

**Caracterização físico-hídrica do solo argissolo amarelo para estabelecimento de projeto e manejo da irrigação**

Richard Alberto Rodríguez Padrón<sup>1</sup>, Helena Maria Camilo de Moraes Nogueira<sup>1</sup>, Roxanna Rosales Cerquera<sup>2</sup>, Gonçalves Dauala Albino<sup>3</sup>, Cicero Urbanetto Nogueira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, PPGEA – Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola – Nível Doutorado, Santa Maria – RS.

<sup>2</sup>Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM – Curso Técnico em Agropecuária – Nível Técnico, Santa Maria – RS.

<sup>3</sup>Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, PPGEA – Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola – Nível Mestrado, Santa Maria – RS.

rarpadron@gmail.com, baxinha.camilo@gmail.com, roxannacerquera@gmail.com,  
goncalvesdauala07@gmail.com, ciceronogueira4@gmail.com

**Resumo:** A classificação de parâmetros físico-hídrica do solo permite gerar uma base de informações para o manejo agrícola, irrigação, cálculos de projetos de irrigação e modelagem hidrológica de forma adequada ou sustentável. O estudo visa caracterizar os parâmetros físico-hídricas do solo argissolo amarelo para o estabelecimento de projetos e manejos em irrigação por gotejamento. O experimento foi conduzido entre setembro a março nos anos 2013-2014 e 2014-2015. As amostras de solo foram coletadas em cinco profundidades (0-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-0,8 m). Determinou-se a capacidade de campo, a densidade do solo, a curva de retenção de água, a infiltração em solo drenado e não drenado e também a avaliação do bulbo molhado. Efetuou-se o modelo para estimar o diâmetro do bulbo molhado em função da vazão e do tempo. A textura do solo em profundidades analisadas foi classificada como franca e argilosa. A capacidade de campo variou de 0,32 a 0,36 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup>, o conteúdo volumétrico de água de 0,183 a 0,139 m<sup>3</sup>.m<sup>-3</sup> e a densidade do solo de 1,42 a 1,35 kg.dm<sup>-3</sup> em profundidades de 0-0,2 e 0,4-0,6 m, respectivamente. A velocidade de infiltração básica em solo drenado e não drenado foi de 1,3 e 1,5 cm.h<sup>-1</sup>, respectivamente (p≥5%). A vazão do emissor e as características físicas do solo exerceram efeito diferenciado na forma do bulbo molhado. A classificação de parâmetros físico-hídrica do solo é necessária para a economia da água e o melhor aproveitamento da umidade do solo pelas plantas, além de definir o comportamento do perfil do solo.

**Palavras chave:** Planejamento, capacidade de campo, infiltração, densidade aparente, bulbo molhado.

**Characterization physical-hydric of the yellow argisol soil for establishment of project and irrigation management**

**Abstract:** The classification of physical and hydric soil parameters permit to generate a database of information for agricultural management, calculations of irrigation projects and hydrologic model appropriate or sustainable way. The experiment was conducted from September to March the years 2013-2014 and 2014-2015. Soil samples were collected in five depths (0-0.2, 0.2-0.4, 0.4-0.6, 0.6-0.8 m). It was determined: wet bulb, field capacity, soil density, the curve of water retention, infiltration into soil drained and not drained. Was

effected, model of estimate the diameter of the wet bulb in function of flow and time. The soil texture in the analyzed depth was classified as frank and clayey. The field capacity ranged from 0.32 to 0.36  $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$ , the volumetric water content of 0.183 to 0.139  $\text{m}^3.\text{m}^{-3}$  and soil density of 1.42 to 1.35  $\text{kg}.\text{dm}^{-3}$  in the depths of 0-0.2 and 0.4-0.6 m, respectively. The basic infiltration velocity of soil drained and not drained it was 1.3 and 1.5  $\text{cm}.\text{h}^{-1}$ , respectively ( $p \geq 5\%$ ). The emitter flow and physical characteristics of the soil exert effect on the way of the wet bulb. The classification of physical and hydric soil parameters is necessary for water saving and better use of soil moisture by plants, in addition to defining the behavior of the studied soil profile.

**Key words:** Planning, field capacity, infiltration, bulk density, wet bulb.

### Introdução

O significado de todas as propriedades físicas do solo no crescimento e produção dos cultivos junto às propriedades químicas e biológicas é considerável para a produtividade dos solos (Olalla, 2005). Em ensaios e planejamento de irrigação, o solo pode ser classificado de acordo com sua aptidão para a irrigação. Para o manejo adequado da irrigação é necessário que se conheçam algumas das principais propriedades físico-hídricas do solo como: a densidade do solo; a capacidade de campo; o ponto de murcha permanente; a curva característica de retenção de água; a infiltração e em irrigação por gotejamento a determinação do bulbo molhado (Couto e Sans, 2002).

O conhecimento das propriedades físico-hídricas dos solos são fundamentais para o estabelecimento de boas práticas agrícolas e a implementação de técnicas de irrigação e drenagem, entre outros. Os fatores físicos de crescimento vegetal quando é inadequado poderão promover quedas (redução) na produtividade ou elevação dos custos de produção, principalmente no sistema de irrigação. Segundo, Vaz et al. (2004) esta caracterização detalhada possibilita estudos mais precisos sobre o comportamento da água no solo, estando diretamente relacionada a disponibilidade de água às plantas. Também, Nascimento et al. (2012) afirmaram que esse conhecimento é essencial para que as culturas possam expressar o seu rendimento máximo, possibilitando o correto dimensionamento dos sistemas de irrigação e a exploração mais racional dos recursos hídricos e do solo.

O monitoramento do conteúdo de água do solo pode ser obtido por meio de métodos diretos e indiretos. A gravimetria é considerada o método direto padrão enquanto os métodos indiretos são aqueles que dependem das propriedades físicas associadas à solução dos solos para se determinar o conteúdo de água do solo (Primo et al., 2015).

A partir de testes em laboratório, a capacidade de campo esta associada a uma determinada sucção de água, sendo comumente adotado o valor de 0,033 MPa para solos argilosos e de 0,01 MPa para solos arenosos. Entretanto, Hillel (1980) afirmou que nenhum

método de laboratório é capaz de representar perfeitamente a dinâmica de água no perfil, ressaltando que o conteúdo de água relativo ao potencial de 0,033 MPa ou de 0,01 MPa é apenas correlacionável com a umidade na capacidade de campo, mas não sendo a capacidade de campo em si, confirmando a necessidade da sua mensuração direta.

A variabilidade do solo é um dos fatores que incidi no desenho do sistema de irrigação por gotejamento, influenciando no comportamento da distribuição da umidade do solo para determinar a dose, o tempo e intervalo de aplicação. Também, Maia (2010) mencionou que as informações da geometria do bulbo molhado são importantes para o dimensionamento e manejo da irrigação localizada, principalmente para estimar o volume de solo molhado, a vazão do emissor e o tempo de aplicação de água. O conhecimento da forma e do tamanho do volume molhado do solo é um aspecto importante que deve ser considerado para otimizar o uso da água, e evitar a percolação profunda, permitindo definir aspectos importantes tais como lâmina e frequência de irrigação; número de gotejadores e dimensionamento hidráulico (Cook et al., 2006).

A determinação apropriada das propriedades físico-hídricas do solo são fundamentais para o correto manejo das culturas agrícolas e do desenho e manejo da irrigação, apontando a eficiência do uso da água. Deste modo, o objetivo do presente estudo é a caracterização dos parâmetros físico-hídricas do solo argissolo amarelo para o estabelecimento de projetos e manejos em irrigação por gotejamento.

### Material e Métodos

O experimento foi conduzido em campo, entre os meses de setembro a março nos anos 2013-2014 e 2014-2015, na área experimental do Colégio Politécnico da Universidade Federal de Santa Maria, localizada nas coordenadas: latitude 29°41'25"S; longitude 53°48'42"W e altitude de 110 metros. O clima na região é subtropical úmido (Cfa), segundo a classificação de Köppen-Geiger. O solo predominante na região denomina-se como argissolo amarelo distrófico típico de textura franca (Streck et al., 2008). As características químicas do solo se apresentam na (Tabela 1).

**Tabela 1.** Características química do solo da área experimental.

Prof. (m)	pH água	Ca	Mg	Al	(H+Al)	CTC efet.	Saturação (%)		Índice SMP	MO (%)	S	P-Mehlich
		-----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					Al	Base			-----mg dm <sup>-3</sup> -----	
0-0,1	5,8	9,7	3,5	0,2	3,9	13,8	1,6	76,1	6,2	3,3	11,0	14,2
0,1-0,3	5,2	8,5	2,4	0,8	6,6	12,0	7,9	63,4	5,8	2,5	7,1	11,5

Fonte: Laboratório de análise de solo da UFSM.

Nas duas épocas realizadas, em cada ensaio de campo foram coletadas amostras de solo nas profundidades (0-0,2; 0,2-0,4; 0,4-0,6 e 0,6-0,8 m). As amostras coletadas foram utilizadas para a determinação da capacidade de campo, a densidade do solo, a curva de retenção de água e a velocidade de infiltração e, também se avaliou o bulbo molhado. A capacidade de campo foi determinada pelo método direto (ou método *in situ*), esse método consiste na aplicação de uma lâmina de água para saturar o perfil do solo, usando-se um anel de ferro de 1,0 m de diâmetro e 0,5 m de altura com volume de 400 litros. Após a infiltração total da água foram feitas coletas do solo úmido com amostragem indeformadas, utilizando-se um anel de aço (Kopecky), com intervalo a cada 24 horas, até as variações de umidades temporais no perfil se tornarem mínimas. Para a secagem do solo foi utilizado uma estufa elétrica a temperatura de 105°C até massa constante. A massa úmida e seca da amostra foram determinadas com auxílio de uma balança de precisão analítica. Em cada coleta, o anel era coberto por uma lona plástica preta para evitar as perdas por evaporação ou adição de água pela chuva, perfazendo 6 repetições. A densidade do solo foi determinada conforme a metodologia descrita pela (EMBRAPA, 2011). Utilizando-se o anel de aço com amostras de solo de estrutura indeformadas em 6 trincheiras de 0,80 m de profundidade com 4 repetições em cada camada.

A velocidade de infiltração foi determinada através do método dos cilindros concêntricos (Cauduro e Dorfman, 1988; EMBRAPA, 1979). Foram usados dois anéis instalados de forma concêntrica na vertical, sendo o menor com diâmetro de 20 cm e o maior de 40 cm, ambos de 40 cm de altura. As leituras das lâminas infiltradas foram realizadas de 1 a 10 min com intervalo de 1 min, de 10 a 60 min com intervalo de 5 min e depois de 60 min com intervalos de 30 min até atingir a variação mínima próximo à 360 minutos (6 horas), sendo 8 repetições. A infiltração foi feita em solo não drenado (anos 2013-2014) e em solo drenado (anos 2014-2015), com dreno de 1,0 m de profundidade. Com os dados obtidos, calculou-se a velocidade de infiltrada e a infiltração acumulada.

Para a determinação do bulbo molhado foi utilizado um sistema de irrigação portátil, onde foram dispostos 10 emissores em uma linha, em uma tubulação de polietileno de 16 mm de diâmetro e 10 m de comprimento abastecidos com um depósito de água de 200 litros a 2 m altura. Os gotejadores tinham distribuição aleatoriamente na área experimental. Foram feitas 6 repetições com quatro diferentes tempos 5, 15, 30 e 60 min e, dentro de cada tempo, as vazões 1, 2, 3 e 4 L.h<sup>-1</sup>, respectivamente. O espaçamento entre os emissores foi de maneira que não houvesse sobreposição do bulbo molhado. Foi determinado o diâmetro e a profundidade máxima, em cada 5 e 10 cm de profundidade, em seguida foi medido o comprimento e a

profundidade para a descrição do bulbo. Para a realização das medições foram abertas trincheiras no centro do bulbo molhado e, com auxílio de uma fita métrica foram feitas leituras dos valores do diâmetro e da profundidade.

Além dessas avaliações, monitorou-se a umidade do solo na profundidade de 0-0,20 m, utilizando-se sondas TDR-100 (*Time Domain Reflectometer*). Para obter adequada relação entre a leitura do TDR e a umidade do solo foi feita a curva de calibração, associaram-se os valores de umidade volumétrica às leituras da constante dielétrica obtidas a campo. Para a obtenção da umidade volumétrica foram coletadas amostras do solo de estrutura indeformadas submetidas a diferentes valores de umidade.

Utilizou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro, coeficiente de correlação ( $R^2$ ) e teste F a 5% de probabilidade de erro para verificar as análises dos dados e as relações entre os diferentes atributos avaliados e os gráficos foram feitos utilizando-se o programa SigmaPlot<sup>®</sup> versão 12,5.

### Resultados e Discussão

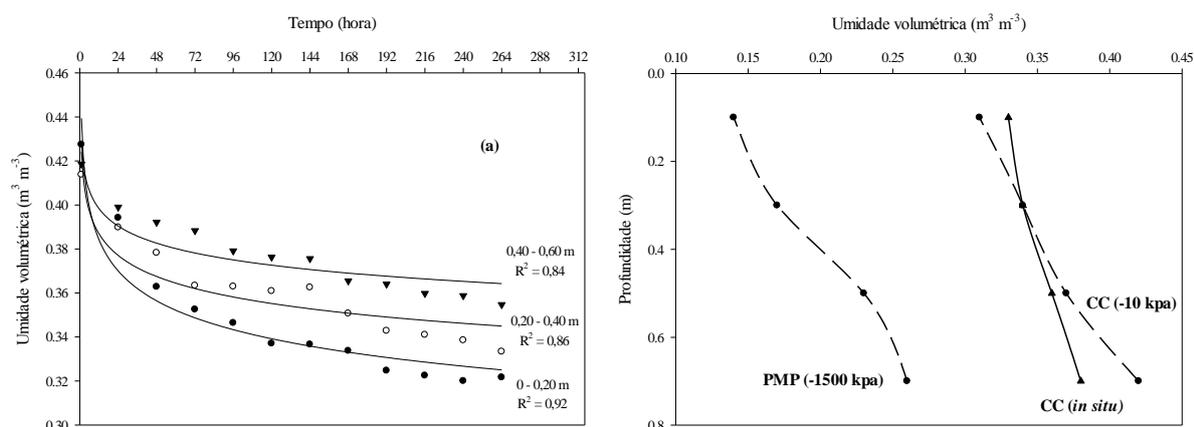
Na Tabela 2, se apresenta a característica do solo da área estudada, os valores médios percentuais de argila, silte e areia permitiram classificar a textura dos diferentes profundidades do perfil do solo como franca e argilosa. Observou-se a tendência do aumento no conteúdo de argila em profundidade e a diminuição do percentual de areias grossa e fina. A translocação de argila pode ser evidenciada pelos gradientes textuais. Os teores de argila variaram de 20,14 a 54,94% e os de silte de 41,95 a 28,86%. As maiores concentrações de areia fina e grossas percentuais se apresentaram no perfil de 0-0,2 m. Também nota-se a homogeneidade na distribuição granulométrica ao longo do perfil. Na camada superficial observa-se que os valores de macro porosidade foram maiores que aqueles das demais profundidades do perfil do solo, enquanto que a micro e porosidade total foram aumentando nas profundidades.

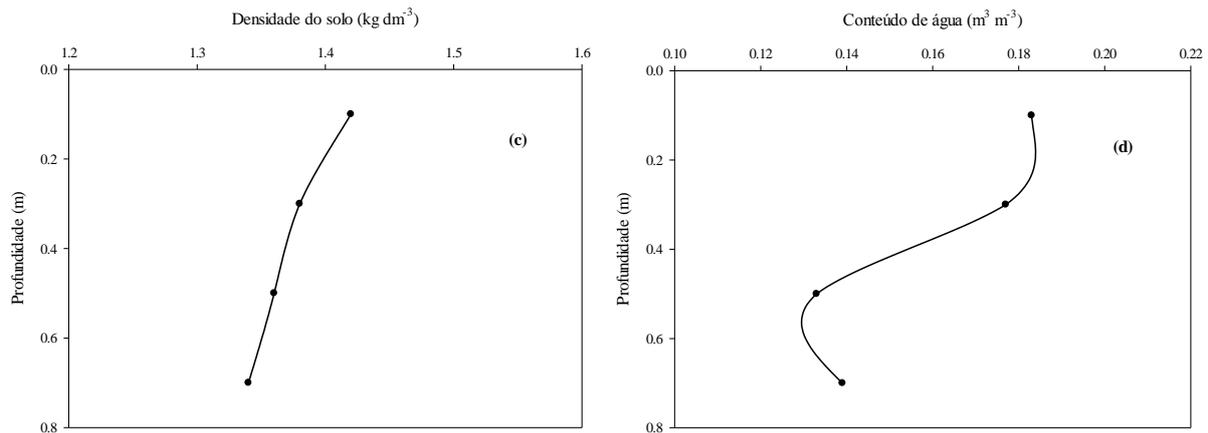
**Tabela 2.** Características física do solo argissolo amarelo.

Profundidade (m)	Porosidades (%)			Textura (%)				Classificação textural
	Macro	Micro	Total	Argila	Silte	Areia fina	Areia grossa	
0-0,2	10,28	33,08	43,36	20,14	41,95	30,95	6,97	Franca
0,2-0,4	7,06	37,92	44,99	29,44	38,30	26,96	5,31	Franco-argilosa
0,4-0,6	7,85	39,20	47,05	46,13	26,16	23,34	4,37	Argila
0,6-0,8	4,26	43,54	47,79	54,94	28,86	14,02	2,18	Argila

Fonte: Laboratório de análise de solo da UFSM.

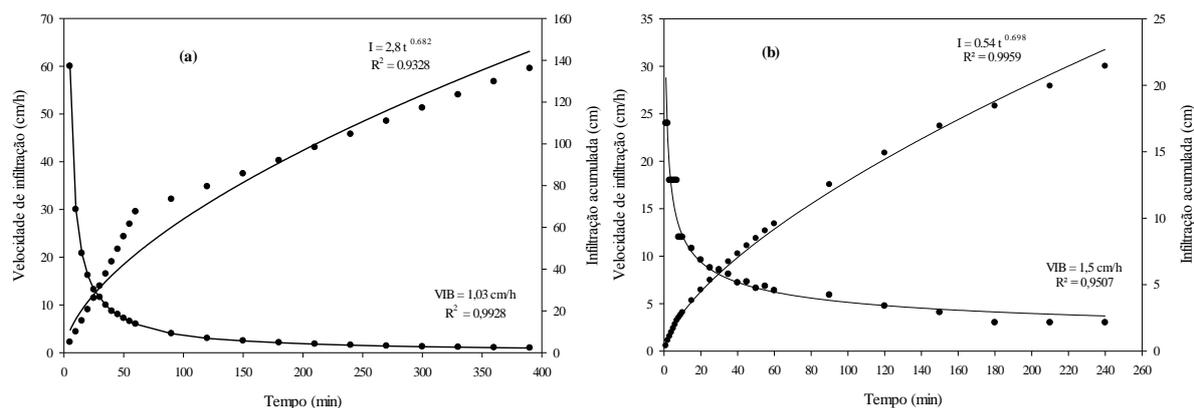
As curvas de retenção de água foram semelhantes em todas as profundidades (Figura 1a). O armazenamento de água na condição de solo saturado variou de 0,41 a 0,43  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ . A capacidade de campo variou de 0,32  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  na camada (0-0,2 m) e de 0,36  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  na camada 0,4-0,6 m (Figura 1b). O conteúdo de água disponível é a diferença entre a umidade da capacidade de campo (CC) e a umidade do ponto de murcha permanente (PMP), o teor de água variou de 0,183 a 0,139  $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$  na camada 0-0,2 e 0,4-0,6 m, respectivamente (Figura 1d). As variações observadas entre as curvas podem ser relacionadas à influência da estrutura e composição dos materiais em termos de matéria orgânica e argila, o que determina alterações na quantidade e distribuição de poros. Na área em estudo para obter a curva retenção de água foi preciso 264 horas por sua retenção de humidade nos perfil do solo. Twarakavi et al. (2009), baseando-se no método de tempo de redistribuição afirmaram que os solos com textura arenosa atingem a capacidade de campo em torno de três dias, para solos com textura média e argilosa é alcançada entre seis a oito dias, quando o perfil do solo é previamente submetido a uma lâmina de infiltração na tentativa de atingir a saturação. Os resultados estão de acordo com Hillel (1980), que afirmou que quanto mais baixos os teores de água, mais resistente fica a matriz do solo, conferindo a este maior resistência às deformações provocadas por pressões externas. A densidade aparente do solo variou de 1,42 a 1,35  $\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$  (Figura 1c). Observa-se o decrescimento da densidade aparente no perfil do solo. Segundo Hill et al. (1985), o aumento da densidade do solo pode proporcionar maior quantidade de água disponível às plantas, porém esses efeitos variam com a granulometria e o teor de matéria orgânica no solo.





**Figura 1.** Determinação da umidade volumétrica em função do tempo (a), a umidade volumétrica (b); a densidade aparente do solo (c) e o conteúdo de água disponível (d), com determinação (*in situ*) do solo argissolo amarelo.

A velocidade de infiltração básica no solo não drenado e drenado é mostrada na (Figura 2a e 2b). A análise dos dados mostraram valores significativos pelo teste de Tukey ( $p \geq 0,05$ ), tendo em solo não drenado a velocidade de infiltração básica foi de  $1,03 \text{ cm.h}^{-1}$  e em solo drenado  $1,5 \text{ cm.h}^{-1}$ , com coeficiente de variação de 12,65%. Os valores da infiltração são considerados médios entre  $0,5\text{-}1,5 \text{ cm.h}^{-1}$  e altos entre  $1,5\text{-}3,0 \text{ cm.h}^{-1}$ , segundo classificação sugerida por (Reichardt, 1990). Observa-se que a menor taxa de infiltração inicial ocorreu no solo não drenado ( $60 \text{ cm.h}^{-1}$ ) e no solo drenado ( $24 \text{ cm.h}^{-1}$ ). A infiltração acumulada foi maior no solo não drenado (140 cm) e no solo drenado (23 cm). Para estimar a infiltração acumulada em determinado período de tempo os dados para cada solo foram ajustados à equação de Kostiakov. O coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,93$  e  $0,99$ ) foram elevados, mostrando que houve um bom ajuste entre os dados observados e os estimados. A equação de Kostiakov, embora empírica, é bastante útil em aplicações de irrigação e ajusta-se razoavelmente bem para uma grande quantidade de solos (Libardi, 2001). Depois de decorrido o período de infiltração mais intensa, houve uma diminuição gradual da velocidade de infiltração no decorrer do tempo, chegando-se a uma velocidade de infiltração estável em um período de tempo da infiltração. Para o solo não drenado o tempo de estabilização da infiltração foi de 390 horas e no solo drenado de 240 horas.



**Figura 2.** Velocidade de infiltração básica (VIB) e infiltração acumulada (I) em função do tempo, em solo não drenado (a) e solo drenado (b) em solo argissolo amarelo.

Na Figura 3, apresenta-se o perfil longitudinal do bulbo molhado, considerando-se a dimensão do raio no eixo horizontal e a profundidade no eixo vertical, em função do tempo e da vazão do emissor. Nos tempos de 5, 15 e 30 min, o umedecimento do emissor de  $1 \text{ L.h}^{-1}$ , apresentaram umidade uniforme no perfil do solo (Figura 3a). A vazão do emissor e as características físicas do solo exercem efeito diferenciado na forma do bulbo molhado. Dentre os fatores que influenciam a formação do bulbo molhado, pode-se destacar o tipo de solo (estratificação, estrato arenoso, estrato argiloso e obstáculo impermeável), a vazão do emissor e o tempo de irrigação (Pizarro, 1996).

No mesmo tempo de aplicação da água, o emissor de  $1 \text{ L.h}^{-1}$  apresentou raio de 10 cm, enquanto que o emissor de  $4 \text{ L.h}^{-1}$  raio de 18,45 cm e também a maior profundidade, demonstrando que o aumento da vazão do emissor cresce o escoamento horizontal e diminui no movimento vertical (Figura 3b). Nesse tipo de solo, usando-se emissores de baixa vazão evita o escoamento superficial, melhora a percolação sub-superficial e apresenta menor área de exposição para a evaporação da água do solo. Também, Júnior et al. (2014) trabalhando em solo arenoso e argiloso encontrou resultados similares e, um aumento na vazão do emissor resultou em acréscimo no movimento horizontal em detrimento do movimento vertical para um mesmo tipo de solo e um mesmo volume de água aplicado. Esses resultados estão em concordância com (Bresler, 1978; Schwartzman e Zur, 1986; Keller e Bliesner, 1990; Souza e Matsura, 2004).

Segundo, Barreto et al. (2008) usando emissores de maior vazão, a taxa de aplicação da água pode ser superior a capacidade de infiltração do solo, consequentemente, apresentando um bulbo com maior largura. Assim, tanto altas como baixas vazões, juntamente com o tempo de irrigação poderão apresentar vantagens e desvantagens, porém a

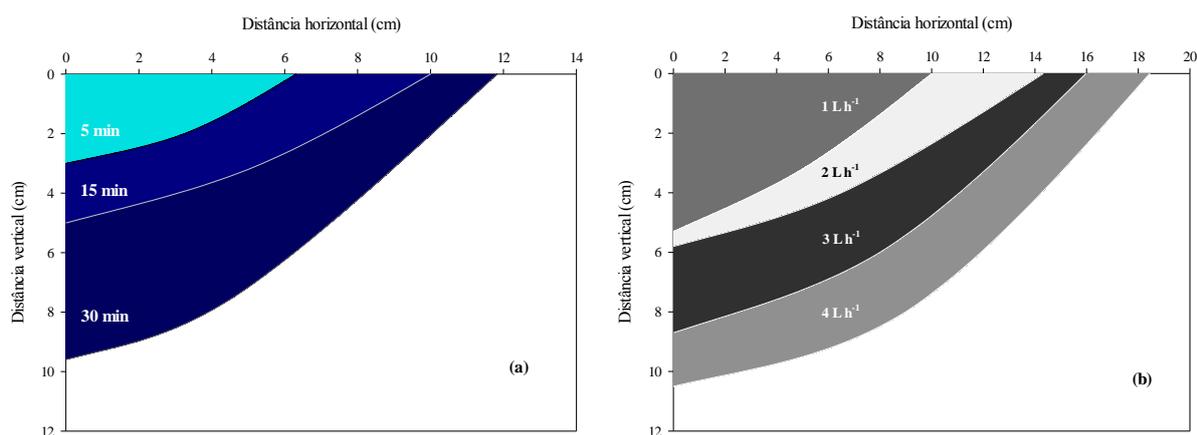
combinação da vazão com o tempo serão importantes para a obtenção do volume de solo molhado, além de que a determinação da área superficial molhada fornece informação da perda por evaporação direta da água no solo.

Sendo assim, para cultivos hortícolas é recomendado usar-se emissor de baixa vazão e pouca distância entre cada emissor para melhorar o solapamento entre emissores, enquanto que nos cultivos frutícolas deve-se ter alta vazão para aumentar a área molhada onde se tem o desenvolvimento das raízes, pois a porcentagem de sombreamento pela planta é maior evitando a evaporação e também vai depender do desenho do sistema de irrigação.

Monitorou-se a umidade do solo na camada (0-0,20 m) por meio do TDR nos tempos de 15 e 60 min, para a vazão estudada, os resultados demonstraram que não ocorreu variação na umidade do solo nos tempos.

Com os dados médios obtidos na Tabela 3, efetuou-se o modelo para estimar o diâmetro do bulbo molhado em função da vazão e do tempo (Equação 1), onde,  $D$ : Diâmetro do bulbo molhado (cm);  $v$ : Vazão de emissor ( $L.h^{-1}$ );  $t$ : Tempo de irrigação (min) e coeficiente de determinação ( $R^2=0,927$ ). Maia et al. (2010) reaplicou o modelo com regressão potencial para avaliar as dimensões do bulbo molhado em função da vazão do emissor e do tempo de aplicação de água, também foi usado com bons resultados em outros trabalhos (Li et al., 2004; Thabet e Zayani, 2008).

$$D = 6,216 + 5,819 \times v + 0,439 \times t \quad (1)$$

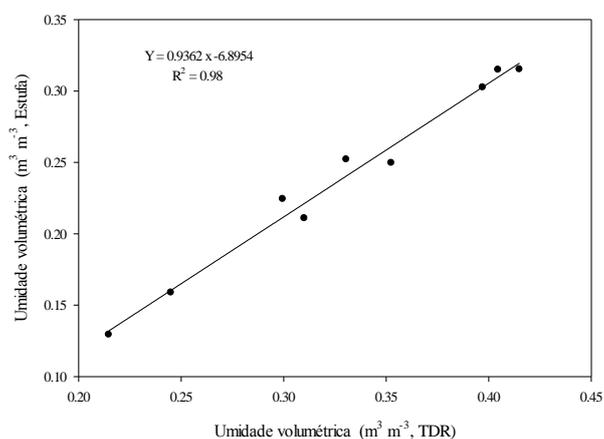


**Figura 3.** Perfil longitudinal do bulbo molhado do emissor superficial de  $1 L.h^{-1}$  em função dos tempos 5, 15 e 30 min (a) e em função da vazão de 1, 2, 3 e 4  $L.h^{-1}$  (b) para o solo argissolo amarelo.

**Tabela 3.** Dados médios do diâmetro e da profundidade máxima de emissores superficial de 1, 2, 3 e 4 L.h<sup>-1</sup>, em solo Argissolo Amarelo.

Vazão do gotejador (L.h <sup>-1</sup> )	Tempo (min)	Diâmetro máximo (cm)	Profundidade máxima (cm)	Umidade Volumétrica (m <sup>3</sup> .m <sup>-3</sup> )
1	5	12,7	3,8	0,14
	15	20,0	5,3	
	30	23,7	9,6	
	60	32,7	27,3	
2	5	19,1	3,6	0,15
	15	28,7	5,8	
	30	35,9	11,1	
	60	45,3	32,3	
3	5	22,3	5,2	0,25
	15	32,0	8,7	
	30	41,0	14,8	
	60	50,5	37,5	
4	5	25,8	7,2	0,25
	15	36,9	10,5	
	30	44,3	18,2	
	60	54,0	48,2	

Na Figura 4, apresenta-se a equação de calibração do TDR obtida a partir de análises de regressão linear, considerando as medidas volumétricas e as obtidas com o TDR, o coeficiente de determinação do modelo determinado foi de ( $R^2=0,98$ ).

**Figura 4.** Calibração do TDR-100 para o solo Argissolo Amarelo no modelo linear pelo método de estufa à profundidade de 0-0,20 m.

### Conclusão

Os resultados dessas análises são importantes para os projetos e os manejos do sistema de irrigação por gotejamento, pois a combinação destes é necessária para a economia da água

e o melhor aproveitamento da umidade do solo pelas plantas, além de definir o comportamento do perfil do solo estudado.

### Referências

- BARRETO, C. V. G.; SAKAI, E.; DE MATOS, P. R. C.; ARRUDA, F. B. Técnica de avaliação de bulbo úmido por múltiplos cortes em trincheira. **Irriga**, Botucatu, v.13, n.8, jun. 2008.
- BRESLER, E. Analysis of trickle irrigation with application to design problems. **Irrigation Science**, v.1, n.1, p. 3-17, 1978.
- CAUDURO, F. A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e de campo para irrigação e drenagem**. Porto Alegre, Pallotti, 1988. 216p.
- 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.
- COUTO, L.; SANS, L. M. A. **Requerimento de água das culturas**. Embrapa Milho e Sorgo. 10 p. 2002.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. Rio de Janeiro, 235 p. 1979.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, p. 230, 2011.
- HILL, R.L.; HORTON, R.; CRUSE, R. M. Tillage effects on soil water retention and pore size distribution of two Mollisols. **Soil Science Society of America Journal**, v.49, p. 1264-1270, 1985.
- Hillel, D. **Introduction to soil physics**. New York, Academic Press, caps. 2, 4, 8, 12 e 13. 1980.
- JÚNIOR, J. B. T.; MARINHO, L. B.; SOUZA, C. F.; FRIZZONE, J. A. Desenvolvimento de um modelo numérico para modelagem do bulbo molhado em irrigação por gotejamento. **Irriga**, Botucatu, v.1, p. 11-20, 2014.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Chapman and Hall, p. 652, 1990.
- LI, J.; ZHANG, J.; RAO, M. Wetting patterns and nitrogen distributions as affected by fertigation strategies from a surfasse point source. **Agricultural Water Management**, v.67, n.2, p. 89-104, 2004.
- LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba, p. 497, 2001.

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

NASCIMENTO, F. E.; PEREIRA F. A. C.; NETTO, A. O. A.; CAMPECHE L. F. D. S. M.; SANTOS C. A. Comportamento físico-hídrico dos solos do perímetro irrigado curaca em Juazeiro/Ba. **Irriga**, Botucatu, v.17, n.4, p. 435-447, outubro - dezembro, 2012.

OLALLA, M. F.; LÓPEZ, F. P.; CALERA, B. A. **Agua y Agronomía**. Mundi-Prensa S.A. p. 409-431, 2005.

PIZARRO, F. **Riego localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión, exudación**. Madrid: Mundi-Prensa, p. 511, 1996.

PRIMO, T. D. A. J.; SILVA, T. G. F. D.; SIQUEIRA, S. M. S.; MOURA, M. S. B. D.; SOUZA L. S. B. D. Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação do armazenamento de água em um argissolo cultivado com palma forrageira. **Revista Ceres**, Viçosa, v.62, n.1, p. 020-029, jan/fev, 2015.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. Piracicaba, SP: Manole, 1990. 188p.

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.

SOUZA, C.F.; MATSURA, E.E. Distribuição da água no solo para o dimensionamento da irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.8, n.1, p.7-15, 2004.

STRECK, E.V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C.; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2 ed. Porto Alegre, EMATER/RS-ASCAR, p. 222, 2008.

THABET, M.; ZAYANI, K. Wetting patterns under trickle source in a loamy sand soil of south Tunisia. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences**, v.03, n.1, p. 38-42, 2008.

TWARAKAVI, N. K. C.; SAKAI, M.; SIMUNEK, J. An objective analysis of the dynamic nature of field capacity. **Water Res. Res.**, v.45, p. 1-9, 2009.

VAZ, C. M. P.; IOSSI, M. F.; NAIME, J. M.; MACEDO, A. **Validação de modelos para estimativa indireta da capacidade de retenção da água nos solos**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Comunicado Técnico, 61). 2004.

---

**Recebido para publicação em: 02/02/2015**

**Aceito para publicação em: 26/03/2015**