

## Mini sensor Irrigas® na determinação da curva de retenção de água em substratos para hortaliças

Ronaldo S de Liz<sup>1</sup>; Adonai G Calbo<sup>2</sup>; Osmar A Carrijo<sup>1</sup>; Carlos Alberto da S Oliveira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Embrapa Hortaliças, C. Postal 218, 70359-970 Brasília-DF; <sup>2</sup>Embrapa Instrumentação Agropecuária, C. Postal 741, 13560-970 São Carlos-SP; <sup>3</sup>UnB, Campus Darci Ribeiro, Asa Norte, 79919-970 Brasília-DF; setti@cnph.embrapa.br; carrijo@cnph.embrapa.br; adonai@cnpdia.embrapa.br; dasilvao@unb.br;

### RESUMO

No Brasil, ainda não existe um método padrão, confiável, para a determinação da curva de retenção de água em todos os tipos de substratos existentes para o cultivo de hortaliças, principalmente para substratos à base de fibras longas e curtas, como é o caso do substrato de coco verde. Assim, neste trabalho, o objetivo foi obter a curva de retenção de água em substratos para o cultivo de hortaliças, utilizando-se um mini sensor Irrigas®. Foram utilizados os substratos de coco verde, sem compostagem, compostado durante 45; 90; 135 e 180 dias e o substrato Plantmax®, utilizado como controle. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso no esquema fatorial 6 x 11 (substrato x tensão) com três repetições. Para o substrato S0; S45; S90; S135 e S180 as médias obtidas foram porosidade total: 85%; espaço de aeração: 72%; água facilmente disponível: 4%; água disponível: 9%; água tamponante: 5% e, água remanescente: 4%. O espaço de aeração (72%), foi indicativo de que é conveniente melhorar a distribuição do tamanho de partículas desse substrato, de modo a reduzir o espaço de aeração e aumentar a capacidade de retenção de água. O aumento da tensão de água foi obtido de forma natural, pela evaporação da água das amostras. A utilização do sensor Irrigas® permitiu rapidez na obtenção dos resultados e possibilitou a medição da tensão da água, de maneira contínua e paralela, entre tensões de 0 e 11 kPa, simultaneamente, em três amostras de substrato. Estes resultados tornaram evidente a possibilidade de uso do mini sensor Irrigas® na determinação de curvas de retenção de água em substratos para hortaliças, gerando inclusive perspectivas para a realização de estudos futuros de comparação com outros métodos.

**Palavras-chave:** cultivo sem solo, mudas, porosidade, teor de água, fibra de coco verde.

### ABSTRACT

#### Mini Irrigas® sensor in determining the curve of water retention in substrates for vegetables

In Brazil, no reliable standard method exists to determine the water retention curve in all available types of substrates for the cultivation of vegetables, mainly for substrates with long and short fibers, such as those of green coconut shell. In this work, the objective was to obtain the substrate water retention curve for the cultivation of vegetables, using a mini Irrigas® sensor. Green coconut substrate was used without composting and with composting during 45; 90; 135 and 180 days while the Plantmax® substrate was used as control in a complete block experimental design with 6 substrates, 11 water tension levels and three replications. For the substrates S0, S45, S90, S135 and S180 the obtained average were: total porosity; 85%; aeration space: 72%; easily available water: 4%; available water: 9%; buffering water: 5% and remaining water: 4%. The aeration space (72%) was indicative that it is convenient to improve the particle size distribution of this substrate, in order to reduce the aeration space to gain water retention capacity. Water tension in the samples was slowly increased by evaporation as the substrate air interface and mini Irrigas® sensors enabled the required water tension measurements, continuously, in three parallel substrate samples for water tensions ranging from zero to 11 kPa. These results make evident the possibility of using the mini Irrigas® sensor for the determination of water retention curves in substrates for growing vegetables, and also opens the possibility of future studies, aiming at comparative tests for other methods.

**Keywords:** soilless cultivation, transplant, porosity, moisture content, green coconut fiber.

(Recebido para publicação em 22 de outubro de 2007; aceito em 29 de setembro de 2008)

(Received in October 22, 2007; accepted in September 29, 2008)

Sabe-se que, entre outras variáveis físicas e químicas, a divisão arbitrária, indicativa de quanta água, em cada faixa de tensão, é retida por um substrato utilizado na produção de hortaliças auxilia na adequação do mesmo. Baseando-se em conceitos empregados a partir de trabalhos de diversos autores, entre eles De Boodt & Verdonck (1972); Grolli (1991); Drzal *et al.* (1999); Gruszynsk (2002) e Fermino (2002), a determinação da curva de retenção de água é um método que fornece informações relacionadas a essa divisão arbitrária que, em alguns casos, vem sendo definida pelas variáveis porosidade total (PT), espaço

de aeração (EA), água facilmente disponível (AFD), água disponível (AD), água tamponante (AT) e água remanescente (AR). Ou seja, a curva de retenção de água pode fornecer informações indicativas sobre o teor volumétrico e/ou gravimétrico de água e sobre a força com que a água em diferentes tensões é retida pela matriz de um substrato utilizado no cultivo de hortaliças.

Neste contexto deve-se considerar que, para componentes porosos, como é o caso de substratos utilizados no cultivo de hortaliças, a variável porosidade total (PT) não deve ser associada à cur-

va de retenção de água e nem considerada como equivalente ao teor volumétrico e/ou gravimétrico de água na tensão de zero kPa porque, mesmo considerando-se que o substrato, nesta tensão, esteja "saturado", sabe-se que considerável quantidade de ar permanece nos poros, juntamente com a água contida na amostra do substrato (Liz, 2006). Assim, em análise física de substratos, o quê, em alguns casos, vem sendo definido como "saturação" é apenas a hidratação do substrato. Por isso, a correta determinação da porosidade total deve ser feita com base na densidade de partículas do substrato

desgaseificado, isto é, sem ar entre as partículas. Na curva de retenção de água o teor obtido na tensão de zero kPa é, na realidade, menor que a porosidade total e, para que raízes de hortaliças tenham adequada provisão de oxigênio, nas tensões entre 0 e 1 kPa a quantidade de ar retido entre a água e as partículas do substrato deve garantir suficiente aeração sem diminuir a capacidade de o substrato reter água.

No Brasil, a determinação da curva de retenção de água em substratos agrícolas ainda não é padronizada e os métodos mais utilizados demandam muito tempo, são tediosos e necessitam de equipamentos caros. Por estas razões é importante a busca por métodos alternativos confiáveis e atraentes para a utilização profissional na análise física em substratos para plantas.

Assim, com este trabalho, o objetivo foi obter a curva de retenção de água em substratos para o cultivo de hortaliças, utilizando-se a técnica de remoção de água por evaporação e medição contínua da tensão da água, por tensiometria a gás, por meio de um mini sensor Irrigas®.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Embrapa Hortaliças, de janeiro de 2005 a setembro de 2006. Curvas de retenção de água em substrato de coco verde, preparado na Embrapa Hortaliças para a produção de mudas (Carrijo *et al.*, 2002), sem compostagem e compostado durante 45; 90; 135 e 180 dias, respectivamente denominados S0, S45, S90, S135, S180 e em substrato Plantmax® foram determinadas utilizando-se um sensor Irrigas® (Calbo & Silva, 2005) com cápsula porosa mini (Figura 1A).

Inicialmente, sem compactar a amostra e adaptando a metodologia descrita na Norma Européia EN 13040 (Asociación, 1999), determinou-se a densidade do substrato seco ao ar ( $Dsa$ ), a densidade do substrato seco em estufa ( $Dse$ ) a 70°C e o teor de água ( $Ta$ ) base massa da amostra de substrato seco em estufa a 70°C, durante aproximadamente 27 horas (Liz *et al.*, 2006). A densidade do substrato desgaseificado ( $Dsd$ ) foi obtida com a utilização de um picnômetro de 500 ml.

Para conter as amostras de substrato foram utilizados três cilindros volumétricos de PVC, de 58,9 cm<sup>3</sup>. No centro da parede de cada cilindro foi perfurado um orifício de 3 mm de diâmetro, para a passagem do tubo do sensor Irrigas® (Figura 1B).

Para possibilitar a contenção e a hidratação (“saturação”) da amostra de substrato dentro do cilindro de PVC foram utilizados um anel de borracha e uma cerâmica porosa (Figura 1C). O enchimento dos cilindros de PVC com a amostra de substrato foi padronizado, utilizando-se a densidade do substrato seco ao ar ( $Dsa$ ) e o volume do cilindro, 58,9 cm<sup>3</sup>.

Depois de preenchidos com o substrato os cilindros de PVC, individualmente, foram cobertos com uma tampa (Figura 1 D) e colocados dentro de recipientes, para a hidratação da amostra com água destilada, adicionada no recipiente aos poucos, até atingir o nível da borda superior dos cilindros de PVC.

Após a hidratação, quando a amostra estava com superfície brilhosa, a tampa do cilindro foi retirada para facilitar a evaporação da água da amostra (Figura 1D) e o tubo do mini sensor Irrigas® foi conectado a um compressor de ar e a um manômetro de mercúrio (Figura 2) utilizando-se mangueiras de 4 mm de diâmetro interno, restrições de fluxo de ar e distribuidores de gás de duas e três saídas (Figura 1E). O compressor de ar, de membrana, modelo A 240, que opera com pressão de saída de aproximadamente 25 kPa, a fluxo zero, normalmente é utilizado para oxigenar aquários e o manômetro de mercúrio de 80 cm de altura foi construído em forma de “U” com mangueiras transparentes de 4 mm de diâmetro interno (Figura 2). O distribuidor de gás de três saídas possibilitou a medição da tensão da água simultaneamente em três amostras de substrato (Figura 1 F). Nesse distribuidor de gás de três saídas foram conectadas as restrições de fluxo de ar, utilizadas para introduzir em cada sensor Irrigas® um fluxo de ar de aproximadamente 0,5 mL min<sup>-1</sup>. A restrição de fluxo de ar utilizada foi um segmento de fio de cobre flexível (multifilamento), de 1 mm de diâmetro externo e compri-

mento de 14 cm, que proporcionou o fluxo de ar especificado (Figura 1E). Detalhes técnicos referentes às propriedades desta fonte de ar de fluxo quase constante e sobre a aferição necessária para obter restrições com fluxo de ar adequado estão descritos em Calbo & Silva (2005).

Quando o movimento da coluna de mercúrio se estabilizou, a amostra de substrato, previamente hidratada, foi considerada “saturada”. A pressão assim estabelecida é a tensão crítica de umedecimento ( $Ts$ ) do sensor Irrigas® (Calbo & Silva, 2006). Nesse momento, sem desconectar as mangueiras, foram determinadas, juntamente, a massa do conjunto ( $Mc$ ) e a massa da amostra saturada ( $Mas$ ), isto é: ( $Mc + Mas$ ). Esse procedimento foi repetido ao se alcançar cada tensão desejada (1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10 e 11 kPa). A partir da tensão de 1 kPa, a massa da amostra passou a ser considerada massa do substrato úmido ( $Msu$ ), obtida por meio da equação:

$$Msu = (Mc + Mas) - (Mc).$$

A tensão ( $T$ ) da água na amostra foi calculada com a equação  $T = (Ts - P)$ , na qual  $P$  representou a pressão lida no manômetro (Calbo & Silva, 2006).

Os valores de  $T$ , multiplicados por 13,6, razão entre as densidades do mercúrio e da água, representaram, aproximadamente, a tensão em centímetros de coluna de água; e os valores de tensão em centímetros de coluna de água, divididos por dez, indicaram os valores de tensão em kPa.

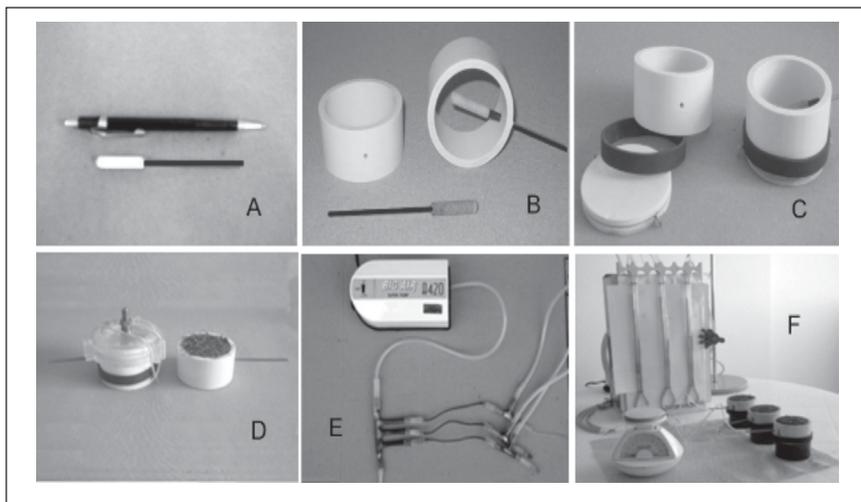
A porosidade total ( $PT$ ) foi determinada por meio da equação:

$$PT = 100 \times ((Vc) - (Mse / Dsd)) / (Vc)$$

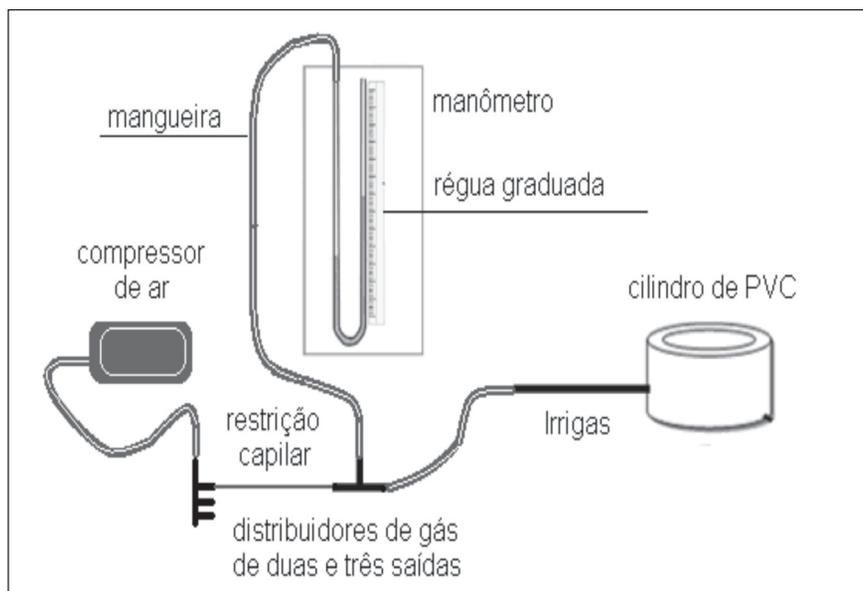
na qual  $Vc$  foi o volume, em cm<sup>3</sup>, do cilindro utilizado para conter a amostra;  $Mse$ , a massa, em gramas, da amostra de substrato seco em estufa a 70°C e  $Dsd$ , a densidade, em g cm<sup>-3</sup>, do substrato desgaseificado, determinada a partir de resultados obtidos com o uso do picnômetro. A equação utilizada para determinar a densidade do substrato desgaseificado foi:

$$Dsd = Da \times (Mps - Mp) / (Mps - Mp) - (Mpsa - Mpa)$$

onde:  $Dsd$ , a densidade do substrato desgaseificado;  $Da$ , a densidade da água;  $Mps$ , a massa do picnômetro con-



**Figura 1.** A = mini sensor Irrigas®; B = cilindro de PVC e posição do mini sensor Irrigas; C = cilindro de PVC, anel de borracha e cerâmica porosa; D = cilindro com substrato e com tampa; E = compressor de ar e detalhe das conexões e das restrições e F = vista geral do sistema. (A = mini Irrigas® sensor; B = cylinder of PVC and the mini Irrigas® sensor position; C = PVC cylinder, rubber ring and the porous ceramic; D = cylinder with substrate and cover; E = air compressor and detail of the connections and the restrictions and F = general system view). Brasília, Embrapa Hortaliças, 2006.



**Figura 2.** Esquema de montagem do sistema com mini sensor Irrigas® para a determinação de curvas de retenção de água em substratos para crescimento de hortaliças (project of assembly of the system with mini Irrigas® sensor for the determination of water retention curves in substrates for growing vegetables). Brasília, Embrapa Hortaliças, 2006.

tendo o substrato;  $M_p$ , a massa do picnômetro vazio;  $M_{psa}$ , a massa do picnômetro contendo substrato e água e  $M_{pa}$ , a massa do picnômetro contendo água.

O percentual de espaço de aeração ( $EA$ ), equivalente ao teor volumétrico de água nas tensões entre 0 e 1 kPa, foi determinado por meio da equação:

$$EA = 100 \times [(Vc) - (Mse / Dsd) - (Ma_{1kPa} / Da)] / (Vc)$$

na qual:  $Ma_{1kPa}$  foi a massa de água na tensão de 1 kPa e  $Da$  foi a densidade da água, considerada como sendo igual a  $1 \text{ g cm}^{-3}$ .

O percentual de teor de água facilmente disponível ( $AFD$ ), equivalente ao teor volumétrico de água nas tensões

entre 1 e 5 kPa, foi representado por:

$$AFD = 100 \times (Ma_{1kPa} - Ma_{5kPa}) / (Vc \times Da)$$

O percentual de água disponível ( $AD$ ), equivalente ao teor volumétrico de água nas tensões entre 1 e 10 kPa, foi definido com base na equação:

$$AD = 100 \times (Ma_{1kPa} - Ma_{10kPa}) / (Vc \times Da)$$

O percentual de água tamponante ( $AT$ ), equivalente ao teor volumétrico de água nas tensões entre 5 e 10 kPa, foi estabelecido por meio da equação:

$$AT = 100 \times (Ma_{5kPa} - Ma_{10kPa}) / (Vc \times Da)$$

e o percentual de água remanescente ( $AR$ ), equivalente ao teor volumétrico de água nas tensões de 10 kPa, pela equação:

$$AR = 100 \times (Ma_{10kPa}) / (Vc \times Da)$$

O delineamento utilizado foi de blocos ao acaso com três repetições, dispostos no esquema fatorial  $6 \times 11$ , referente a seis composições de substrato: S0, S45, S90, S135, S180, Plantmax® e, a onze tensões: 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9; 10 e 11 kPa. Os dados da Tabela 1 foram submetidos à análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os dados da Tabela 2 foram obtidos por meio das equações apresentadas acima. Os pontos obtidos (Figura 3) foram ajustados e plotados por meio do aplicativo Soil Water Retention Curve – SWRC (Dourado Neto et al., 1990), optando-se pelo modelo de van Genuchten, representado pela equação:  $\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [1 + (h \cdot a)^n]^m$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

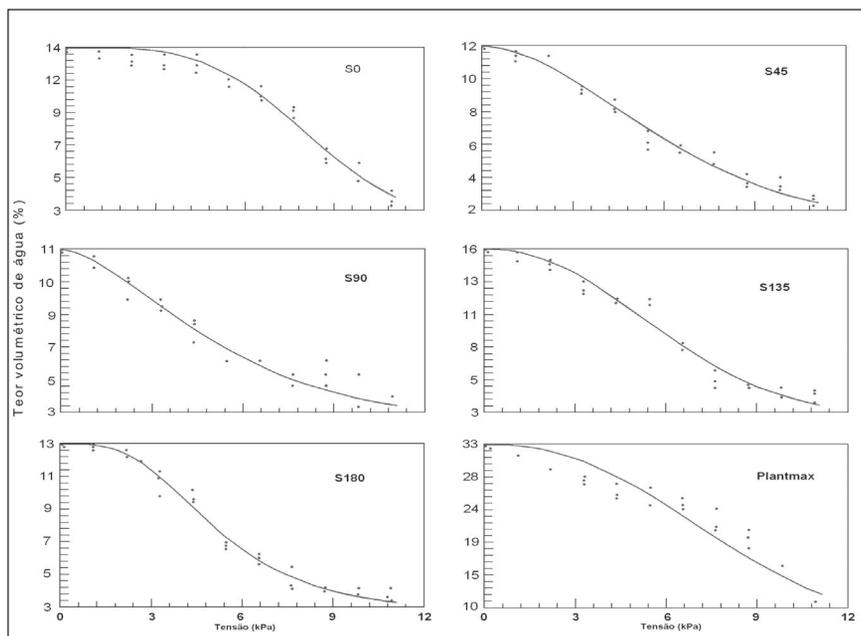
Houve efeito significativo para as variáveis: substrato, tensão e interação substrato versus tensão. O coeficiente de variação de 5,41% refletiu boa precisão experimental (Ferreira, 1996). No entanto, entende-se que é desnecessária a discussão dos resultados da análise estatística, visto que as diferenças eram esperadas, pois foram utilizadas tensões e, conseqüentemente, teores de água diferentes. Vale lembrar que o objetivo não foi comparar estatisticamente os pontos das curvas de retenção de água nos substratos, mas, sim, conseguir determiná-los com o uso do Irrigas®.

A metodologia com o mini sensor Irrigas® possibilitou a obtenção de pontos da curva de retenção de água em seis tratamentos, na faixa entre 0 e 11 kPa de tensão de água, em cerca de cinco dias.

Durante as pesagens o sistema mini sensor Irrigas® não precisou ser desligado, possibilitando obter todos os pontos em uma mesma amostra de substrato. Na câmara de Richard, por exemplo, é necessário desligar o sistema de pressão para a pesagem de amostras. Segundo Vieira & Castro (1987), determinar o ponto de equilíbrio entre a pressão aplicada e a água retida é um dos maiores problemas na obtenção de curva de retenção de água. Assim, este fator, equilíbrio de tensão, foi outra característica positiva do método utilizando o mini sensor Irrigas® pois, quando o movimento da coluna de mercúrio se estabilizou no manômetro, isso foi um indicativo direto de equilíbrio de tensão de água entre a cápsula porosa e a amostra de substrato.

Na comparação das curvas da Figura 3 percebe-se certa variação, a qual está associada ao efeito do condicionamento do substrato de coco verde (0; 45; 90; 135 e 180 dias de compostagem); à diferença no teor inicial de água nas amostras e, ainda, à diferença de teor de água retida em cada amostra no momento das determinações, em função do processo de hidratação da amostra.

Aparentemente a mini cápsula porosa do sensor Irrigas® possibilitou um bom contato com os substratos. Ao final da análise foi necessário reumedecer a amostra de substrato de coco verde para desgrudá-la da mini cápsula porosa do sensor Irrigas®. Adicionalmente, com a utilização do sistema sensor Irrigas® foi possível dispensar o uso de estufa para a secagem do substrato ao final da análise, resultando em economia de energia elétrica e antecipação na obtenção de resultados. Outra justificativa para utilizar a massa de substrato seco ao ar nas determinações físicas em substratos, principalmente em substratos à base de coco verde, é a característica de expansão desse tipo de material que, quando seco em estufa a 70°C pode sofrer significativa contração de partículas.



**Figura 3.** Curvas de retenção de água em substratos, determinadas com o uso de mini sensores Irrigas® (water retention curves in substrates, determined using mini Irrigas® sensors). Brasília, Embrapa Hortaliças, 2006.

**Tabela 1.** Médias de densidades e do teor de água nos substratos utilizados. (density and moisture content means of the assayed substrates). Brasília, Embrapa Hortaliças, 2006.

Substrato	Densidade do substrato seco ao ar	Densidade do substrato seco a 70°C	Densidade das partículas do substrato <sup>1</sup>	Teor de água no substrato seco a 70°C (%)
	g cm <sup>-3</sup>			
S0	0,24 b	0,22 c	1,23 a	7,6 ab
S45	0,18 a	0,16 a	1,54 c	9,3 a
S90	0,18 a	0,16 a	1,18 a	9,8 b
S135	0,24 b	0,21 bc	1,23 a	9,4 b
S180	0,19 a	0,17 ab	1,22 a	8,8 b
Plantmax®	0,49 c	0,47 d	1,48 b	5,0 a
Referência	0,10 a 0,30 g cm <sup>-3</sup>		1,45 g cm <sup>-3</sup>	
CV (%)	5,48	7,21	8,28	14,70

Médias seguidas da mesma letra nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; <sup>1</sup>Densidade de partículas, determinada pelo método do picnômetro; <sup>2</sup>Valores de referência conforme Kämpf (2000); Fermino (2002) e Martínez (2002) (means followed by the same letter, in the column, did not differ by the Tukey test at 5% of probability; <sup>1</sup>Particle density determined by the pycnometric method; <sup>2</sup>Reference values according to Kämpf (2000); Fermino (2002) and Martínez (2002) ).

A densidade do substrato seco ao ar, S0; S45; S90; S135 e S180, determinada nas amostras com um teor médio em torno de 10% de água, ficou dentro da faixa de 0,10 a 0,30 g cm<sup>-3</sup>, considerada ideal para a densidade de substratos utilizados na produção de mudas de hortaliças (Kämpf, 2000; Fermino, 2002). A densidade de partículas desse mesmo substrato desgaseificado foi, em média, de 1,30 g cm<sup>-3</sup> (Tabela 1), valor compa-

rável ao de 1,22 g cm<sup>-3</sup> obtido por Carrijo *et al.* (2003) em um substrato de coco verde com pré-lavagem das fibras e próximo ao de 1,47 g cm<sup>-3</sup> obtido por Lacerda *et al.*, (2006) em um substrato denominado pó de coco. Martínez (2002) relata que para substratos orgânicos a densidade de partículas deve ser por volta de 1,45 g cm<sup>-3</sup>. Além da diferença de teor de água nas amostras, a diferença de distribuição do tamanho de partículas

**Tabela 2.** Porosidade total (PT), espaço de aeração (EA), água facilmente disponível (AFD), água disponível (AD), água tamponante (AT) e água remanescente (AR) nos substratos utilizados. (total porosity (PT), aeration space (AE), easily available water (AFD), available water (AD), buffering water (AT) and remainder water (AR)). Brasília, Embrapa Hortaliças, 2006.

Substratos	PT	EA	AFD	AD	AT	AR
			% igual ao teor volumétrico de água nas tensões entre			
			1 e 5 kPa	1 e 10 kPa	5 e 10 kPa	10 kPa
S0	82	68	2	10	8	4
S45	89	78	5	8	3	3
S90	86	75	5	7	2	4
S135	82	67	4	11	7	4
S180	86	73	6	9	3	4
Plantmax®	68	37	6	21	15	10
Referência <sup>1</sup>	85	10 a 40	10 a 30	50	4 a 10	-

<sup>1</sup>Valores conforme De Boodt & Verdonck (1972); De Boodt *et al.* (1974); Penningsfeld (1983); Carrijo *et al.* (2002); Fermiño (2002); Fermiño (2003) e Grassi Filho & Santos (2004). (reference values according to De Boodt & Verdonck (1972); De Boodt *et al.* (1974); Penningsfeld (1983); Carrijo *et al.* (2002); Fermiño (2002); Fermiño (2003) and Grassi Filho & Santos (2004)).

pode ter influenciado o valor de densidade determinado em cada tratamento, principalmente no S45 (Tabela 1).

De acordo com as recomendações de De Boodt & Verdonck (1972), a porosidade total (PT) média de 85%, determinada nos tratamentos S0; S45; S90; S135 e S180 pode ser considerada ideal para substratos utilizados no cultivo de plantas (Tabela 2).

A porosidade desses mesmos tratamentos, equivalente ao teor volumétrico de água na tensão de zero kPa (Figura 3), foi, em média, 13%, valor bem menor do que os recomendados por De Boodt & Verdonck (1972) e do que os de porosidade total (PT) determinada com base na densidade das partículas do substrato. Neste contexto, ainda é importante considerar que o teor volumétrico de água na tensão de zero kPa possui pouco valor prático, tendendo-se em vista que o valor nesta condição transiente pode sofrer alterações em função de diferentes fatores, tais como: distribuição do tamanho de partículas; quantidade de substrato utilizado para o enchimento dos cilindros, calculada a partir da densidade do material ou, ainda, em função da diferença de teor inicial de água na massa de substrato seco ao ar ou seco em estufa a 70°C.

A porosidade total (PT) do substrato Plantmax® ficou abaixo da recomendada por De Boodt & Verdonck (1972),

possivelmente em função da amostra ter sido seca ao ar antes das determinações promovendo maior acomodação de partículas e, conseqüentemente, aumento da densidade nesse tratamento (Tabela 2). Segundo Skrebsky *et al.* (2006) o substrato Plantmax® apresenta uma porosidade total por volta dos 90%. Conforme Gruszynski (2002) o aumento de densidade em substratos agrícolas reduz a porosidade total e, conseqüentemente, o espaço de aeração. Por ser o substrato Plantmax® amplamente usado com sucesso na produção de mudas de hortaliças, sugere-se que a amostra a ser utilizada para determinação das densidades seja coletada com o teor de água em que se encontra dentro da embalagem original. As curvas de retenção de água (Figura 3) indicam que o substrato Plantmax®, nas condições deste experimento, reteve, aproximadamente, o dobro de água que o substrato de coco verde reteve.

A média do espaço de aeração (EA) determinada nos tratamentos à base de coco verde (72%) ficou acima dos percentuais situados entre 10 e 40% sugeridos como referência por De Boodt & Verdonck (1972); Penningsfeld (1983); Carrijo *et al.* (2002) e Fermiño (2003) (Tabela 2). Esse espaço de aeração pode ter favorecido a baixa retenção de água nestes tratamentos.

Para os tratamentos S0; S45; S90; S135 e S180 (Tabela 2), o valor médio

de 4% de água facilmente disponível (AFD) ficou abaixo dos 20 a 30% recomendados por Carrijo *et al.* (2002); Fermiño (2003) e Grassi Filho & Santos (2004). Isso indicou que é necessária a realização de mais estudos relacionados à distribuição do tamanho de partículas e ao percentual de macroporos, visando tornar esse substrato de coco verde, adequado à produção de mudas. O percentual médio de água disponível (AD) nos tratamentos à base de coco verde (Tabela 2), foi de 9%, situando-se abaixo dos 50% sugeridos por De Boodt *et al.* (1974). Isso pode ter sido decorrência da relação entre o volume do cilindro utilizado para conter a amostra de substrato e a massa de substrato utilizada para encher o cilindro.

Para a variável água tamponante (AT) o valor médio determinado nesses mesmos tratamentos (Tabela 2), foi de 5%, ficando entre 4% e 10% sugeridos por Fermiño (2003). O valor médio de água remanescente (AR) nos tratamentos à base de coco verde foi de 4% (Tabela 2). Esse valor, obtido na tensão de 10 kPa, pode ser um agravante para a produção de mudas de hortaliças, principalmente se ocorrerem erros no manejo da irrigação. A fibra de coco verde, após atingir um reduzido teor de água, pode necessitar de alto volume de água para iniciar o processo de reidratação.

Na comparação e/ou apresentação de resultados de análises físicas de substratos agrícolas é importante definir que porosidade total (PT) não é equivalente ao teor volumétrico de água na tensão de zero kPa, como arbitrariamente, em alguns casos, vem sendo definida. A porosidade influencia significativamente nos cálculos das outras variáveis alicerçadas na curva de retenção de água, principalmente no cálculo do espaço de aeração. Para evidenciar diferenças e possibilitar uma comparação com os valores na Tabela 2, a seguir, são apresentados os valores das variáveis porosidade total (PT) considerada equivalente ao teor volumétrico de água na tensão de zero kPa e os valores de espaço de aeração (EA) considerados equivalente ao teor volumétrico de água nas tensões entre zero e 1 kPa, obtidos para os mesmos tratamentos avaliados: PT

(%) em S0 (13,94); S45 (11,70); S90 (11,50); S135 (15,60) e S180 (12,30) e EA (%) em S0 (0,24); S45 (0,54); S90 (0,36); S135 (0,50) e S180 (0,38).

A metodologia utilizada neste trabalho, além de acelerar a obtenção de resultados pode proporcionar maior confiabilidade quando o objetivo for determinar a porosidade total (PT), o espaço de aeração (EA) e as variáveis alicerçadas na curva de retenção de água em substratos para plantas.

Os resultados obtidos constituíram-se em indicativos da possibilidade de uso do mini sensor Irrigas® na determinação de curvas de retenção de água em substratos destinados à produção de mudas e ao cultivo de hortaliças; alertaram para a necessidade de adequação do tamanho de partículas desse substrato de coco verde, visando redução do espaço de aeração e aumento do teor de água retida, principalmente nas tensões entre 1 e 5 kPa e, geraram perspectivas para a realização de outros estudos futuros, visando comparar resultados deste com os de outros métodos.

O tempo necessário para obtenção de resultados; a possibilidade de rompimento da coluna de água quando se utiliza o método dos funis e a dificuldade de determinação de equilíbrio entre a pressão aplicada e a água retida na amostra de substrato, quando se utilizam equipamentos de alta pressão, como a câmara de Richards, são exemplos de características importantes para comparações futuras com o uso do mini sensor Irrigas®, quando o objetivo for determinar a curva de retenção de água em substratos para plantas.

## AGRADECIMENTO

Aos laboratoristas Pedro Maria Basílio do Amaral e João Batista Gomes.

## REFERÊNCIAS

- CALBO AG; SILVA WLC. 2005. Sistema Irrigas para manejo de irrigação: fundamentos, aplicações e desenvolvimentos. Brasília: Embrapa Hortaliças, 174 p.
- CALBO AG; SILVA WLC. 2006. Gaseous irrigation control system: description and physical tests for performance assessment. *Bragantia* 65: 501-511.
- CARRIJO OA; LIZ RS; MAKISHIMA N. 2002. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. *Horticultura Brasileira* 20: 533-535.
- CARRIJO OA; MAKISHIMA N; LIZ RS; OLIVEIRA VR. 2003. *Uso da fibra da casca de coco verde para o preparo de substrato agrícola*. Brasília: Embrapa Hortaliças. Comunicado Técnico, 19).
- De BOODT M; VERDONCK O. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae* 26: 37-44.
- De BOODT M; VERDONCK O; CAPPART I. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Horticulturae* 37: 2054-2062.
- DOURADO NETO D; JONG-VAN-LIES Q; BOTREL TA; LIBARDI PL. 1990. Programa para confecção de curva de retenção de água no solo, utilizando o modelo de Genuchten. *Engenharia Rural* 1: 92-202.
- DRZAL MA; FONTENO, WC; CASSEL, DK. 1999. Pore fraction analysis: a new tool for substrate testing. *Acta Horticulturae* 481: 43-54.
- ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. 1999. *EN 13040: Mejoradores del suelo y sustratos de cultivo: preparación de la muestra para análisis físicos y químicos, determinación del contenido de materia seca, del contenido de humedad y de la densidad aparente compactada en laboratorio*. Madrid, 17p.
- FERMINO MH. 2002. O uso da análise física na avaliação da qualidade de componentes e substratos. In: ENCONTRO NACIONAL DE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 3. Campinas: Instituto Agronômico. p. 29-37. (Documentos IAC, 70).
- FERMINO MH. 2003. *Métodos de análise para caracterização física de substratos para plantas*. Porto Alegre: UFRGS. 79p (Tese doutorado).
- FERREIRA PV. 1996. *Estatística experimental aplicada à agronomia*. Maceió: EDUFAL. 606p.
- GRASSI FILHO H; SANTOS CH. 2004. Importância da relação entre fatores hídricos e fisiológicos no desenvolvimento de plantas cultivadas em substratos. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 4. Anais... Viçosa: UFV. p. 78-91.
- GROLI PR. 1991. *Composto de lixo domiciliar como condicionador de substratos para plantas arbóreas*. Porto Alegre: UFRGS. 125p (Tese mestrado).
- GRUSZYNSKI C. 2002. *Resíduo agro-industrial "casca de tungue" como componente de substrato para plantas*. Porto Alegre: UFRGS. 100p (Tese mestrado).
- KÄMPF AN. 2000. Seleção de materiais para uso como substrato. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 1. *Substratos para plantas: a base da produção vegetal em recipientes*. Anais... Porto Alegre: Gênese 139-145.
- LACERDA MRB; PASSOS MAA; RODRIGUES JJV; BARRETO LP. 2006. Características físicas e químicas de substratos à base de pó de coco e resíduo de sisal para a produção de mudas de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia benth*). *Revista Árvore* 30: 163-170.
- LIZ RS. 2006. *Determinação de algumas variáveis físicas e químicas em substrato de coco verde*. Brasília: UnB. FAV. 67p (Tese mestrado).
- LIZ RS; CARRIJO OA; OLIVEIRA CAS; MOITA AW. 2006. Tempo de secagem para o substrato de coco verde em estufa convencional a 70°C. In: ENCONTRO NACIONAL DE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 5. Anais... Ilhéus: CEPLAC/CEPEC. p. 141-141.
- MARTÍNEZ PF. 2002. Manejo de sustratos para horticultura. In: ENCONTRO NACIONAL DE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 3. Anais... Campinas: Instituto Agronômico. p. 53-75. (Documentos IAC, 70).
- PENNINGSFELD F. 1983. Kultur Substrate für den Gartenbau, besonders in Deutschland: ein kritischer Überblick. *Plant and Soil* 75: 269-281.
- SKREBSKY EC; NICOLOSO FT; MALDANER J. 2006. Substratos na aclimatização de *Pfaffia glomerata* (Spreng) Pedersen produzida *in vitro* sob diferentes doses de sacarose. *Ciência Rural*. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cr/36n5/a1v36n5.pdf>. Acessado em 13 de novembro de 2006.
- VIEIRA SR; CASTRO OM. 1987. Determinação, em laboratório, de curvas de retenção de água com tensiômetros. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 11: 87-90.