isso, trincheiras foram abertas para a instalação das sondas de TDR, as quais formaram uma malha de monitoramento da umidade volumétrica do solo, as sondas que compunham essa malha estavam espaçadas a 10cm, conforme apresentado na Figura 1.

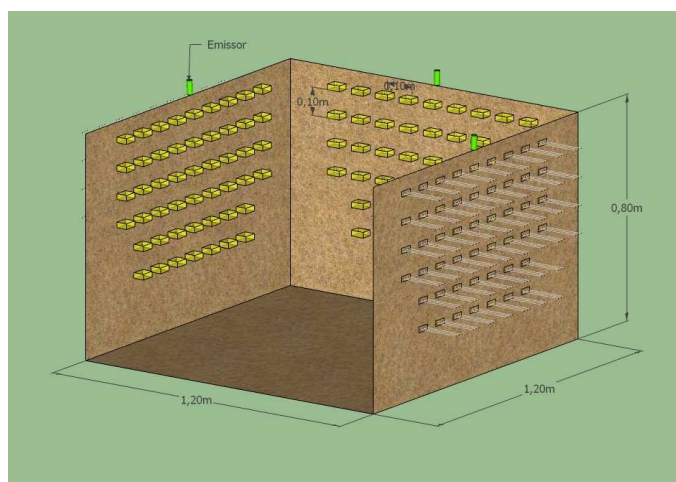


Figura 1. Disposição das sondas instaladas

Para a conversão da constante dielétrica aparente (K_a) em umidade volumétrica (θ), utilizou-se a Eq. (1) de calibração proposta por Lopes et al. (2010), apresentada a seguir:

$$\theta = 9 \times 10^{-5} K_a^3 - 0,038 K_a^2 + 0,0577 K_a - 0,0484 \quad (1)$$

Onde:

K_a – É a constante dielétrica aparente do solo, adimensional.

As sondas foram instaladas em uma trincheira com dimensões de 1,20 x 1,20 x 0,80 m (comprimento, largura e profundidade), em cada parede foi instalado um gotejador com vazões de 2, 4 e 8 L h⁻¹ conforme a metodologia proposta por Souza et al. (2007).

As leituras de umidade volumétrica nas diferentes posições foram realizadas de forma contínua acompanhando a fase de infiltração e redistribuição. Assim, observou-se a evolução do bulbo molhado formado com gotejadores de vazões de 2, 4 e 8 L h⁻¹, respectivamente, e aplicou-se 1 L de água, durante 30, 15 e 7,5 minutos respectivamente no total de 10 aplicações. Um sistema com frasco de Mariotte foi utilizado para manter a pressão no gotejador constante. Este procedimento foi baseado nos trabalhos de Souza et al. (2009).

Para a realização da segunda parte experimental, a qual compreendia a simulação do bulbo molhado foi utilizado o modelo proposto por Schwartzman & Zur (1986), o modelo assume que o avanço da frente de molhamento no solo depende de três variáveis básicas, sendo elas, a vazão do emissor q , a condutividade hidráulica saturada K_s e o volume total de água aplicada V . Este modelo simula a profundidade vertical (z) e largura (d) do bulbo molhado através das funções Eqs. (2) e (3):

$$d = f_1(V, q, K_s) \quad (2)$$

$$z = f_2(V, q, K_s) \quad (3)$$

Para o caso de fluxo cilíndrico (aplicação pontual – “*point source*”), o modelo compõe as seguintes formas adimensionais das variáveis V , z e d , por meio das Eqs. (4), (5) e (6):

$$d^* = d \cdot \left(\frac{K_s}{q} \right)^{1/2} \quad (4)$$

$$z^* = z \cdot \left(\frac{K_s}{q} \right)^{1/2} \quad (5)$$

$$V^* = V \cdot \left(\frac{K_s}{q} \right)^{3/2} \quad (6)$$

Onde:

d^* , z^* e V^* - valores adimensionais do diâmetro, da profundidade do bulbo molhado e do volume aplicado, respectivamente;

z - profundidade vertical estimada (m);

d - largura horizontal estimada (m);

V - volume de água aplicada (L);

K_s - condutividade hidráulica saturada do solo ($m\ h^{-1}$);

Q - vazão do gotejador ($L\ h^{-1}$).

Os parâmetros z^* e d^* são definidos pelo parâmetro adimensional V^* , conforme as seguintes Eqs. (7) e (8):

$$d^* = A_1 \cdot (V^*)^{n_1} \quad (7)$$

$$z^* = A_2 \cdot (V^*)^{n_2} \quad (8)$$

Onde,

A_1 , A_2 , n_1 , n_2 - constantes empíricas válidas para caso de fluxo cilíndrico (aplicação pontual – “*point source*”).

Sendo assim, para o fluxo cilíndrico, as equações para cálculo dos valores dimensionais de z e d , com o auxílio das variáveis dimensionais V , K_s e q e das constantes empíricas A_1 , A_2 , n_1 e n_2 assumem as seguintes Eqs. (9) e (10):

$$d = A_1 \cdot V^{n_1} \cdot \left(\frac{K_s}{q} \right)^{\frac{3}{2}n_1 - \frac{1}{2}} \quad (9)$$

$$z = A_2 \cdot V^{n_2} \cdot \left(\frac{K_s}{q} \right)^{\frac{3}{2}n_2 - \frac{1}{2}} \quad (10)$$

Simunek et al. (1993) desenvolveram o software computacional HYDRUS-2D (HYD) para o fluxo unidimensional expressa por Eq. (11):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = C(\Psi) \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[K(\Psi) \frac{\partial \Psi}{\partial z} - K(\Psi) \right] \quad (11)$$

Em que,

- θ – teor de umidade volumétrica do solo, $m^3 m^{-3}$;
- t – tempo, s;
- C – capacidade específica, adimensional;
- Ψ – Potencial total, Pa;
- z – profundidade local, m;

O software permite também a utilização do modelo hidráulico desenvolvido por Genuchten (1980), demonstrada na Eq (12), abaixo:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha |\Psi|^n)]^m} \quad (12)$$

Onde:

- θ - umidade volumétrica ($m^3 m^{-3}$);
- θ_r - umidade residual ($m^3 m^{-3}$);
- θ_s - umidade no ponto de saturação ($m^3 m^{-3}$);
- α, n e m - parâmetros empíricos.

O modelo HYD é baseado em elementos finitos onde há a necessidade do conhecimento de variáveis como: propriedade do solo, conduções atmosféricas, vazão do emissor e condições de contorno. O modelo HYD também incorpora uma interface onde é possível a visualização gráfica das simulações realizadas.

Com estes modelos, foram realizadas simulações para estimar a frente de molhamento do perfil do solo, utilizando as mesmas condições do experimento realizado em campo e para as três vazões em estudo.

Foram inseridas informações do experimento de campo, como tempo de aplicação de água para a simulação do fluxo de água no solo a partir de uma fonte pontual.

Para realizar a verificação estatística dos conjuntos de dados foi utilizado o índice de ajuste (d) proposto por Willmott (1981), que avalia a concordância com que os valores observados são estimados pelas simulações matemáticas. Conforme a metodologia, foram utilizadas as Eqs. (13), (14) e (15):

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i| + |O_i|)^2} \quad (13)$$

$$P'_i = P_i - \bar{O} \quad (14)$$

$$O'_i = O_i - \bar{O} \quad (15)$$

Em que,

d - índice de ajuste é um adimensional variando entre 0 e 1, sendo 1 completo ajustamento entre os valores observados e os estimados e 0 para a condição oposta;

Pi – valores estimados, zH, dH, zSZ e dSZ;

Oi – Valores observados, z e d;

\bar{O} – média dos valores observados, e

n – número de observações.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 3 constam os valores de vazão (q) do gotejador, largura (d) e profundidade (z) do bulbo molhado, observados sob diferentes volumes de água aplicada (V) e os valores adimensionais anteriormente citados, enquanto nas Figura 2 e 3, encontram-se as regressões exponenciais, para se obter as constantes empíricas.

Utilizando as Eqs. (4), (5) e (6) foram obtidos valores adimensionais de d^* , z^* e V^* , utilizando o valor de condutividade hidráulica saturada (K_s) igual a $0,186 \text{ m h}^{-1}$.

Tabela 3. Valores adimensionais de d^* , z^* e V^* a partir dos valores experimentais obtidos com vazões de 2, 4 e 8 L h^{-1}

Valores Experimentais				Valores Adimensionais		
q (L/h)	d (m)	z (m)	V (L)	d^*	z^*	V^*
2	0,10	0,10	1	0,96	0,96	0,90
2	0,13	0,13	2	1,25	1,25	1,79
2	0,16	0,16	3	1,54	1,54	2,69
2	0,21	0,21	4	2,03	2,03	3,59
2	0,22	0,27	5	2,17	2,60	4,48
2	0,24	0,29	6	2,31	2,80	5,38
2	0,26	0,32	7	2,51	3,09	6,28
2	0,28	0,34	8	2,75	3,28	7,17
2	0,32	0,36	9	3,09	3,47	8,07
2	0,33	0,37	10	3,18	3,57	8,97
4	0,10	0,10	1	0,68	0,68	0,32
4	0,18	0,14	2	1,23	0,95	0,63
4	0,20	0,15	3	1,36	1,02	0,95
4	0,26	0,16	4	1,77	1,09	1,27
4	0,28	0,18	5	1,91	1,23	1,59
4	0,30	0,20	6	2,05	1,36	1,90
4	0,30	0,21	7	2,06	1,43	2,22
4	0,31	0,22	8	2,11	1,53	2,54

4	0,34	0,23	9	2,32	1,60	2,85
4	0,34	0,26	10	2,32	1,77	3,17
8	0,09	0,09	1	0,43	0,43	0,11
8	0,11	0,10	2	0,53	0,51	0,22
8	0,15	0,13	3	0,72	0,63	0,34
8	0,21	0,18	4	1,01	0,89	0,45
8	0,22	0,25	5	1,08	1,23	0,56
8	0,22	0,27	6	1,08	1,30	0,67
8	0,23	0,29	7	1,11	1,40	0,78
8	0,24	0,29	8	1,16	1,42	0,90
8	0,26	0,31	9	1,25	1,49	1,01
8	0,31	0,32	10	1,49	1,54	1,12

De acordo com os resultados apresentados nas Figuras 2 e 3, as constantes das Eqs. (7) e (8) assumem os seguintes valores: $A_1 = 1,258$; $A_2 = 1,185$; $n_1 = 0,437$ e $n_2 = 0,459$.

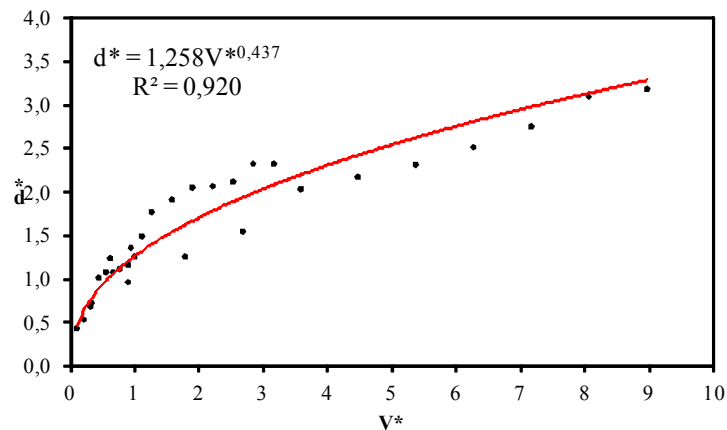


Figura 2. Regressão exponencial de d^* e V^* .

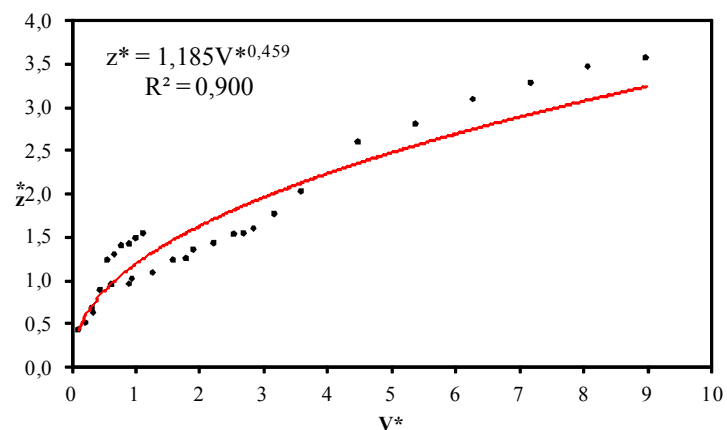


Figura 3. Regressão exponencial de z^* e V^* .

Para converter as expressões adimensionais em dimensionais, utilizou-se as mesmas substituições e obteve-se as Eqs. (16) e (17):

$$d = 1,258 \times V^{0,437} \times \left(\frac{Ks}{q}\right)^{\frac{5}{2} \times 0,437 - \frac{1}{2}} \quad (16)$$

$$z = 1,185 \times V^{0,459} \times \left(\frac{Ks}{q}\right)^{\frac{5}{2} \times 0,459 - \frac{1}{2}} \quad (17)$$

Resultando nas Eqs. (18) e (19), abaixo:

$$d = 1,26 \times V^{0,44} \times \left(\frac{Ks}{q}\right)^{0,15} \quad (18)$$

$$z = 1,18 \times V^{0,46} \times \left(\frac{Ks}{q}\right)^{0,19} \quad (19)$$

As Figuras 4 e 5 mostram os valores dimensionais de d e z observados no experimento (Tabela 3), comparados com a largura (d_{SR}) e profundidade (z_{SR}) estimados pelo modelo Schwartzman & Zur reproduzido (SZR), utilizando as equações (15) e (16), assumindo $Ks = 0,19 \text{ m h}^{-1}$ e valores de V e q utilizados experimentalmente.

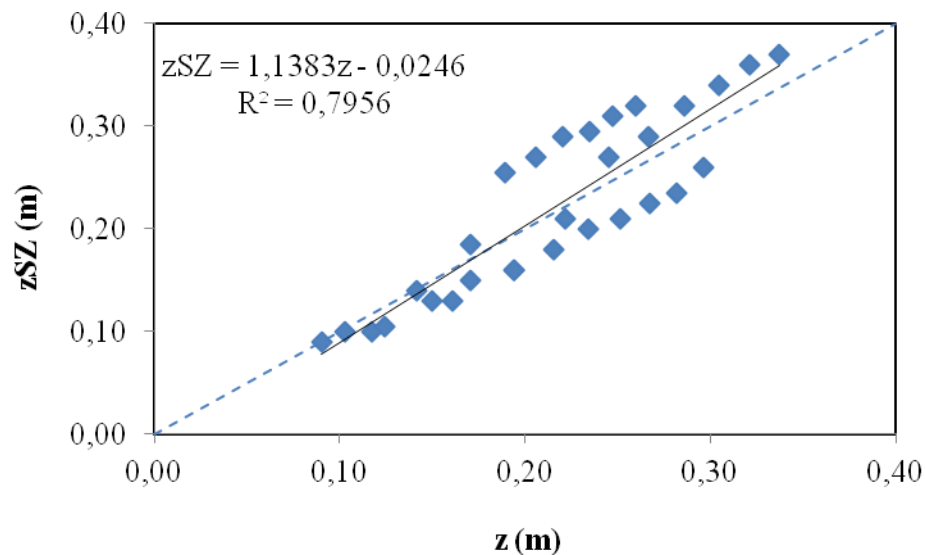


Figura 4. Profundidade estimados pelo modelo SZR versus profundidade observados.

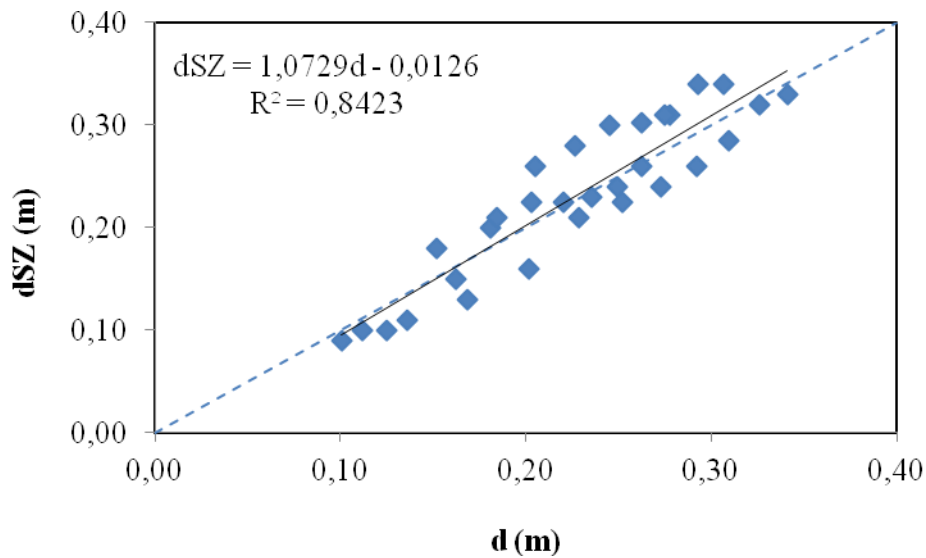


Figura 5. Largura estimados pelo modelo SZR versus largura observados.

A Tabela 4, apresenta os valores de profundidade (zH) e largura (dH), respectivamente, estimados pelo modelo HYD, juntamente com os valores observados em campo.

Tabela 4. Valores estimados pelo modelo HYDRUS-2D

q	V	d	z	dH	zH
(L h ⁻¹)	(L)	(m)			
2	1	0,10	0,10	0,17	0,15
2	2	0,13	0,13	0,20	0,20
2	3	0,16	0,16	0,23	0,23
2	4	0,21	0,21	0,25	0,26
2	5	0,23	0,27	0,27	0,28
2	6	0,24	0,29	0,28	0,30
2	7	0,26	0,32	0,30	0,33
2	8	0,29	0,34	0,31	0,34
2	9	0,32	0,36	0,32	0,36
2	10	0,33	0,37	0,33	0,38
4	1	0,10	0,10	0,17	0,14
4	2	0,18	0,14	0,20	0,18
4	3	0,20	0,15	0,22	0,21
4	4	0,26	0,16	0,25	0,24
4	5	0,28	0,18	0,26	0,27
4	6	0,30	0,20	0,28	0,29
4	7	0,30	0,21	0,29	0,31
4	8	0,31	0,23	0,30	0,33
4	9	0,34	0,24	0,31	0,34
4	10	0,34	0,26	0,32	0,35
8	1	0,09	0,09	0,16	0,13

8	2	0,11	0,11	0,20	0,18
8	3	0,15	0,13	0,22	0,21
8	4	0,21	0,19	0,24	0,24
8	5	0,23	0,26	0,25	0,26
8	6	0,23	0,27	0,27	0,28
8	7	0,23	0,29	0,28	0,30
8	8	0,24	0,30	0,30	0,32
8	9	0,26	0,31	0,31	0,33
8	10	0,31	0,32	0,32	0,35

As Figuras 6 e 7 representam comparações dos valores de profundidade e largura, respectivamente, estimados pelo modelo HYD, comparados aos valores observados em campo.

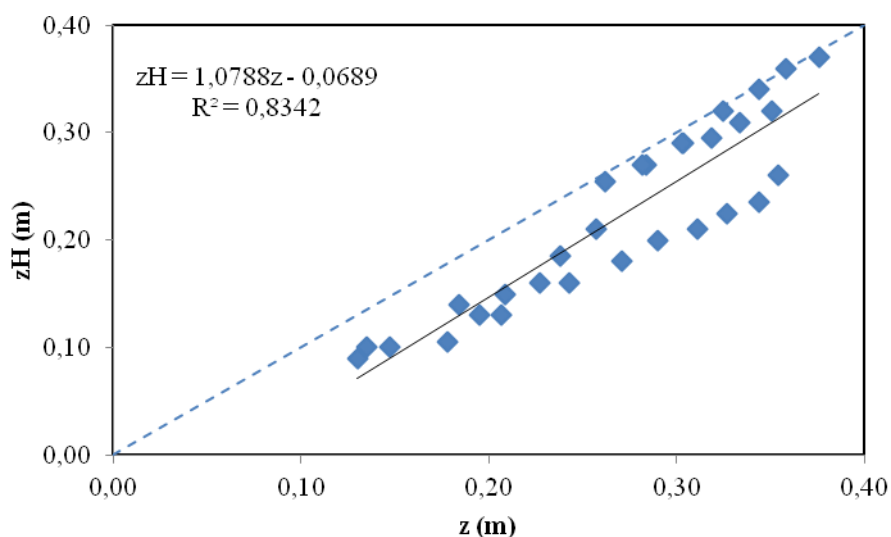


Figura 6. Profundidade estimados pelo modelo HYD versus profundidade observados.

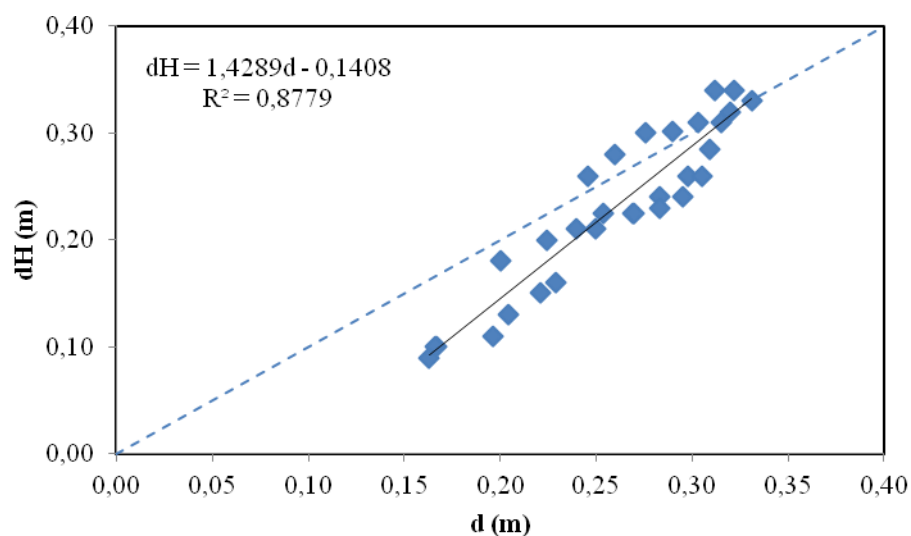


Figura 7. Largura estimados pelo modelo HYD versus largura observados.

Observa-se na Tabela 5, em valores médios, o coeficiente angular (b) apresentou um erro na ordem de 11%, o erro padrão da estimativa (SEE) em apenas 5%, um aceitável coeficiente de determinação ($R^2=0,84$) e elevado índice de ajuste (d) de 0,90, representando que na média os dois modelos estudados possuem um bom ajustamento das dimensões do bulbo molhado.

Ao analisar os indicadores individualmente, verificou-se que, para o coeficiente linear (a), o modelo SZR apresentou os menores erros, em 1% e 2%, para a estimativa das dimensões horizontal e vertical, respectivamente, do bulbo molhado.

Para o coeficiente angular, os melhores resultados apresentados foram: a profundidade estimada pelo modelo HYD ($b=1,08$) e a distância lateral estimada pelo modelo SZR ($b=1,07$), ainda para este indicador, verificou-se um erro elevado de 43% para a distância lateral estimada pelo modelo HYD.

Observa-se que todos os valores de erro padrão da estimativa (SEE) e coeficiente de determinação (R^2) podem ser considerados bons, por apresentarem índices próximos ao ideal ($SEE=0$ e $R^2=1,00$).

Verificou-se ainda que os valores de índice de concordância (d) que mais se aproximaram da unidade foram aqueles estimados pelo modelo SZR.

Tabela 5. Indicadores lineares e estatísticos

	n	a	b	SEE	r²	d
dH	30	0,14 a	1,43 a	0,05 a	0,88 a	0,85 a
zH	30	0,07 a	1,08 a	0,06 a	0,83 a	0,85 a
dSZ	30	0,01 a	1,07 a	0,03 a	0,84 a	0,95 a
zSZ	30	0,02 a	1,14 a	0,04 a	0,80 a	0,94 a
média	30	0,05	1,11	0,05	0,84	0,90

Número de observações (n); coeficiente linear da reta (a); coeficiente angular da reta (b); somatória dos erros estimados (SEE); coeficiente de determinação (r^2) e índice de ajuste médio (d). Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si a nível de 1% de probabilidade pelo teste Tuckey

Observou-se com os resultados de regressão linear junto aos indicadores estatísticos, que as dimensões estimadas pelo modelo SZR apresentam conjunto de dados, tanto para largura, quanto para profundidade, próximas às condições reais observadas em campo durante o experimento.

Embora que o modelo SZR seja empírico, este apresentou indicadores estatísticos melhores para a estimativa da distância e profundidade do bulbo molhado, quando comparado com as estimativas realizadas pelo modelo HYD. Estes resultados se devem ao fato que o modelo SZR utiliza como base, as dimensões do bulbo molhado observadas em campo, enquanto o modelo HYD necessita de informações geométricas, temporais, físico-hídricas do solo, além da necessidade das medidas dos diâmetros da poça saturada e da frente de molhamento coletadas durante o processo de infiltração de água no solo.

6 CONCLUSÕES

1. De acordo com os resultados obtidos, se concluiu que os modelos de Schwarzttaman-Zur Reproduzido e Hydrus-2D podem estimar as dimensões do bulbo molhado, auxiliando nos projetos de dimensionamento de irrigação para as condições estudadas neste trabalho,
2. Recomenda-se a utilização do modelo Schwarzttaman-Zur Reproduzido devido à sua simplicidade de operação.

7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

CHRISTOFIDIS, D. Recursos hídricos dos cerrados e seu potencial de utilização na irrigação. **ITEM**, Brasília, n. 69/70, p. 87-97, 2006.

DASBERG, S.; OR, D. **Drip Irrigation**. Berlin: Springer, 162p, 1999.

FERERES, E.; SORIANO, M.A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 2, p. 147-159. 2007

GENUCHTEN, M.T. van. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.892-898, 1980.

GENUCHTEN; M. T. van; SIMUNEK, J. Integrated modeling of vadose zone flow and transport processes. **In**: FEDDES, R.A.; ROOIJ, G.H.; DAM, J.C. van. Unsaturated zone modeling: Progress, challenges na applications. Dordrecht: Kluwer Academic, Cap. 2, p. 37-69, 2004

LOPES, L.N.; SOUZA, C.F.; SANTORO, B.L. Utilização da TDR para monitoramento da solução de nitrato de potássio em latossolo vermelho-amarelo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n.5, p.932-947, 2010.

MAIA, C.E. Aplicação de modelos matemáticos na estimativa do volume de bulbo molhado por gotejamento superficial em diferentes tipos de solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 11, p. 2301-2309, 2010.

PAULINO, J.; FOLEGATTI, M.V.; ZOLIN, C.A.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R.M.; JOSÉ, J.V. Situação da agricultura irrigada no Brasil de acordo com o censo agropecuário 2006. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 2, p. 163-176, 2011.

MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N.; LIBARDI, P. L.; FOLEGATTI, M.V. Simulação do deslocamento de potássio em colunas verticais de solo não-saturado. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3,p. 677-685, 2005.

SCHWARTZMAN, M.; ZUR, B. Emitter spacing and geometry of wetted soil volume. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 112, p.242-253, 1986.

SIMUNEK, J.; VOGEL, T.; VAN GENUCHTEN, M. **SWMS 2D: simulating water flow and solute transport in two-dimensional variably saturated media**. Riverside, California: US Salinity Lab, p.151, 1993.

SKAGGS, T. H.; TROUT, T. J. SIMUNEK, J.; SHOUSE, P. J. Comparison of Hydrus-2D simulations of drip irrigation with experimental observations. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 130, n.4, p. 304-310, 2004

SOUZA, C.F.; MATSURA, E.E.; FOLEGATTI, M.V.; COELHO, E.F.; OR, D. Sondas de TDR para a estimativa da umidade e da condutividade elétrica do solo. **Irriga**, Botucatu, v.11, n.1, p.12-25, 2006.

SOUZA, C.F.; MARTINS, R.B.T.; FOLEGATTI, M.V.; DAROZ, T.H.C.; SILVA, E.F.F. Uso da reflectometria no domínio do tempo (TDR) para avaliar a distribuição de nitrato no volume molhado do solo sob fertirrigação. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 19, p. 112-122, 2007.

SOUZA, C.F.; FOLEGATTI, M.V.; OR, D. Distribution and storage characterization of soil solution for drip irrigation. **Irrigation Science**, New York, v.27, n.4, p.277-288, 2009.