

Curva de retenção de água em substrato de fibra de coco para cultivos em vasos em ambiente protegido

Water retention curve of coconut fiber substrate for cultivation in pots in greenhouse

Erlen Kaline Ávila do Nascimento¹; Lunara Gleyka da Silva Rêgo²; Neyton de Oliveira Miranda³; Vladimir Batista Figueiredo³; Nathalia Gomes da Silva⁴

¹Engenheira Agrônoma, Mestre em Ciências Naturais, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Mossoró, Rio Grande do Norte, erlen.kaline@gmail.com. ²Doutoranda em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Rio Grande do Norte, lunaragleika@hotmail.com. ³Professor, Dr., Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Departamento de Ciências Agronômicas e Florestais, Mossoró, Rio Grande do Norte, neyton.miranda@ufersa.edu.br. ⁴Engenheira Agrônoma, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, Rio Grande do Norte, quinathagro@gmail.com.

ARTIGO

Recebido: 03/02/2021
 Aprovado: 16/06/2021

Palavras-chave:
 Manejo da irrigação
 Teor de água
 Tensiômetro

Key words:
 Irrigation management
 Water content
 Tensiometer

RESUMO

O uso adequado dos recursos hídricos e o manejo correto da irrigação na cultura do milho em um substrato com porosidade e capacidade de retenção de água adequadas possibilita maximizar a produtividade e qualidade das culturas produzidas em recipientes sob ambiente protegido. A fibra de coco é uma ótima alternativa, mas requer manejo cuidadoso da irrigação, podendo ser baseado no monitoramento do teor de água na zona radicular usando tensiômetros. Nesse sentido, objetivou-se com este trabalho determinar a curva de retenção de água em fibra de coco em vasos. A técnica usada foi a remoção de água por evaporação e medição da tensão da água com tensiômetros, com posterior pesagem dos vasos e cálculo do teor de água correspondente por diferença entre massa medida e massa do substrato seco. Um sistema de aquisição de dados foi usado para registrar as leituras dos transdutores de pressão dos tensiômetros. Os dados de tensão, quantidade de água e densidade do substrato foram usados para ajustar as curvas de retenção de água conforme modelos de regressão e o modelo de Van Genuchten. O uso de tensiômetros no substrato fibra de coco possibilitou determinar a curva de retenção de água de maneira rápida e prática, a partir de leituras de tensão quase contínuas entre 12 e 268 hPa, referentes a teores de água entre 0,37 e 0,05 cm³ cm⁻³. Assim, foi possível ajustar a curva de retenção de forma simples, usando modelos de regressão com elevados coeficientes de determinação. Os parâmetros hídricos obtidos do substrato são menores do que os referidos na literatura e úteis para o manejo adequado da irrigação em recipientes contendo o mesmo substrato.

ABSTRACT

A substrate with adequate porosity and water retention capacity makes it possible to maximize the yield and quality of crops produced in containers in greenhouses. A great alternative is coconut fiber, which needs careful irrigation management, which can be based on monitoring the water content in the root zone using tensiometers. In this sense, this work aimed to determine the water retention curve of coconut fiber in pots through the technique of water removal by evaporation and measurement of water tension with tensiometers, after which the pots were weighed and the corresponding water content was calculated by difference between the measured mass and the dry substrate mass. A data acquisition system was used to record the readings from the tensiometer pressure transducers. Tension, water amount and substrate density data were used to fit the water retention curves according to regression models and the Van Genuchten model. The use of tensiometers in the coconut fiber substrate made it possible to determine the water retention curve quickly and practically from almost continuous tension readings between 12 and 268 hPa, corresponding to water contents between 0.37 and 0.05 cm³ cm⁻³. Thus, it was possible to adjust the retention curve in a simple way, using regression models with high coefficients of determination. Although the hydric parameters of the substrate are lower than those referred to in the literature, they are useful to adequately manage irrigation in containers.

INTRODUÇÃO

A agricultura em ambiente protegido permite produzir fora de estação ou em condições adversas de clima e solo, como na região semiárida do Brasil (COSTA et al., 2017; PUTRA; YULIANDO, 2015). O cultivo protegido, quando realizado sem solo, é mais sustentável e intensivo a custo razoável, pois se produz mais vezes no mesmo tempo e área com maior produtividade e qualidade dos produtos e uso mais eficiente de espaço, nutrientes e água, menor incidência de pragas e doenças e mínimo uso de pesticidas (BARRET et al., 2016; SAVVAS; GRUDA, 2018).

O cultivo sem solo em recipientes é mais eficiente no uso de fertilizantes e água para obter produtos agrícolas de alta qualidade em regiões onde a produção é limitada pela água e solo (BARRET et al., 2016; GRUDA, 2019). As plantas crescem em um substrato poroso com volume limitado, com capacidade limitada de armazenar água, em que a saturação e secagem entre irrigações são rápidas (BARRET et al., 2016; PUTRA; YULIANDO, 2015).

Os cultivos agrícolas em ambiente protegido utilizam como suporte substratos com características diferentes conforme as necessidades das plantas em nutrientes, água e oxigênio. Entre as diversas formulações de substratos, algumas tem componente único ou contém materiais orgânicos ou inorgânicos, podendo ter origem animal, vegetal, mineral ou artificial (COSTA et al., 2017; SAVVAS; GRUDA, 2018; SCHINDLER; MÜLLER, 2017; SOUSA et al., 2020).

A irrigação é a única maneira de fornecer água para as plantas em ambiente protegido (BEZERRA et al., 2019; ZHANG et al., 2021), e a agricultura consome cerca de 70% da água doce do mundo, com os sistemas de irrigação tendo eficiência de aproximadamente 56% (CIRELLI et al., 2009; SOUSA et al., 2020). Em regiões semiáridas, o uso da irrigação é imprescindível devido à baixa disponibilidade de água de boa qualidade e a salinização do solo provocado pelas secas e distribuição irregular das chuvas que limitam a produtividade agrícola e causam graves problemas econômicos, sociais e ambientais (SILVA et al., 2018; GRUDA, 2019).

O manejo adequado de água e nutrientes das culturas depende de conhecer propriedades do substrato, como o teor de nutrientes e a quantidade de água disponível, fundamentais para o manejo da irrigação em recipientes com profundidade e volume limitados. A respiração radicular, a absorção de nutrientes e o desenvolvimento das raízes dependem que o substrato proporcione equilíbrio entre porosidade de ar e capacidade de reter água durante entre as irrigações (BARRET et al., 2016; GRUDA, 2019; OLIVEIRA et al., 2018; SCHINDLER; MÜLLER, 2017; TSAKALDIMI; GANASSAS, 2016).

A fibra de coco é uma matéria prima orgânica muito produzida no Nordeste do Brasil, sendo muito usada para produzir mudas, hortaliças e flores (GRUDA, 2019; MARIOTTI et al., 2020; MIRANDA et al., 2014). Além da alta capacidade de tamponamento da água da fibra de coco tornar o manejo da irrigação mais flexível, sua proporção de macroporos é favorável às raízes das plantas por drenar o excesso de água, facilitar a aeração e ainda disponibilizar bastante água. Esse material resiste à degradação microbiana e mantém as características físicas após vários ciclos de umedecimento e secagem, não reage com os nutrientes aplicados, é leve, hidrofílico, de fácil reumedecimento e tem

pouca tendência à contração (KUKAL et al., 2012; MARIOTTI et al., 2020; OLIVEIRA et al., 2018).

Em ambiente protegido, o momento de irrigar e a quantidade de água a aplicar, sem excesso ou déficit, é dificultada pelo desconhecimento das necessidades hídricas das plantas e de características dos substratos, causando perdas em produtividade e qualidade dos produtos, maior consumo de água e energia, lixiviação de nutrientes, proliferação de patógenos e degradação ambiental. Sendo assim, em recipientes com espaço limitado para as raízes, deve-se aplicar a quantidade de água que o substrato possa armazenar e em intervalo suficiente para atender a demanda de água das plantas (ALEMAN; MARQUES, 2016; BEZERRA et al., 2019; SILVA et al., 2018; SOUSA et al., 2020).

Para a irrigação, os métodos mais usados estimam perdas por evapotranspiração ou determinam o teor de água, por exemplo, colocando tensiômetros na zona radicular da planta para medir a tensão de água no meio, a qual é previamente relacionada com o teor de água, permitindo determinar a quantidade de água armazenada na camada considerada (ALEMAN; MARQUES, 2016; SILVA et al., 2018). O tensiômetro é o sensor mais usado para determinar o estado de água no solo, sendo confiável, fácil de adquirir e fornece leitura direta e em tempo real a custo baixo. Entretanto, seu uso em substratos depende da determinação prévia da curva característica de retenção de água.

A curva característica de retenção de água varia conforme o material e representa a relação entre o teor de água e a tensão de água no meio, indicando a energia necessária para a planta extrair a água retida (MAROUELLI et al., 2011; SAVVAS; GRUDA, 2018; SCHINDLER; MÜLLER, 2017). Essa curva pode ser ajustada por modelos de regressão da função entre o teor de água e a tensão de retenção (SCHINDLER; MÜLLER, 2006), ou conforme modelo teórico, como o de Van Genuchten, muito usado em solos. A aplicação da leitura no tensiômetro ao modelo ajustado permite determinar o teor atual de água no substrato e o armazenamento. O momento de irrigar é definido por um limite mínimo de água disponível ou uma tensão crítica que indique deficiência prejudicial ao desenvolvimento e produtividade da cultura (MAROUELLI et al., 2011).

A utilização de tensiômetros nos recipientes é conveniente por permitir leituras contínuas em toda a faixa de tensões em uma mesma amostra, inclusive de forma automatizada (SAVVAS; GRUDA, 2018; LIZ et al., 2008; SCHINDLER; MÜLLER, 2017). Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho obter a curva de retenção de água em fibra de coco para cultivo em vaso, utilizando a técnica de remoção de água por evaporação e medição da tensão da água, por meio de tensiômetro com transdutor de pressão e sistema de aquisição de dados.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante o mês de agosto de 2017 em casa de vegetação da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), localizada no município de Mossoró, RN (5°12'48" S, 37°18'44" O, e altitude de 37 metros). O local está situado na região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, cuja precipitação média anual é de 674 mm, dos quais cerca de 550 mm ocorre entre fevereiro e maio. A umidade relativa do ar média anual é de 68,9%, enquanto que

a temperatura média anual é de 27,7 °C, variando entre 27,2 °C em junho a 28,4 °C em fevereiro (VANOMARK et al., 2018).

Uma estação meteorológica automática (Campbell Scientific, modelo CR1000), instalada no interior da casa de vegetação, registrava os dados diários de temperatura e umidade relativa do ar. A variação desses parâmetros no período de realização do trabalho e a hora de sua ocorrência foram os seguintes: temperaturas máximas entre 39,0 e 41,1 °C, ocorrendo entre 13:00 e 15:00 horas; temperaturas mínimas entre 20,1 e 23,4 °C, ocorrendo entre 6:00 e 7:00 h; umidades relativas do ar máximas entre 75,9 e 88,8%, ocorrendo entre 5:00 e 7:00 h e umidades relativas do ar mínimas entre 19,9 e 29,8%, ocorrendo entre 14:00 e 15:00 h.

O experimento utilizou 60 vasos plásticos com capacidade de 8 L. A parte inferior dos vasos recebeu 2,0 cm de brita, que foi recoberta com manta geotêxtil para evitar o carreamento de partículas orgânicas e obstrução da drenagem dos vasos. Todos os vasos foram preenchidos com 0,935 kg de substrato comercial de fibra de coco seca GOLDEN MIX[®], sendo formulado a partir de 100% de fibra de coco de textura fina, saturada com água e compactada, para a instalação dos tensiômetros a 15 cm de profundidade.

A densidade da fibra de coco foi determinada pelo método de auto compactação, descrito por Zorzeto et al. (2014), no qual uma proveta de 500 mL, preenchida com o substrato na umidade atual até a marca de 300 mL, é deixada cair sob a ação de sua própria massa, de uma altura de 10 cm, por 10 vezes consecutivas.

A aquisição dos dados para determinação da curva de retenção foi realizada duas vezes entre os dias 09 e 22 de agosto de 2017, em 10 vasos escolhidos aleatoriamente. Os vasos eram saturados com água de abastecimento com condutividade elétrica de 0,50 dS m⁻¹ e deixados drenar livremente. As leituras iniciavam ao final da drenagem da água e encerravam quando se observava que o substrato perdia a aparência brilhosa e adquiria aparência de seco, conforme descrito por Liz et al. (2008). No início da manhã e ao final da tarde eram realizadas as leituras de tensão de água no sistema de aquisição de dados e imediatamente era determinada a massa total do vaso por meio de balança eletrônica com capacidade para 20 kg. A massa de água correspondente às leituras foi determinada por diferença (Equação 1).

$$M\acute{a}gua = M_{tot} - (M_v + M_{fc})$$

(1)

Em que, M_{água} = massa de água no vaso no momento da leitura de tensão; M_{tot} = massa do vaso + massa da fibra de coco seca + massa de água no momento da leitura; M_v = massa do vaso; M_{fc} = massa da fibra de coco seca.

O sistema de aquisição de dados era composto por tensiômetro com cápsula porosa de 25 x 11 mm, com tubos de acrílico transparente com diâmetros de 12 e 15 mm, tampa de borracha siliconada, mangueira plástica transparente, mangueira de borracha e transdutor de pressão modelo Motorola[®] MPX 5100AP; placa Arduino[®] modelo MEGA 2560 com três capacitores cerâmicos para condicionamento do sinal; placa fenolítica (10 x 20 cm); bornes; jumpers, cabo quatro vias; RTC (Real Time Clock) modelo DS1307 com bateria de lítio CR2032; display de cristal líquido (16 x 2); módulo de cartão de memória SD card para armazenar os dados; fonte bivolt para alimentar o sistema com a tensão de 12 Vcc.

O teor de água no substrato foi determinado em base

volumétrica (cm³ de água por cm³ de substrato) e em base gravimétrica (kg de água por kg do substrato seco). Para a determinação do conteúdo volumétrico de água na fibra de coco, a umidade de água em base peso foi multiplicada pela densidade da fibra. A densidade da fibra de coco analisada era 0,15 g cm⁻³, que está dentro da faixa considerada ideal para substratos usados na produção de mudas de hortaliças (0,10 a 0,30 g cm⁻³), conforme Liz et al. (2008).

Com os dados de tensão de água no substrato e de massa de água correspondente ajustaram-se curvas de retenção de água no substrato de fibra de coco com auxílio da planilha eletrônica do software Excel[®]. Para isto foram plotados os dados de conteúdo de água e de tensão de todas as leituras realizadas durante os dois ciclos de leituras do trabalho. Entre os modelos linear, quadrático, cúbico, logaritmo e exponencial, foi escolhido aquele com maior coeficiente de determinação (R²). Além disso, no mesmo software foi realizado procedimento descrito por Coelho et al. (2012) para ajustar os dados ao modelo de Van Genuchten (Equação 2), que descreve o comportamento da umidade em função da tensão matricial do solo. Os parâmetros θ_r, θ_s, α, e n foram determinados com todos os dados dos dois ciclos de leituras.

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \Psi_m)^n]^m} \quad (2)$$

Em que, θ = umidade do substrato (g g⁻¹ ou cm³ cm⁻³); θ_r = umidade residual do substrato (g g⁻¹ ou cm³ cm⁻³); θ_s = umidade de saturação do substrato (g g⁻¹ ou cm³ cm⁻³); Ψ_m = potencial matricial (hPa); α, n e m = parâmetros de ajuste do modelo.

Após a estimativa dos parâmetros do modelo de Van Genuchten, os valores estimados foram comparados com os valores estimados pelo modelo de regressão de melhor ajuste. Para isso, utilizou-se uma regressão linear plotada em relação à reta 1:1 e foi calculado seu coeficiente de determinação.

Com os dados da curva de retenção de água ajustada, foram calculados os seguintes parâmetros hídricos do substrato fibra de coco analisado: porosidade cheia de ar (Equação 3), água disponível (Equação 4), água tamponante (Equação 5) e água remanescente (Equação 6).

$$PCA = 100 \times (Ta_{0 \text{ hPa}} - Ta_{10 \text{ hPa}}) \quad (3)$$

Em que, PCA = porosidade cheia de ar (%); Ta_{0 hPa} = teor de água a 0 hPa (cm³ cm⁻³); Ta_{10 hPa} = teor de água a 10 hPa (cm³ cm⁻³).

$$AD = 100 \times (Ta_{10 \text{ hPa}} - Ta_{100 \text{ hPa}}) \quad (4)$$

Em que, AD = água disponível (%); Ta_{10 hPa} = teor de água a 10 hPa (cm³ cm⁻³);

$$AT = 100 \times (Ta_{50 \text{ hPa}} - Ta_{100 \text{ hPa}}) \quad (5)$$

Em que, AT = água tamponante (%); Ta_{50 hPa} = teor de água a 50 hPa (cm³ cm⁻³).

$$AR = 100 \times (Ta_{100 \text{ hPa}}) \quad (6)$$

Em que, AR = água remanescente (%).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A metodologia usando o tensiômetro possibilitou obter por duas vezes os pontos da curva de retenção de água entre as tensões aproximadas de 12 e 268 hPa em 13 dias. O modelo do tipo polinomial de terceiro grau (cúbico) se ajustou melhor aos dados de teor de água em base volumétrica e tensão de água no substrato, em relação aos outros modelos testados (Tabela 1),

evidenciado pelo alto coeficiente de determinação ($R^2 = 0,991$). O modelo cúbico estima bem o ponto de inflexão da curva de retenção de água, que identifica a tensão na qual cessa a drenagem do excesso de água após a saturação (SILVA et al., 2014).

Tabela 1. Modelos das regressões ajustadas entre teor de água e tensão de retenção de água do substrato fibra de coco e coeficiente de determinação R^2 .

Modelos	Equações	R^2
Linear	$Y = 0,2712 - 0,0009x$	0,839
Logarítmico	$Y = 0,6177 - 0,101 \ln(x)$	0,989
Exponencial	$Y = 2,5389x^{-0,638}$	0,939
Quadrático	$Y = 0,3492 - 0,0026x + 0,000006x^2$	0,975
Cúbico	$Y = 0,3892 - 0,0041x + 0,00002x^2 - 0,0000003x^3$	0,991

O uso de tensiômetros com sensores e sistema de aquisição de dados no presente estudo, resultou em economia de tempo e recursos por possibilitar leituras “in loco” de tensões entre 12 e 268 hPa, sem alterar as condições do substrato ou interferir no cultivo de plantas, além de evitar erros pelo manuseio de amostras do substrato em laboratório. Trabalho semelhante foi realizado por Liz et al. (2008), que utilizaram um mini sensor e obtiveram pontos da curva de retenção de água na faixa entre 0 e 110 hPa em cerca de cinco dias. Segundo os autores, a economia de energia e rapidez na obtenção de resultados são vantagens de utilizar sensores em relação à determinação em laboratório, porque as diferentes tensões são medidas continuamente em uma mesma amostra de substrato, que não precisa ser seca ao final da análise.

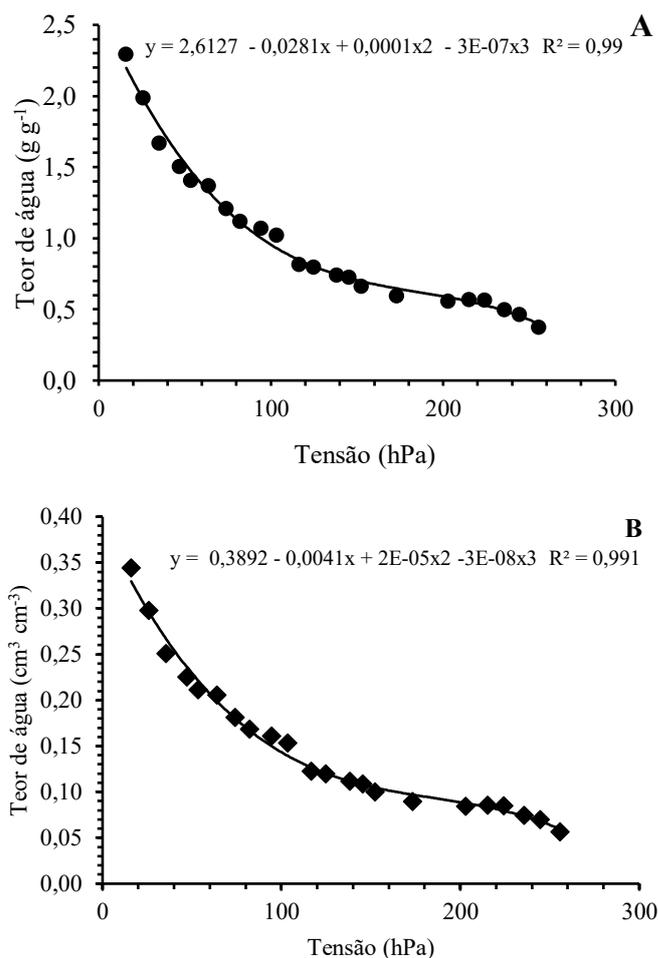
A importância da obtenção da curva de retenção de água da fibra de coco é ressaltada por Barret et al. (2016), em que as características de retenção de água do substrato, fornecidas por essa curva, são indicadores importantes da sua adequação como meio de crescimento de plantas. As informações fornecidas nessas curvas de retenção de água são muito úteis para o manejo da irrigação por permitirem determinar o momento da irrigação e a quantidade de água a ser repostada (MAROUELLI et al., 2011), por diferença entre o teor de água referente à tensão no momento da leitura e o teor de água de uma tensão de referência.

As curvas de retenção de água da fibra de coco, ajustadas conforme o modelo cúbico, estão apresentadas em base gravimétrica na Figura 1A e em base volumétrica na Figura 1B. Como elas representam um mesmo comportamento, os dados de retenção de água em base gravimétrica mostram a grande capacidade de retenção de água do material em si, devido a sua higroscopicidade e porosidade da matriz do substrato, enquanto que a curva em base volumétrica informa sobre a capacidade de armazenamento do recipiente no qual o substrato está contido. Para o ajuste das curvas foram usadas leituras de tensão entre 16 e 256 hPa. Na tensão de 256 hPa, o substrato ainda continha cerca de $0,38 \text{ g g}^{-1}$ de água, ou $0,06 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, enquanto que os maiores teores de água, obtidos em tensões de aproximadamente 16 hPa, alcançaram $2,29 \text{ g g}^{-1}$, ou $0,34 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

A escolha do modelo cúbico para a curva de retenção de água do substrato de fibra de coco considera que a estimativa da capacidade de retenção de água é muito influenciada pelo método de estimativa, que deve estar à altura da importância prática deste parâmetro, como afirmam Silva et al. (2014). Os modelos linear e quadrático foram considerados satisfatórios

para os objetivos do estudo de Schindler e Müller (2006) que os usaram para ajustar milhares de dados de tensão e retenção de água de diversos solos.

Figura 1. Teores de água da fibra de coco em função da tensão de água: (A) base gravimétrica e (B) base volumétrica.



O uso dos dados de teor de água em base volumétrica é adotado neste trabalho, e, conforme Liz et al. (2008) a alta porosidade da fibra de coco tende a diminuir durante o cultivo, além da contração durante o umedecimento e secagem. Nesse sentido, a porosidade do substrato é o volume de ar nele contido quando a drenagem cessa após a saturação e sua adequação para o crescimento das raízes no recipiente é determinado pela distribuição de poros do meio. Além disso, a frequência da irrigação é determinada considerando o pequeno volume do recipiente, o qual determina que o substrato fique saturado rapidamente durante irrigação e armazene pouca água entre irrigações. A quantidade de água a ser repostada a cada irrigação depende do tipo de substrato e do volume do recipiente (BARRET et al., 2016).

Os mesmos dados foram usados para o ajuste das regressões foram usados para determinar os parâmetros do modelo de Van Genuchten para o substrato de fibra de coco (Tabela 2). Observa-se que o ajuste do modelo de Van Genuchten apresentou coeficiente de determinação (0,991) igual ao obtido pelo ajuste ao modelo cúbico, que é de obtenção mais simples.

Tabela 2. Parâmetros da equação de retenção de água do substrato fibra de coco ajustada ao modelo de Van Genuchten e coeficiente de determinação R^2 .

α	θ_s	θ_r	N	m	R^2
0,026	0,368	0,01	1,904	0,473	0,991

θ_r = umidade residual do solo; θ_s = umidade de saturação do solo; α , n e m = parâmetros de ajuste do modelo.

O modelo de Van Genuchten, quando ajustado para solos minerais, apresenta as tensões mais baixas correspondentes à faixa de saturação e ligadas ao conteúdo de água em macroporos, que são semelhantes as obtidas no presente trabalho com fibra de coco, enquanto que as tensões mais altas, cerca de 15000 hPa correspondem ao conteúdo residual de água no solo, no caso da fibra de coco o conteúdo residual de água já se manifesta em tensões pouco maiores do que 100 hPa (CARDUCCI et al., 2011). Neste sentido, Quintero et al. (2006) também usaram o modelo de Van Genuchten para ajustar a curva de retenção de água da fibra de coco e obtiveram teor de água de $13,6 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ a 100 hPa, valor semelhante ao obtido neste estudo. Os parâmetros apresentados na Tabela 2, mostram um baixo θ_r , quando comparado a valores encontrados para solos minerais, como os encontrados por Melo Filho et al. (2015), que variaram entre 0,14 e $0,20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Isso pode ser atribuído aos teores mais baixos de água da fibra de coco, que ocorrem em tensões de água muito menores do que as tensões observadas em solos, podendo ser efeito direto da sua alta macroporosidade. Segundo esses autores, os valores elevados observados para os parâmetros de ajuste “n” e “m” indicam a alta declividade da curva.

Observa-se que a curva de retenção de água obtida pelo modelo de Van Genuchten para o substrato de fibra de coco (Figura 2) apresenta formato e valores praticamente iguais aos obtidos quando a curva foi ajustada pelo modelo cúbico. Neste sentido, a regressão linear entre os valores estimados conforme o modelo cúbico e os estimados conforme o modelo de Van Genuchten mostra concordância quase perfeita (Figura 3) e o mesmo coeficiente de determinação elevado (0,991) obtido nos dois modelos. Observa-se também na Figura 3 que a reta obtida pela regressão linear coincide muito bem com a reta 1:1.

Figura 2. Teores de água do substrato fibra de coco em função da tensão, obtidas conforme o modelo de Van Genuchten, nos dois ciclos de leituras.

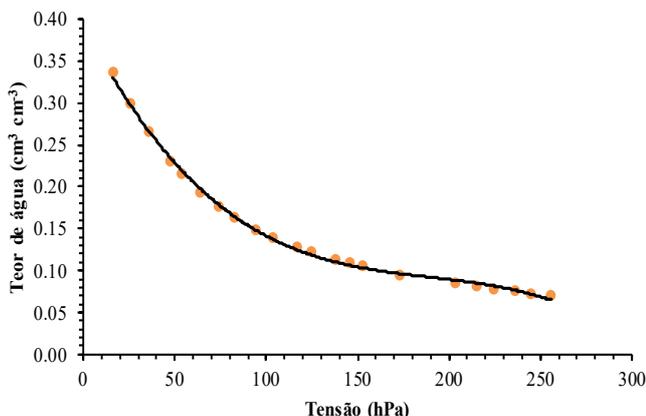
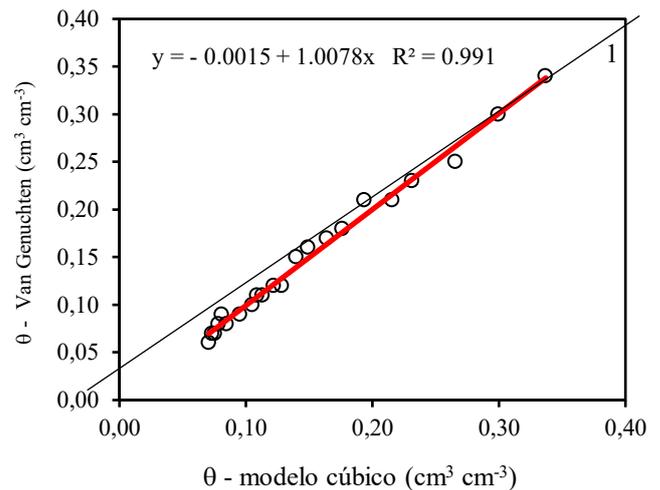


Figura 3. Regressão linear comparando dados de teor de água (θ) da fibra de coco estimados pela equação de van Genuchten com os dados estimados pela regressão cúbica



A concordância quase perfeita entre os valores estimados pelo modelo cúbico e os estimados pelo modelo de Van Genuchten, conforme demonstrado pelo coeficiente de determinação da regressão linear entre eles, pode ser explicada pelo fato de que o modelo de Van Genuchten deve ajustar teores de água correspondentes a dados de tensão obtidos com intervalos fixos e crescentes, em geral, são oito pontos entre 0 e 15000 hPa (CARDUCCI et al., 2011). Entretanto, o método testado neste trabalho permitiu obter leituras de tensão de forma quase contínua, em que os intervalos entre as leituras de tensão eram pequenos e se obteve grande número de pontos. Um bom ajustamento conforme o coeficiente de determinação também foi obtido por Silva et al. (2014) quando compararam os modelos polinomial cúbico e de Van Genuchten para estimar o ponto de inflexão da curva de retenção de água para solos. Porém, os autores ressaltam que a estimativa da capacidade de campo difere conforme o modelo usado.

O modelo cúbico ajustado aos dados de retenção de água da fibra de coco também permitiu calcular os parâmetros hídricos da fibra de coco necessários ao manejo adequado da irrigação deste substrato em recipientes. Esses parâmetros delimitam a disponibilidade de água entre as tensões de 10 e 100 hPa (LIZ et al., 2008) e mostram que as plantas têm uma disponibilidade de água correspondente a 20% do volume do recipiente, sendo que aproximadamente 12% deste volume é de água facilmente disponível.

Tabela 3. Parâmetros hídricos do substrato fibra de coco obtidos por meio do modelo de regressão cúbica ajustado entre teor de água e a tensão de retenção de água.

Parâmetros	Valor em %
Porosidade cheia de ar	3,90
Água disponível	20,10
Água tamponante	8,13
Água remanescente	14,92

Segundo Fields et al. (2014), a água disponível para plantas cultivadas em substrato está retida em tensões entre 10 e 100 hPa, que definem a capacidade do recipiente, enquanto a água é facilmente disponível entre 10 e 50 hPa. Nas tensões de água acima de 100 hPa, as plantas tem sua produção prejudicada. Por isso, as plantas devem ser irrigadas antes que

a tensão de água caia abaixo de 50 hPa. Por segurança, a irrigação deve iniciar quando determinada fração da água facilmente disponível for consumida e terminar quando a capacidade do recipiente for alcançada (SAVVAS; GRUDA, 2018),

A baixa porosidade cheia de ar (PCA) encontrada para o substrato de fibra de coco, apresentada na Tabela 3 (3,9%), causa preocupação quanto à espécie de planta a ser cultivada e ao manejo da irrigação a ser adotado. Segundo Liz et al. (2008) um substrato adequado deve ter uma PCA maior do que 10%, o mesmo valor citado por Schindler e Müller (2017), como necessário para evitar estresse devido às limitações de ar para as raízes, enquanto Schafer et al. (2015) citam valores entre 20 e 30% como ideais. Esse volume, que é constituído por macroporos, contém água quando o substrato está saturado, mas quando é deixado drenar entre as tensões de água de 0 e 10 hPa, a água é rapidamente perdida e substituída por ar (KUKAL et al., 2012; SCHAFFER et al., 2015; ZORZETO et al., 2014).

Por outro lado, foi determinado que a fibra de coco possui um volume de 20,10% (Tabela 3) de água disponível (AD) que, segundo Kukal et al. (2012), é a água retida no substrato por forças compatíveis com a capacidade de extração pelas raízes. Se o substrato tem um volume baixo de AD, a irrigação deve ser realizada com frequência maior e ser aplicado um menor volume de água. Valor semelhante (21%) foi obtido por Liz et al. (2008) em substrato comercial composto de fibra de coco, mas os autores citam como referência o valor de 50%. Entretanto, Schindler e Müller (2017) afirmam que a AD de um substrato de boa qualidade deve ser maior do que 24%, enquanto que Schafer et al. (2015) citam que a faixa ideal está entre 25 e 35% e que valores maiores prejudicam a drenagem do substrato.

A fibra de coco apresentou volume de 8,13% de água tamponante (AT), que é a parte da água disponível entre as tensões de 50 e 100 hPa, de modo que a maior dificuldade de extração determina reações fisiológicas de adaptação das plantas (KUKAL et al., 2012). O valor obtido de AT é adequado aos valores de referência entre 4 e 10%, segundo Liz et al. (2008), e cerca de 5% conforme Schafer et al. (2015).

Em relação aos 14,92% de água remanescente (AR) determinados para a fibra de coco neste trabalho, outros estudos com fibra de coco obtiveram 8,1% (QUINTERO et al., 2006) e 10% (LIZ et al., 2008). De acordo com Schafer et al. (2015) apesar de não ser disponível para a maioria das plantas, esse volume de água é importante porque influencia diversas propriedades dos substratos e, por isso, deve estar entre 20 e 30%.

Segundo Liz et al. (2008), além da falta de padronização do substrato de fibra de coco, diferenças em teor de água observados em diferentes estudos publicados podem ser explicadas por erros de leitura que resultam em variação nos pontos da curva, ao efeito do condicionamento do substrato nos recipientes, à possível diferença no teor inicial de água das 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.

CONCLUSÕES

O uso de tensiômetros no substrato fibra de coco mostrou-se uma maneira rápida e prática de determinação da curva de retenção de água, a qual foi obtida a partir de leituras de tensão

quase contínuas entre 12 e 268 hPa, referentes a teores de água entre 0,37 e 0,05 cm³ cm⁻³. Assim, foi possível ajustar a curva de retenção de forma simples, usando modelos de regressão com elevados coeficientes de determinação. Os parâmetros hídricos obtidos do substrato são menores do que os referidos na literatura e úteis para o manejo adequado da irrigação em recipientes contendo o mesmo substrato.

REFERÊNCIAS

- ALEMAN, C. C.; MARQUES, P. A. A. Irrigation and organic fertilization on the production of essential oil and flavonoid in chamomile. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(12):1045-1050, 2016. 10.1590/1807-1929/agriambi.v20n12p1045-1050
- BARRETT, G. E.; ALEXANDER, P. D.; ROBINSON, J. S.; BRAGG, N. C. Achieving environmentally sustainable growing media for soilless plant cultivation systems – A review. *Scientia Horticulturae*, 212:220–234, 2016. 10.1016/j.scienta.2016.09.030
- BEZERRA, A. C. M.; VALENÇA, D. C.; CARVALHO, D. F.; PINHO, C. F.; REINERT, F.; GOMES, D. P.; GABETTO, F. P.; AZEVEDO, R. A.; MASSERONI, D.; MEDICI, L. O. Automation of lettuce seedlings irrigation with sensors deployed in the substrate or at the atmosphere. *Scientia Agrícola*, 76(2):179–189, 2019. 10.1590/1678-992X-2017-0163
- CARDUCCI, C. E.; OLIVEIRA, G. C.; SEVERIANO, E. C.; ZEVIANI, W. M. Modelagem da curva de retenção de água de Latossolos utilizando a Equação Duplo Van Genuchten. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35(1):77-86, 2011. 10.1590/S0100-06832011000100007
- CIRELLI, A.; ARUMÍ, J.; RIVERA, D.; BOOCHS, P. D. Environmental effects of irrigation in arid and semi-arid regions. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69(Suppl. 1):27-40, 2009. 10.4067/S0718-58392009000500004.
- COELHO, E. F.; SILVA, A. J. P.; MAROUELLI, W. A.; COSTA, F. S. Manejo da água de irrigação. In: COELHO, E. F. Irrigação da bananeira. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 280p.
- COSTA, E.; CURI, T. M. R. C.; FIGUEIREDO, T.; BINOTTI, F. F. S.; CARDOSO, E. D. Kale seedlings production in different substrates, cell volumes and protected environments. *Engenharia Agrícola*, 37(1): 46-53, 2017. 10.1590/1809-4430-eng.agric. v37n1p46-53/2017
- FIELDS, J. S.; FONTENO, W. C.; JACKSON, B. E. Plant available and unavailable water in greenhouse substrates: assessment and considerations. *Acta Horticulturae*, 1034:341–346, 2014. 10.17660/ActaHortic.2014.1034.42
- GRUDA, N. S. Increasing sustainability of growing media constituents and stand-alone substrates in soilless culture systems. *Agronomy*, 9(6): 298, 2019. 10.3390/agronomy9060298
- KUKAL, S.; SAHA, D.; BHOWMIK, A.; DUBEY, R. K. Water retention characteristics of soil bio-amendments used as

- growing media in pot culture. *Journal of Applied Horticulture*, 14(2):92–97, 2012. 10.37855/jah.2012.v14i02.18
- LIZ, R. S.; GALBO, A. G.; CARRIJO, O. A.; OLIVEIRA, C. A. S. Mini sensor Irrigas® na determinação da curva de retenção de água em substratos para hortaliças. *Horticultura Brasileira*, 26(4):504-509, 2008. 10.1590/S0102-05362008000400016
- MARIOTTI, B.; MARTINI, S.; RADDI, S.; TANI, A.; JACOBS, D. F.; OLIET, J. A.; MALTONI, A. Coconut coir as a sustainable nursery growing media for seedling production of the ecologically diverse *Quercus* species. *Forests*, 11(5):522, 2020. 10.3390/f11050522
- MAROUELLI, W. A.; OLIVEIRA, Á. S.; COELHO, E. F.; NOGUEIRA, L. C.; SOUSA, V. F. Manejo da água de irrigação. In: SOUSA, V. F.; MAROUELLI, W. A.; COELHO, E. F.; PINTO, J. M.; COELHO FILHO, M. A. Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. 771 p.
- MELO FILHO, J. F.; SACRAMENTO, J. A. A. S.; CONCEIÇÃO, B. P. S. Curva de retenção de água elaborada pelo método do psicrômetro para uso na determinação do índice “S” de qualidade física do solo. *Revista Engenharia Agrícola*, 35(5):959-966, 2015. 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v35n5p959-966/2015
- MIRANDA, F. R.; SILVA, V. B.; SANTOS, F. S. R.; ROSSETTI, A. G.; SILVA, C. F. B. Production of strawberry cultivars in closed hydroponic systems and coconut fibre substrate. *Revista Ciência Agronômica*, 45 (4):833-841, 2014. 10.1590/S1806-66902014000400022
- OLIVEIRA, M. S.; CARVALHO, D. F.; GOMES, D. P.; PEREIRA, F. A. C.; MEDICI, L. O. Production of cut sunflower under water volumes and substrates with coconut fiber. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(12):859-865, 2018. 10.1590/1807-1929/agriambi.v22n12p859-865
- PUTRA, P. A.; YULIANDO, H. Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: a review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 3:283-288, 2015. 10.1016/j.aaspro.2015.01.054
- QUINTERO, M. F.; GONZALEZ, C. A.; FLOREZ-RONCANCIO, V. J. Physical and hydraulic properties of four substrates used in the cut-flower industry in Colombia. *Acta Horticulturae*, 718:499-506, 2006. 10.17660/ActaHortic.2006.718.58
- SAVVAS, D.; GRUDA, N. Application of soilless culture technologies in the modern greenhouse industry—A review. *European Journal of Horticultural Science*, 83(5):280–293. 2018. 10.17660/eJHS.2018/83.5.2
- SCHAFER, G.; SOUZA, P. V. D.; FIOR, C. S. Um panorama das propriedades físicas e químicas de substratos utilizados em horticultura no sul do Brasil. *Ornamental Horticulture*, 21(3):299-306, 2015. 10.14295/oh.v21i3.735
- SCHINDLER, U.; MÜLLER, L. Hydraulic performance of horticultural substrates: 2. Development of an evaluation framework. *Horticulturae*, 3(1):6, 2017. 10.3390/horticulturae3010006
- SCHINDLER, U.; MÜLLER, L. Simplifying the evaporation method for quantifying soil hydraulic properties. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169(5):623-629, 2006. 10.1002/jpln.200521895
- SILVA, B. M.; SILVA, É. A.; OLIVEIRA, G. C.; FERREIRA, M. M.; SERAFIM, M. E. Plant-available soil water capacity: estimation methods and implications. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(2):464-475, 2014. 10.1590/S0100-06832014000200011
- SILVA, A. R.; BEZERRA, F. T. C.; CAVALCANTE, L. F.; PEREIRA, W. E.; ARAÚJO, L. M.; BEZERRA, M. A. F. Frequency of irrigation with saline water in sugar-apple seedlings produced on substrate with polymer. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(12):825-830, 2018. 10.1590/1807-1929/agriambi.v22n12p825-830
- SOUSA, W. L.; CRUZ, E. S.; MEDICI, L. O.; SALVADOR, C. A.; CARVALHO, D. F. Avaliação de um acionador automático para irrigação em substratos agrícolas com diferentes características de retenção de água. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 3(4): 3944-3956, 2020. 10.34188/bjaerv3n4-092
- TSAKALDIMI, M.; GANATSAS, P. A synthesis of results on wastes as potting media substitutes for the production of native plant species. *Reforesta*, 1(1):147–163, 2016. 10.21750/REFOR.1.08.8
- VANOMARK, G. M. M. S; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; BEZERRA, J. R. C.; SANTOS, C. A. C.; AZEVEDO, P. V.; SILVA, S. T. A.; BEZERRA, B. G. Energy balance partitioning and evapotranspiration from irrigated muskmelon under semi-arid conditions. *Bragantia*, 77(1):168–180, 2018. 10.1590/1678-4499.2016453
- ZHANG, T., ZOU Y., KISEKKA, I., BISWAS, A., CAI, H. Comparison of different irrigation methods to synergistically improve maize's yield, water productivity and economic benefits in an arid irrigation area. *Agricultural Water Management*, 243:106497, 2021. 10.1016/j.agwat.2020.106497
- ZORZETO, T. Q.; DECHEN, S. C. F.; ABREU, M. F.; FERNANDES JÚNIOR, F. Caracterização física de substratos para plantas. *Bragantia*, 73(3):300-311, 2014. 10.1590/1678-4499.0086