

DISPONIBILIDADE HÍDRICA E CINÉTICA DA LIBERAÇÃO DE POTÁSSIO EM DIFERENTES SUBSTRATOS PARA PRODUÇÃO DE MUDAS

BEATRIZ SANTOS CONCEIÇÃO¹; LUIZ ANTÔNIO LIMA²; JOSÉ ANTONIO DO VALE SANT'ANA³ E MICHAEL SILVEIRA THEBALDI⁴

¹ Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, Avenida Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, Viçosa – MG. CEP: 36570-900, e-mail: biasantos1@hotmail.com

² Departamento de Engenharia, UFLA, Caixa Postal 3037, Lavras-MG, e-mail: lalima@deg.ufla.br

³ Departamento de Engenharia, UFLA, Caixa Postal 3037, Lavras-MG, e-mail: zinhojaves@yahoo.com.br

⁴ Departamento de Engenharia, UFLA, Caixa Postal 3037, Lavras-MG, e-mail: michaelsilveira@gmail.com

1 RESUMO

O uso de substratos que satisfaça de forma adequada às exigências de retenção hídrica e nutricionais contribui para produção de plantas com melhor qualidade. O objetivo desse trabalho foi determinar curvas características de retenção de água, e avaliar a cinética de liberação de potássio de seis substratos para produção de mudas. Os substratos avaliados eram materiais comerciais, com diferentes proporções de casca de pinus, esterco, serragem, fibra de coco, vermiculita, casca de arroz, cinza, terra vegetal, carvão vegetal e turfa. As curvas de retenção de água foram elaboradas a partir do ajuste dos valores de umidade volumétrica obtidos nos percentuais de água retida por tensão. A granulometria foi determinada em amostras de substrato seco ao ar, colocadas sobre peneiras e agitadas manualmente por três minutos. O teor de potássio solúvel foi determinado em extrato obtido pela proporção substrato: água 1:5, agitada em mesa com movimento horizontal com tempo variando de uma a trinta e seis horas. Os seis substratos estudados possuem diferentes capacidades de retenção de água e ar, em função, principalmente, de sua granulometria. As análises de liberação do potássio indicam que grande quantidade de potássio pode ser lixiviada, com diferentes comportamentos de liberação do nutriente entre os substratos estudados.

Palavras-chave - Granulometria. Nutriente. Porosidade.

CONCEIÇÃO, B. S.; LIMA, L. A.; SANT'ANA, J. A. V.; THEBALDI, M. S.
WATER RETENTION AND KINETICS OF POTASSIUM RELEASE IN DIFFERENT
SUBSTRATES FOR SEEDLING PRODUCTION

2 ABSTRACT

The use of substrates that meets properly water and nutrient requirements contributes to production of plants with better quality. The objective of this study was to determine the characteristic curves of water retention and evaluate the kinetics of potassium release from six substrates for seedling production. The substrates consisted of commercial materials with different ratios of pine bark, manure, sawdust, coconut fiber, vermiculite, rice husk, ash, topsoil, charcoal and peat. Water retention curves were drawn based on the adjustment of

volumetric moisture data from water retained under different tension values. For determining the particle size distribution, samples of 100g of substrate were dry in air, placed over a set of sieves and stirred manually for three minutes. The content of water-soluble potassium was determined from the extract obtained by the substrate water ratio 1:5, stirred with horizontal motion for a time range from one to thirty six hours. The results showed that all six substrates have different retention capacity of water and air, as a function mainly of their granulometry. Analyses of potassium release showed that large amounts of potassium can be leached, and the study substrates can present different behaviors concerning the nutrient release.

Keywords: granulometry, nutrient, porosity.

3 INTRODUÇÃO

O termo substrato se refere ao suporte físico para o crescimento de raízes de plantas cultivadas em recipientes, em substituição ao solo. Existe uma ampla oferta de matérias primas, dependendo da região de origem, que podem ser utilizadas como substrato. A escolha do substrato deve ser feita em função da disponibilidade e custo do material, suas características físicas e químicas, espécie a ser cultivadas e condições de produção (SILVA et al., 2004). Os materiais mais utilizados são a casca de arroz carbonizada, turfa, fibra de coco, bagaço de cana, cama de frango, húmus de minhoca e esterco de bovinos.

Os substratos devem apresentar as seguintes características: possuir alta capacidade de armazenamento de água, ser poroso com o intuito de facilitar a aeração, ser estável ao longo do tempo, ter alta capacidade de absorção, estar livre de patógenos, pragas, sementes de plantas infestantes e substâncias nocivas ao desenvolvimento das plantas. Segundo Minami e Salvador (2010) nos substratos com mais macroporos, a drenagem é rápida e por isso, o encharcamento quase nunca acontece; há também melhor respiração pelas raízes, conseqüentemente, melhor absorção de nutrientes. Contudo, materiais com maior granulometria apresentam menor capacidade de retenção de água, exigindo irrigações mais frequentes. Conforme Barreto, Testezlaf e Salvador (2012), o tamanho médio de partículas e a porosidade dos substratos condicionam as propriedades matriciais, interferindo na capacidade de retenção e de transmissão da água no meio.

As mudas precisam de um substrato que satisfaça, além das exigências de retenção hídrica, as suas exigências nutricionais, para favorecer o seu desenvolvimento, além de demandarem aplicações periódicas de nutrientes, que devem ser frequentes devido à alta lixiviação e do volume limitado de substrato.

As plantas utilizam a forma solúvel do potássio, que é um nutriente facilmente lixiviável em substratos. Thebaldi (2011), trabalhando com irrigação de mudas de espécies florestais produzidas em tubetes, concluiu que as subirrigações proporcionaram alterações na concentração apenas de potássio no substrato, sendo que a maioria das características químicas avaliadas nos substratos permaneceu inalterada em função das subirrigações. De acordo com Silva et al. (2008), extrações sucessivas do potássio com extratores químicos, ajustadas por modelos matemáticos, podem simular o efeito da planta em absorver K^+ do solo, disponibilizando resultados em curto prazo, isto é, permitem investigar o comportamento do solo e de suas diferentes frações granulométricas quanto à capacidade de fornecimento de K^+ .

Alguns ácidos fortes têm sido utilizados para estudar a cinética de liberação de potássio, mas apresentam a desvantagem de dissolver as estruturas dos minerais. Segundo

Minami e Salvador (2010), quando se faz a análise do solo, usam-se extratores fortes, mas no caso de substratos, o extrator deve ser muito fraco ou até em certos casos, usar a água como extrator, porque o que realmente interessa é a parte prontamente disponível.

Diversas pesquisas já foram realizadas com intuito de conhecer qual o melhor substrato, ou a mistura mais apropriada para a produção de mudas em diferentes recipientes (CAMPANHARO et al., 2006; GALVÃO et al., 2007; MENDONÇA et al., 2007; SOUZA et al., 2007, SILVA et al., 2009; BARDIVIESSO et al., 2011). No entanto não há na literatura trabalhos que abordem a cinética de liberação de potássio em substratos comerciais para produção de mudas.

Dentro desse contexto, o objetivo com esse trabalho foi determinar curvas características de retenção de água, com relação à composição e distribuição granulométrica do substrato e também avaliar a cinética de liberação de potássio de seis substratos utilizados na produção de mudas.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este experimento foi conduzido no Laboratório de Relação Água-Solo-Planta do setor de Engenharia de Água e Solo da UFLA. Foram utilizados seis substratos comerciais denominados no estudo de S1, S2, S3, S4, S5 e S6.

A composição dos substratos encontra-se na Tabela 1. O substrato S1 é composto por várias misturas e o S2 tem em sua composição, cinza, turfa, além de derivados da mistura formada pela decomposição de restos vegetais, enquanto que os demais são constituídos por dois a três componentes.

Tabela 1. Proporção (v/v) dos materiais utilizados na formulação de substratos.

Substrato	Composição (%)											Outros materiais
	Cp	Es	Sg	Fc	Vm	Ge	Ca	Cz	Tv	Cv	Tf	
S1	30	7	3	30	10	4	16					
S2								20			40	40
S3	70								30			
S4	75				25							
S5	60				30						10	
S6	60			20							20	

Cp - Casca de pinus, Es - esterco, Sg - serragem, Fc - fibra de coco, Vm - vermiculita, Ge - gesso, Ca - casca de arroz, Cz - cinza, Tv - terra vegetal, Cv - carvão vegetal, Tf - turfa, outros materiais - derivados da mistura formada pela decomposição de restos vegetais.

As análises químicas dos substratos, realizadas pelo Laboratório de análises agrícolas e ambientais (AGRILAB), se encontram na Tabela 2. Foram utilizados seis substratos com cinco repetições.

Tabela 2. Características químicas dos substratos estudados.

Características	S1	S2	S3	S4	S5	S6
pH em água	5,00	6,45	5,42	5,95	6,24	5,6
C orgânico % (m/m)	23,49	4,48	11,77	32,34	15,32	17,9
N total (mg kg ⁻¹)	6300	6300	4900	10500	7700	6500
P (mg kg ⁻¹)	7,7	3,3	2,5	8,3	3,8	6,4
K (total) (mg kg ⁻¹)	1580	1045	450,6	597,2	619,0	500
Ca (mg kg ⁻¹)	500	924,5	170,7	751,5	888,9	108
Mg (mg kg ⁻¹)	288	319,3	44,9	223,8	848,0	665
S (mg kg ⁻¹)	56,9	62,3	19,7	40,7	101,7	24,6
B (mg kg ⁻¹)	0,40	0,47	0,5	0,35	0,33	0,1
Cu (mg kg ⁻¹)	0,11	0,12	0,15	0,11	0,19	0,1
Fe (mg kg ⁻¹)	3,80	2,47	1,05	0,59	2,78	2,51
Mn (mg kg ⁻¹)	5,32	1,74	2,54	1,41	1,75	1,95
Zn (mg kg ⁻¹)	0,76	0,29	0,30	0,12	0,29	0,59
CEe (μS cm ⁻¹)	818,6	898,7	199,5	610,2	1637,0	600,0

CEe = condutividade elétrica do extrato saturação. Segundo AGRILAB, as análises: Nitrogênio (mg kg⁻¹), teores totais. Demais elementos, teores solúveis no extrato 1:10 (Normas da Federação dos Institutos de Pesquisas e Análises Agrícolas da Alemanha).

Os substratos foram secados em estufa a 60°C, por 24 horas. Os substratos secos foram colocados em anéis metálicos volumétricos de 0,030 m de altura e 0,038 m de diâmetro, nos quais foram adicionados os substratos que foram comprimidos, com um suporte plano, até atingir 0,030 m de altura. Isso foi realizado para permitir o completo preenchimento do cilindro com o substrato, por causa da granulometria mais grossa de alguns materiais, conforme Ferraz, Centurion e Beutler (2005).

Nessas amostras, foram determinados os conteúdos de água retida nas tensões 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 hPa, com cinco repetições. Os anéis preenchidos com os substratos foram colocados para saturar, com água destilada, em bandejas plásticas por 24 horas. Em seguida foram transferidos para os funis de tensão com base de placa porosa. Os anéis foram submetidos às diferentes tensões, até atingir o ponto de equilíbrio que em geral ocorreu antes de 24 horas. Depois de atingido o equilíbrio, os anéis foram retirados dos funis, pesados, determinando-se a umidade correspondente a cada tensão. Posteriormente, os substratos foram pesados e levados à estufa a 60°C por 24 horas, para determinação dos teores de umidade.

O espaço de aeração (diferença entre a porosidade total do substrato e o volume de água retido a 10 hPa), a água disponível (volume de água retido no substrato na faixa de tensão entre 10 e 100 hPa); água facilmente disponível (volume de água retido entre a tensão de 10 e 50 hPa), água tamponante (volume de água retido entre a tensão 50 e 100 hPa) e água remanescente (volume de água que é retida no material após ter sido submetido à tensão de 100 hPa) foram determinados conforme metodologia proposta por Boodt e Verdonck (1972). A porosidade total foi obtida pela equação:

$$P_t = \left(1 - \frac{\rho_g}{\rho_p} \right) \times 100 \quad (1)$$

Em que ρ_g é a densidade global (g cm^{-3}), ρ_p a densidade de partículas (g cm^{-3}) e P_t a porosidade total (%).

Com os valores das umidades associadas aos seus respectivos potenciais mátricos, as curvas de retenção de água foram obtidas a partir do ajuste da equação proposta por Genuchten (1980):

$$\theta = \theta_R + \frac{\theta_S - \theta_R}{\left[1 + (\alpha|h|)^n\right]^m} \quad (2)$$

Em que θ a umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$), θ_r a umidade residual ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$), θ_s a umidade de saturação ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$), h o potencial mátrico e α , m e n os parâmetros empíricos da equação. Os ajustes dos parâmetros do modelo proposto foram feitos a partir da ferramenta Solver do Microsoft Excel 2007. Para isso, utilizou a umidade média das cinco repetições de cada sucção.

Para a determinação da granulometria, foram utilizadas amostras de 100 g de substrato seco ao ar, colocada sobre um conjunto de peneiras, agitados manualmente por três minutos. As malhas das peneiras empregadas foram 4,75, 2,8, 1,7, 0,85, 0,425 e 0,25 mm. Após a agitação, o material retido em cada peneira foi pesado e utilizado para calcular a porcentagem em relação ao peso da amostra (média de 5 amostras).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, considerando um único fator (substrato), e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5%, com o uso do programa estatístico Sisvar.

Para a determinação da liberação de potássio foi utilizado o método oficial europeu (COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION - CEN, 2003). O teor de potássio solúvel em água foi determinado a partir do extrato obtido pela proporção substrato: água 1:5 (v/v). Uma massa de 5 g de substrato foi misturada a 25 mL de água destilada. Esse material foi agitado em mesa com movimento horizontal, com tempo de contato de cada extração variável, de 1, 4, 8, 12, 16, 20, 24 e 36 horas. Posteriormente as amostras foram centrifugadas durante 10 minutos a 3.500 rpm e filtradas, obtendo-se assim o extrato. Retirou-se uma alíquota de 20 mL, onde foi determinada a concentração de K^+ , por fotometria de chama.

A relação entre a quantidade de potássio, extraída em água destilada dos substratos com o tempo de equilíbrio das amostras, foi descrita pela equação parabólica de difusão, empregadas para descrever a cinética das reações dos constituintes dos solos (MELO et al., 2005):

$$K_t K_a^{-1} = a + bt^{1/2} \quad (3)$$

Em que K_t representa a quantidade de potássio liberado no tempo t , K_a o potássio acumulado liberado até 121 horas e a e b os coeficientes ajustados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância indicou efeito significativo dos substratos para os parâmetros porosidade total, espaço aeração e água disponível (Tabela 3). Fernandes, Cora e Braz (2006) ao avaliarem as alterações nas propriedades físicas de substratos provenientes da combinação

de diferentes proporções volumétricas de areia média, como é comercialmente conhecida, bagaço de cana-de-açúcar, resultante da extração do caldo dos colmos e casca de amendoim, moída e passada em peneira com abertura de 6 mm x 18 mm em função de sua reutilização para o cultivo do tomateiro do grupo cereja, também encontraram diferenças significativas nas propriedades físicas dos substratos, exceto para o volume de água tamponante.

Os substratos apresentaram valores de porosidade total (PT) próximos ao valor considerado ideal (Tabela 4), de $0,85 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ conforme Boodt e Verdonck (1972), com ressalva para os substratos S3 e S2, com valores de $0,604$ e $0,65 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ respectivamente.

Tabela 3. Quadrados médios da análise de variância dos dados de porosidade total (PT), espaço de aeração (EA), água disponível (AD), água facilmente disponível (AFD), água tamponante (AT) e água remanescente (AR), para os diferentes substratos avaliados. Lavras – MG, 2013.

Fv	Gl	PT	EA	AD	AFD	AT	AR
Substrato	5	0,012**	0,014**	0,005	0,005	0,0002	0,0038**
Erro	24	0,00	0,002	0,002	0,003	0,0013	0,0004
CV (%)		4,07	40,28	23,60	36,08	64,18	6,08

** significativo a 1% e a 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 4. Valores médios das propriedades físicas dos substratos estudados.

Substratos	PT	EA	AD	AFD	AT	AR
S1	0,707a	0,201 a	0,200 a	0,145 a	0,055 a	0,308 c
S2	0,65 b	0,070 b	0,231 a	0,146 a	0,059 a	0,377 ab
S3	0,604b	0,074 b	0,171 a	0,120 a	0,051 a	0,358 ab
S4	0,720 a	0,146 ab	0,231 a	0,165 a	0,066 b	0,340 ab
S5	0,726a	0,128 ab	0,245 a	0,184 a	0,060 a	0,352 ab
S6	0,720 a	0,066 b	0,264 a	0,216 a	0,048 a	0,386 a
Referência ¹	0,85	0,10-0,4	0,24-0,40	0,10-0,30	0,04-0,10	0,25-0,30

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

¹ Valores conforme Boodt e Verdonck (1972), Boodt, Verdonck e Cappaert (1974), Fermino (2003) e Grassi Filho e Santos (2004).

O espaço de aeração medido, dos substratos S1, S4, e S5 está dentro da faixa de referência ($0,10 - 0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$), sugerido por Boodt, Verdonck e Cappaert (1974). O acréscimo de casca de arroz carbonizada no substrato S1 provavelmente ocasionou um aumento no espaço de aeração. O substrato S2 apresentou o menor valor de espaço de aeração, portanto deve-se atentar para evitar que a frequência de irrigação utilizada não proporcione escassez de oxigênio ao sistema radicular das plantas cultivadas com este tipo de substrato. A falta da aeração pode provocar danos e inclusive a morte das raízes.

A faixa de $0,24 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ a $0,40 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ é aquela considerada ideal para o volume de água disponível de substratos (BOODT; VERDONCK, 1972). Os substratos S1 e S3 apresentaram reduzido volume de água disponível (Tabela 4), o que indica que a disponibilidade de água é um fator de restrição, principalmente o substrato S3 com o menor valor de água disponível, o que proporciona rápida drenagem da água fornecida, requerendo menor lâmina e maior frequência de irrigação para evitar um possível estresse hídrico para as plantas. O teor de água facilmente disponível está dentro da faixa considerada ideal, para as plantas, ou seja, representa de 75 a 90% do valor total de água disponível.

Os substratos apresentaram valores altos para a variável água tamponante (Tabela 4), em comparação aos valores de referência descritos por Fermino (2003). O substrato S4 e S5 apresentaram os maiores valores médios de água tamponante, evento que contribui para a menor oscilação da quantidade de água ofertada para a planta durante o dia, favorecendo assim seu crescimento e desenvolvimento.

Quanto ao volume de água remanescente, cujo padrão ideal fica na faixa de 0,25 a 0,30 m³ m⁻³, os substratos apresentaram valores ligeiramente superiores ao valor considerado ideal (Tabela 4). Esse valor, obtido na tensão de 100 hPa, pode ser um agravante para a produção de mudas, principalmente se ocorrerem erros no manejo da irrigação, uma vez que após atingir um reduzido teor de água, o substrato pode necessitar de alto volume de água para iniciar o processo de reidratação.

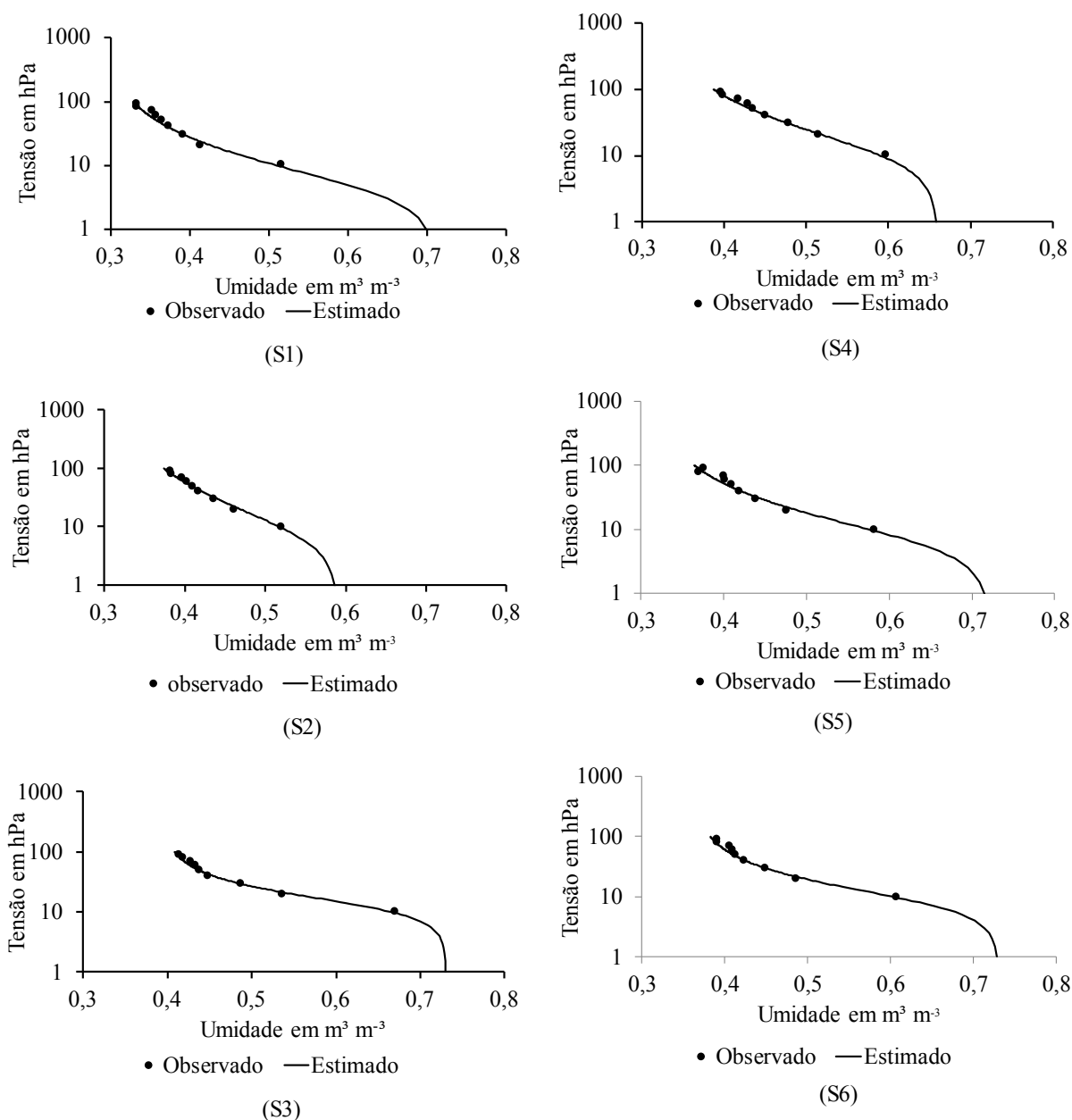
Na Figura 1 encontram-se a curva característica de retenção de água dos substratos, obtidos com modelo de Genuchten (1980) e na Tabela 5 os parâmetros de ajuste do modelo para os diferentes substratos estudados, cujos coeficientes de determinação (R²) foram altos.

Tabela 5. Parâmetros de ajuste do modelo de Genuchten (1980), para os diferentes substratos estudados.

Substratos	α	n	m	θ_s	θ_R	R ²
S1	0,205	1,720	0,419	0,710	0,278	0,993
S2	0,082	1,722	0,419	0,660	0,312	0,994
S3	0,118	1,507	0,337	0,590	0,287	0,992
S4	0,138	1,750	0,429	0,720	0,360	0,999
S5	0,108	2,192	0,544	0,730	0,360	0,992
S6	0,072	2,634	0,620	0,730	0,360	0,993

Avaliando-se as curvas características de retenção de água (Figuras 1), referente à umidade média das cinco repetições de cada sucção, ajustadas pelo modelo de Genuchten (1980), verifica-se que a perda de água dos substratos não foi uniforme na faixa de tensão entre 0 e 10 hPa, com variações mais acentuadas para os substratos S3 e S2. O substrato S5 e S6 expuseram características semelhantes quanto à perda de água nessa faixa de tensão (0 a 10 hPa).

Figura 1. Curvas características de retenção de água dos substratos, obtidas com o modelo de Genuchten ajustado aos dados experimentais.



Houve efeito significativo dos diferentes substratos para distribuição das partículas dos substratos em tamanho de diâmetro (Tabela 6), corroborando com Fermino (2003) que encontrou interação significativa entre os materiais e substratos estudados e as malhas das peneiras.

Tabela 6. Quadrados médios da análise de variância da distribuição das partículas dos substratos em tamanho de diâmetro (mm). Lavras – MG, 2013.

Fv	Gl	>0,25	0,25-0,42	0,42-0,85	0,85-1,70	1,70-2,80	2,80-4,75	<4,75
Subst.	5	69,80*	9,31	45,8*	135*	99,53*	8,78*	362,94*
Erro	24	10,72	14,94	11,58	17,82	7,33	2,93	19,47
CV(%)		21,45	26,25	20,01	20,59	18,05	18,23	44,57

* significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

A caracterização da distribuição do tamanho das partículas evidenciou que no substrato S6 existe uma grande proporção de partículas entre 0,850 e 1,7 mm (Tabela 7). De acordo com Abad, Noguera e Carrión (2004), partículas com diâmetro maior que 1,0 mm formam poros responsáveis pelo armazenamento de ar e partículas com diâmetro entre 0,25 mm e 1,0 mm formam poros responsáveis pelo armazenamento de água facilmente disponível às plantas.

O substrato S1 foi o que apresentou maior valor médio de espaço aeração entre os substratos estudados (Tabela 4). Provavelmente a mistura de diversos componentes, tenha contribuído para este resultado, pois segundo Paiva e Gomes (2000), a aeração do substrato depende da quantidade e do tamanho das partículas que definem a sua textura.

Tabela 7. Valores médios da distribuição do tamanho das partículas (% em peso), nos substratos. Lavras – MG, 2013.

Substrato	> 0,25	0,25-0,425	0,42-0,85	0,85-1,70	1,70-2,80	2,80-4,75	< 4,75
S1	13,56ab	13,61a	19,23ab	24,42a	20,14a	6,88a	2,2bc
S2	15,21ab	13,564a	14,84ab	12,09c	9,115c	9,64ab	26,02a
S3	10,88b	16,24a	16,18ab	15,51bc	11,87bc	10,36a	19,02a
S4	19,12a	15,62a	21,27a	20,62ab	14,32ab	8,46ab	1,00c
S5	20,15a	15,54a	16,58ab	23,04ab	10,66bc	9,12ab	4,95bc
S6	11,97b	12,86a	13,29b	23,23a	18,95a	9,88ab	10,82b

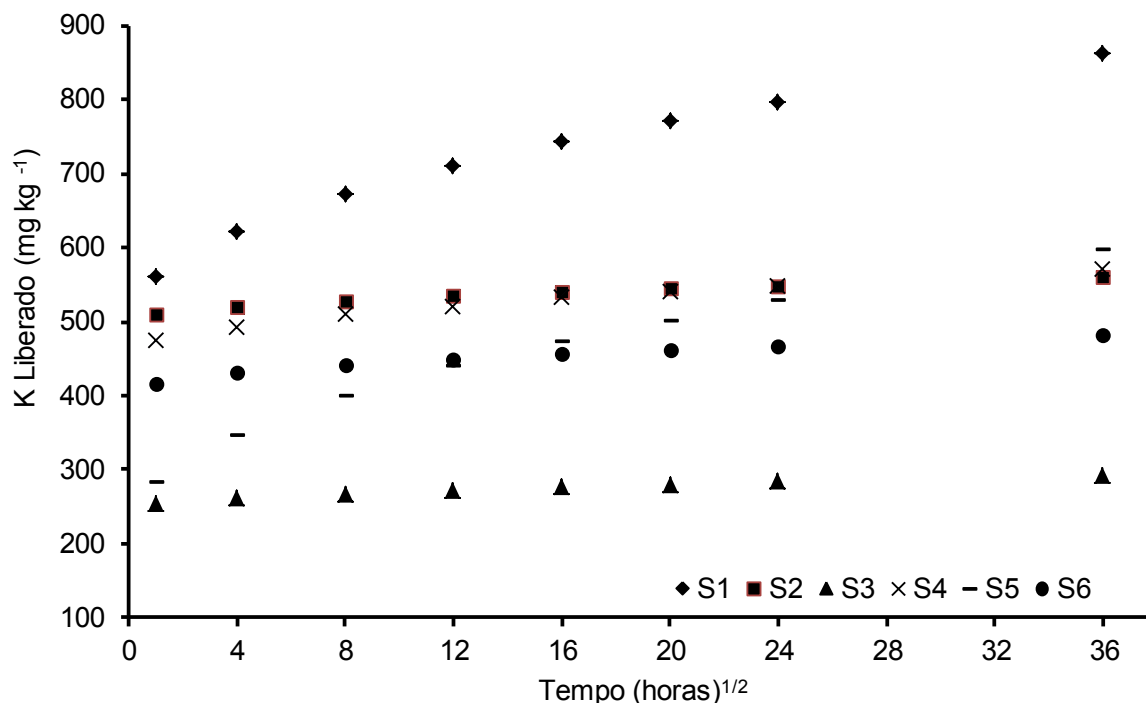
Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os resultados encontrados mostram que os substratos apresentaram algumas propriedades físicas próximas ao indicado para determinadas plantas e que estas propriedades variam em função da granulometria do substrato (FERRAZ; CENTURION; BEUTLER, 2005). Contudo, somente por meio da avaliação do desenvolvimento das plantas nos diferentes substratos é presumível inferir se as propriedades físicas desses substratos estão apropriadas ou não. Deve-se considerar que é difícil obter um substrato que atenda todas as características físicas ideais para determinada cultura, devendo-se selecionar as características mais importantes do substrato para o crescimento de cada espécie vegetal (FERRAZ; CENTURION; BEUTLER, 2005).

A maioria dos substratos avaliados apresentou perfil de liberação de potássio praticamente constante (Figura 2), ou seja, os substratos já teriam liberado o máximo de K^+ na primeira hora de extração. Os substratos S5 e S1 apresentaram um aumento significativo da liberação de K^+ com o passar das horas, sendo mais expressivo no substrato S1, esse evento pode ser explicado pelo alto valor de potássio presente neste substrato (Tabela 2), e também pela diversidade de matérias que fazem parte da sua composição, como a presença de fibra da

casca de coco e vermiculita. O substrato S3 foi o que liberou a menor quantidade de potássio até 36 h, provavelmente o mesmo deve apresentar baixa quantidade de potássio trocável.

Figura 2. Liberação de potássio dos substratos S1, S2, S3, S4, S5 e S6, em função do tempo.



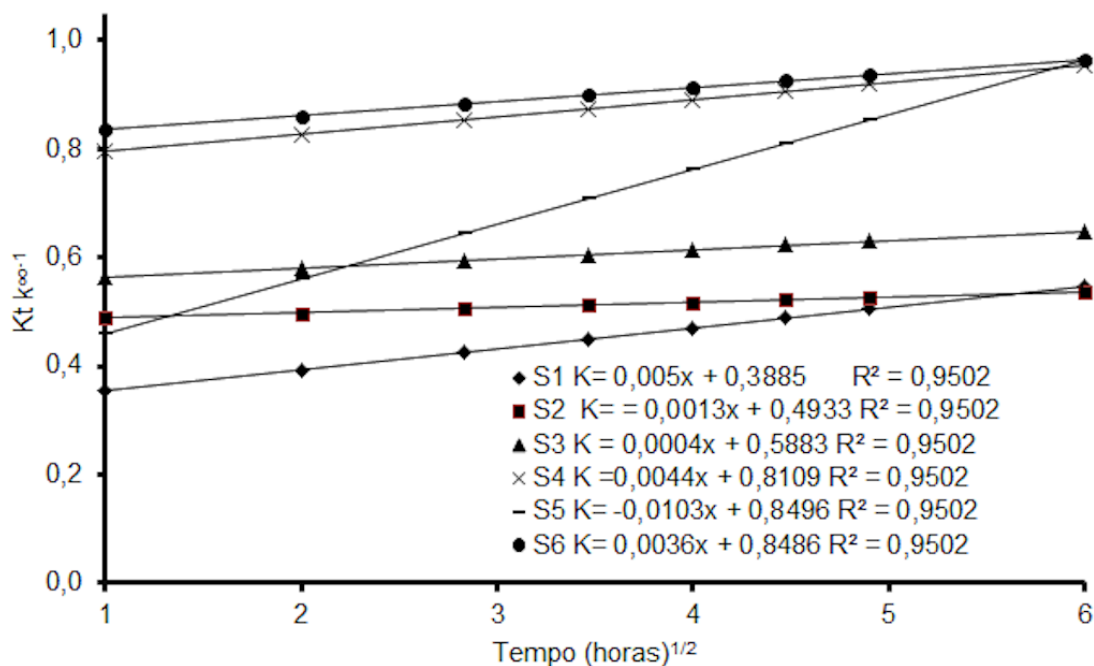
Ito et al. (2010), avaliando a reutilização da fibra da casca de coco, verificaram que os teores de potássio aumentaram continuamente com as utilizações. Fochesato et al. (2008), trabalhando com alterações das características químicas de três substratos comerciais na produção de mudas cítricas na fase de repicagem, encontraram valores de potássio variando de 274,0 a 742,0 mg kg⁻¹.

A quantificação da liberação do potássio nos substratos apresentou altos valores (MINAMI; SALVADOR, 2010), ou seja, 253 a 864 mg kg⁻¹ para os tempos de 1 e 36 horas de ensaio, respectivamente (Figura 5). Este evento pode ser explicado pela alta mobilidade do potássio no substrato, nutriente facilmente lixiviável na forma solúvel, forma em que as plantas o absorvem.

Segundo Minami e Salvador (2010), a maioria dos produtores que usa substrato em recipiente, irriga mais do que o necessário, deixando um pouco de água escorrer. Isso provavelmente arrasta nutriente, e se a água contém algum tipo de nutriente solúvel, perde-se por excesso. Deste modo as plantas demandam aplicações periódicas de nutrientes, que devem ser frequentes devido à alta lixiviação dos mesmos.

A descrição da cinética de liberação do potássio pela equação parabólica de difusão indicou que durante os períodos de ensaios, ocorreram diferentes comportamentos de liberação do nutriente entre os substratos estudados (Figura 3).

Figura 3. Cinética de liberação de potássio dos substratos S1, S2, S3, S4, S5 e S6, descrita pela equação parabólica de difusão. $K = K_t K^{\infty-1}$, sendo K_t representa a quantidade de potássio liberado no tempo t , K_{∞} o potássio acumulado liberado até 121 horas.



6 CONCLUSÕES

Os seis substratos estudados possuem diferentes capacidades de retenção de água e ar, em função, principalmente, de sua granulometria.

As análises de liberação do potássio indicam que grande quantidade de potássio pode ser lixiviada, com diferentes comportamentos de liberação do nutriente entre os substratos estudados.

7 REFERÊNCIAS

ABAD, M. B.; NOGUERA, P. M.; CARRIÓN, C. B. Los sustratos en los cultivos sin suelo. In: URRESTARAZU, M. G. (Ed.). **Tratado de cultivo sin suelo**. Madrid: Mundi, 2004. p. 113-158.

BARDIVIESSO, D. M.; MARUYAMA, W. I.; REIS, L. L.; MODESTO, J. H.; REZENDE, W. E. Diferentes substratos e recipientes na produção de mudas de guabiroba (*Campomanesia pubescens* O.Berg). **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, v. 18, n. 1, p. 52-59, jun., 2011.

BARRETO, C. V. G.; TESTEZLAF, R.; SALVADOR, C. A. Dinâmica do potencial matricial em substratos de pinus e coco sob ação da capilaridade. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 1, p. 26-31, jan./mar., 2012.

BOODT, M. de; VERDONCK, O. The physical properties of the substrates in floriculture. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 26, p. 37-44, 1972.

BOODT, M. de; VERDENCK, O.; CAPPAERT, I. Method for measuring the wasterreleases curve of organic substrates. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v. 37, p. 2054-2062, 1974.

CAMPANHARO, M.; RODRIGUES, J. J. V.; LIRA JUNIOR, M. de A. ESPINDULA, M. C.; COSTA, J. V. T. Características físicas de diferentes substratos para produção de mudas de tomateiro. **Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 2, p. 140-145, abr./jun. 2006.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION. **EN 13651**: soil improvers and growing media: extraction calcium chloride/DTPA (CAT) soluble elements. Brussels, 2003. 20 p.

FERMINO, M. H. **Métodos de análise para caracterização física de substratos para planta**. 2003. 89 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

FERNANDES, C.; CORA, J. E.; BRAZ, L. T. Alterações nas propriedades físicas de substratos para cultivo de tomate cereja, em função de sua reutilização. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 1, p. 94-98, 2006.

FERRAZ, M. V.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N. Caracterização física e química de alguns substratos comerciais. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, Maringá, v. 27, p.209-214, abr./jun. 2005.

FOCHESATO, M. L.; SOUZA, P. V. D. de.; SCHÄFER, G.; MACIEL, H. S. Alterações das características químicas de três substratos comerciais na produção de mudas cítricas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1040-1046, jul./ago. 2008.

GALVÃO, R. de O.; ARAÚJO NETO, S. E.; SANTOS, F. C. B.; SILVA, S. S. Desempenho de mudas de mamoeiro cv. sunrise solo sob diferentes substratos orgânicos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 3, p. 144-151, jul./set. 2007.

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

GRASSI FILHO, H.; SANTOS, C. H. Importância da relação entre os fatores hídricos e fisiológicos no desenvolvimento de plantas cultivadas em substratos. In: BARBOSA, J. G. et al. (Ed.). **Nutrição e adubação de plantas cultivadas em substrato**. Viçosa, MG: UFV, 2004. p. 78-91.

ITO, L. A.; CARDOSO, A. F.; CHARLO, H. C. O.; CORÁ, J. E.; BRAZ, L. T. Caracterização química do substrato reutilizado da fibra da casca de coco. **Horticultura Brasileira**, Brasília v. 28, n. 2, p. 1932-1939, jul., 2010.

MELO, V. de F.; CORRÊA, G. F.; RIBEIRO, A. N.; MASCHIO, P. A. Cinética de liberação de potássio e magnésio pelos minerais da fração argila de solos do triângulo mineiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 533-545, jul./ago., 2005.

MENDONÇA, V.; ABREU, N. A. A.; SOUZA, H. A.; FERREIRA, E. A.; RAMOS, J. D. Diferentes níveis de composto orgânico na formulação de substrato para a produção de mudas de mamoeiro “formosa”. **Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 1, p. 49-53, 2007.

MINAMI, K.; SALVADOR, E. D. **Substrato para plantas**. Piracicaba: USP/ESALQ; Degaspari, 2010. 209 p.

PAIVA, H. N.; GOMES, J. M. **Viveiros florestais**. Viçosa, MG: UFV, 2000. 56 p.

SILVA, E. A.; MARUYAMA, W. I.; OLIVEIRA, A. C.; BARDIVIESSO, D. M. Efeito de diferentes substratos na produção de mudas de mangabeira (*Hancornia speciosa*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 925-929, 2009.

SILVA, V. A.; MARCHI, G.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G. Cinética de liberação de potássio em solos de regiões cafeeiras do Brasil: efeito de ácidos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 2, p. 533-540, 2008.

SILVA, W.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A. A.; CARDOSO, A. A. Índice de consumo e eficiência do uso da água em eucalipto, submetido a diferentes teores de água em convivência com a braquiária; **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 3, p. 325-335, set./dez., 2004.

SOUZA, H. A. de; MENDONÇA, V.; RAMOS, J. D.; FERREIRA, E. A.; ALENCAR, R. D. Doses de lithothamnium e diferentes substratos na produção de mudas de maracujazeiro 'doce'. **Caatinga**, Mossoró, v. 20, n. 4, p. 24-30, out./dez., 2007.

THEBALDI, M. S. **Irrigação de mudas de espécies florestais nativas produzidas em tubetes**. 2011. 93 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.