

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE SUBSTRATO DE FIBRA DE CASCA DE COCO APÓS O CULTIVO HIDROPÔNICO DE PIMENTÃO COM ÁGUA DE REÚSO E DIFERENTES LÂMINAS DE SOLUÇÃO NUTRITIVA¹

RENATA DA SILVA CUBA DE CARVALHO²; MARA RÚBIA MENDES DE MELO³; FRANCIELLY GUIEIRO GOMES DE SOUSA⁴; LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO⁵; ANTONIO EVALDO KLAR⁶ E HÉLIO GRASSI FILHO⁷

¹Trabalho originado da tese de doutorado do primeiro autor intitulada: “Cultivo de pimentão em sistema hidropônico com água de reúso em diferentes níveis de disponibilidade de água no substrato”.

²Doutora, Programa de Pós-graduação em Agronomia – Irrigação e Drenagem, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, 3780, CEP 18610-034, Altos do Paraíso, Botucatu-SP, Brasil, renatacuba@hotmail.com.

³Doutoranda, Programa de Pós-graduação em Agronomia, Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rua José Barbosa de Barros, 1780, CEP: 18.610-307, Botucatu-SP - Brasil. E-mail: mara_mendesmelo@hotmail.com.

⁴Doutora, Programa de Pós-graduação em Agronomia – Irrigação e Drenagem, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, 3780, CEP 18610-034, Altos do Paraíso, Botucatu-SP, fran.engagricola@gmail.com.

⁵Professor Associado do Departamento de Gestão, Desenvolvimento e Tecnologia da Faculdade de Ciências e Engenharia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Domingos da Costa Lopes, 780, Jardim Itaipu, 17602-496, Tupã-SP, Brasil, gabriel.filho@unesp.br.

⁶Professor Emérito do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, 3780, CEP 18610-034, Altos do Paraíso, Botucatu-SP, Brasil. E-mail: a.klar@unesp.br.

⁷Professor Titular do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Avenida Universitária, 3780, CEP 18610-034, Altos do Paraíso, Botucatu-SP, Brasil, helio.grassi@unesp.br.

1 RESUMO

Este trabalho objetivou caracterizar a partir de análises físicas e químicas, o substrato de fibra de casca de coco antes e após o seu uso com a cultura do pimentão, cultivada em vasos com solução nutritiva preparada com água de reúso e água potável e diferentes lâminas de reposição dessa solução (100, 75 e 50% da evapotranspiração da cultura). O cultivo foi realizado em ambiente protegido ao longo de 175 dias, em vasos com capacidade volumétrica de 15 L, preenchidos com fibra de casca de coco. A cada 30 dias mediu-se o pH e a condutividade elétrica do substrato em laboratório. Após a colheita das plantas, foram coletadas amostras do substrato, com as quais avaliaram-se as características químicas e físicas: condutividade elétrica, pH, teores de NH_4^+ , NO_3^- , P, K, Ca, Mg, S, Cl, B, Fe, Mn, Cu, Zn, capacidade de troca catiônica (CTC), capacidade de retenção de água (10kPa) e densidade volumétrica seca. A reposição de solução nutritiva no substrato através da evapotranspiração da cultura proporcionou aumento dos teores de nutrientes, condutividade elétrica, CTC do substrato e densidade. Os maiores valores desses parâmetros foram verificados para os tratamentos cultivados com solução nutritiva preparada com água de reúso.

Palavras chave: salinização, nutrientes, água residuária, hidroponia, efluente.

**CARVALHO, R. S. C.; MELO, M. R. M.; GOMES, F. G.; GABRIEL FILHO, L. R. A.;
KLAR, A. E.; GRASSI FILHO, H.
PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF IN COCONUT HUSK
FIBER SUBSTRATE AFTER THE CULTIVATION OF PEPPER IN A
HYDROPONIC SYSTEM WITH WATER REUSE AND DIFFERENT DEPTHS OF
NUTRIENT SOLUTION**

2 ABSTRACT

This work aimed to characterize the physical and chemical characteristics of the coconut husk fiber substrate before and after its use with the pepper crop, cultivated in pots with a nutritive solution prepared with reuse and drinking water and different depths of this solution replenishment (100, 75 and 50% of crop evapotranspiration). Cultivation was conducted in pots greenhouse with a volumetric capacity of 15 L, filled with coconut husk fiber. The plants were grown for 175 days and every 30 days, the pH and electrical conductivity of the substrate were measured in the laboratory. After the plants were harvested, samples of the substrate were collected and the chemical and physical characteristics were evaluated: electrical conductivity, pH, NH_4^+ , NO_3^- , P, K, Ca, Mg, S, Cl, B, Fe, Mn, Cu, Zn, cation exchange capacity (CTC), water retention capacity (10kPA), and dry bulk density. The replacement of the nutrient solution in the substrate through crop evapotranspiration provided an increase in nutrient content, electrical conductivity, CTC of substrate and density. The highest values for these parameters were verified for the treatments cultivated with nutritive solution prepared with water reuse.

Keywords: salinization, nutrients, wastewater, hydroponic, effluent.

3 INTRODUÇÃO

O cultivo de pimentão em ambiente protegido tem se destacado no Brasil (SANTOS et al., 2017), pois segundo Casais et al. (2018), é possível alcançar maior qualidade e regularidade na produção ao longo do ano. Entretanto, o uso sucessivo do solo, com intensa aplicação de fertilizantes minerais em ambiente protegido, pode levar à salinização, sendo um dos problemas reportados para esse sistema de cultivo (AZEVEDO et al., 2018).

Além do problema da salinização, a presença de patógenos que limitam a produção é outro fator que pode inviabilizar o cultivo no solo, como é o caso da presença de nematoides de galhas (*Meloidogyne* spp.), os quais reduzem a produtividade da cultura do pimentão (CHARLO et al., 2012). Uma

alternativa para esse problema é a substituição do solo por substratos em vasos, calhas ou sacos e o aporte de nutrientes através de soluções nutritivas recomendadas para a cultura.

O uso de substratos para a produção de mudas e de flores é bastante comum (LUDWIG et al., 2014), e para hortaliças de fruto, esse uso vem crescendo nos últimos anos (ARAÚJO et al., 2014). A compra do substrato representa um custo a mais para o agricultor, podendo limitar a sua aplicação. Uma alternativa para minimizar os custos, é a sua reutilização, entretanto para essa prática, é necessário conhecer as características químicas e físicas de cada substrato antes e após o uso, pois assim, pode-se adotar o manejo mais adequado.

A fibra da casca de coco é uma matéria prima com características que

viabilizam sua aplicação como substrato, tais como boa capacidade de aeração e retenção de água, tamponamento térmico, característica de ser parcialmente inerte, além de ser uma opção renovável, reciclável e de baixo custo (MARTINEZ, 2017). As principais alterações nos substratos após o cultivo são decorrentes das adubações minerais e da velocidade de decomposição do material.

Além da busca por sistemas de cultivos mais eficientes, há também interesse por fontes alternativas de água, o que tem levado ao desenvolvimento de diversas pesquisas relacionadas ao uso de águas residuárias na agricultura (CARVALHO; BASTOS; SOUZA, 2018; CHEKLI et al., 2017; RANA et al., 2011). As águas residuárias quando aplicadas no solo podem alterar suas características químicas e físicas, sendo necessário monitoramento periódico da salinidade (URBANO et al., 2015). Destaca-se a possibilidade da sua aplicação em sistemas hidropônicos.

Diante do exposto, este trabalho objetivou caracterizar a partir de análises físicas e químicas o substrato de fibra de

casca de coco antes e após o seu uso com a cultura do pimentão, cultivada em vasos com solução nutritiva preparada com água de reúso e diferentes lâminas de reposição dessa solução.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação instalada na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Unesp, campus de Botucatu, São Paulo, Brasil, localizada nas coordenadas à 22° 51' S de latitude, 48° 26' W de longitude e 786 m de altitude. O clima da região enquadra-se como sendo Cfa pelo método de Köppen, clima temperado quente (mesotérmico) úmido e a temperatura média do mês mais quente é superior a 22 °C (CUNHA; MARTINS, 2009; ALVARES et al., 2013). Ao longo do período experimental, de março a agosto de 2018, a temperatura e a umidade relativa do ar foram monitoradas diariamente no interior da casa de vegetação e as médias mensais são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Dados ambientais de temperatura do ar mínima, média e máxima e umidade relativa do ar mínima, média e máxima registrados durante o período experimental no interior da casa de vegetação, Botucatu, SP.

Meses	Temperatura do ar (°C)			Umidade Relativa do ar (%)		
	Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média
Março	38,8	18,5	28,0	99,0	37,4	75,0
Abril	40,4	10,1	25,0	99,0	13,0	68,2
Mai	39,7	5,2	21,7	99,0	18,0	67,7
Junho	35,1	8,5	21,1	99,0	21,0	67,5
Julho	37,0	8,1	22,6	99,0	20,0	54,9
Agosto	32,0	7,3	19,3	99,0	19,0	68,6

As plantas foram cultivadas em sistema hidropônico sem recirculação da solução nutritiva, em vasos com capacidade volumétrica de 15 litros, preenchidos com substrato de fibra da casca de coco. Os tratamentos foram caracterizados pelo tipo

de água usada para preparar a solução nutritiva, potável e de reúso (oriunda do tratamento de esgoto doméstico) e diferentes taxas de reposição de solução nutritiva no substrato (100, 75 e 50% da

evapotranspiração da cultura), conforme descrição abaixo:

- TP1: solução nutritiva preparada com água potável e 100% da evapotranspiração da cultura;
- TP2: solução nutritiva preparada com água potável e 75% da evapotranspiração da cultura;
- TP3: solução nutritiva preparada com água potável e 50% da evapotranspiração da cultura;
- TR1: solução nutritiva preparada com água de reúso e 100% da evapotranspiração da cultura;
- TR2: solução nutritiva preparada com água de reúso e 75% da evapotranspiração da cultura;
- TR3: solução nutritiva preparada com água de reúso e 50% da evapotranspiração da cultura.

A distribuição da solução nutritiva foi realizada por meio de dois sistemas de irrigação independentes, sendo um para água potável e outro para água de reúso. Cada sistema foi composto por um reservatório de solução nutritiva de 500 L, controlador digital, conjunto moto bomba (1/3 cv), filtro de discos de 32 mm, manômetro, três válvulas solenoides elétricas para abertura e fechamento de cada tratamento, linha principal em PVC, três linhas secundárias de mangueiras de polietileno (diâmetro de 20 mm).

Para cada vaso utilizou-se um gotejador autocompensante com vazão média de 2 L h⁻¹, espaçados a 0,50 m, interligado por um microtubo. Nesta pesquisa, usou-se 60 vasos de polietileno (capacidade volumétrica de 15 litros) preenchidos com substrato de fibra de coco, em cada um foi cultivada uma planta de pimentão, distribuídas igualmente para os seis tratamentos. Abaixo de cada vaso foi colocado um recipiente para coleta do excedente de solução nutritiva, no entanto, ao longo do cultivo não houve drenagem.

A uniformidade de distribuição da solução nutritiva foi verificada através do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC). A partir dos dados coletados no experimento calculou-se o CUC (Equação 1) e obteve-se um coeficiente de distribuição de 98 % para os dois sistemas (água potável e água de reúso), o qual é considerado excelente de acordo com Mantovani (2001).

$$CUC = \left[\frac{\sum_{i=L}^N X_i - \bar{X}}{N * \bar{X}} \right] \quad (1)$$

Em que: N é o número de coletores; X_i é a lâmina de água aplicada no i-ésimo ponto sobre a superfície do solo; e \bar{X} é a lâmina média aplicada.

O híbrido de pimentão cultivado foi o Gaston, do tipo verde/vermelho, indicado para o cultivo em casas de vegetação. As mudas de pimentão foram adquiridas junto a um viveirista credenciado pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), com cerca de 30 dias após a emergência. A condução das plantas foi realizada deixando uma haste, seguida de duas, depois quatro e finalmente deixou-se o crescimento livre com o número indeterminado de hastes.

Os dois tipos de água usadas no preparo das soluções nutritivas foram previamente caracterizadas, conforme apresentado na Tabela 2. A água de reúso foi fornecida mensalmente pela estação de tratamento de esgotos domésticos - ETE pertencente à Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), Botucatu, SP. As amostras foram coletadas na saída do reservatório, e em seguida analisadas quanto aos parâmetros: pH, condutividade elétrica, macro e micronutrientes e sódio. A água potável também foi analisada mensalmente para os mesmos parâmetros, com amostras coletadas diretamente do sistema de abastecimento da Faculdade.

Tabela 2. Caracterização da água potável e da água de reúso utilizadas ao longo do período experimental.

Parâmetros	Água de Reúso		Água Potável	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
pH	6,28	0,15	6,3	0,06
EC (dS m ⁻¹)	0,55	0,13	0,07	0,22
NT (mg L ⁻¹)	57	3,84	20,0	1,33
PT (mg L ⁻¹)	3,0	0,17	0,00	0,00
K (mg L ⁻¹)	32,0	2,45	15,0	2,01
Ca (mg L ⁻¹)	36,0	3,08	13,0	2,12
Mg (mg L ⁻¹)	5,0	0,55	2,1	0,17
S (mg L ⁻¹)	15,0	2,19	7,2	0,75
B (mg L ⁻¹)	0,12	0,07	ND	-
Cu (mg L ⁻¹)	ND	-	ND	-
Fe (mg L ⁻¹)	0,21	0,07	ND	-
Mn (mg L ⁻¹)	0,03	-	ND	-
Zn (mg L ⁻¹)	ND	-	ND	-
Na (mg L ⁻¹)	59,4	1,5	3,5	0,16

Nota: Média de 5 amostras coletadas ao longo do período experimental. EC: condutividade elétrica; NT: nitrogênio total; PT: fósforo total; K: potássio; Ca: cálcio, Mg: magnésio; S: enxofre; B: boro; Cu: cobre; Fe: ferro; Mn: manganês; Zn: zinco; Na: sódio; ND: não detectável.

Fonte: Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, FCA- UNESP.

A solução nutritiva utilizada durante o cultivo das plantas foi a proposta por Furlani et al. (1999), recomendada para o pimentão, com os seguintes teores de N, P, K, Ca, Mg e S: 170; 42; 162; 128; 40; 52 mg L⁻¹, respectivamente, e teores de micronutrientes B, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn: 0,40; 0,40; 1,81; 0,40; 0,09; 0,08 e 0,18 mg L⁻¹, respectivamente. Na fase de frutificação foram acrescentados 43, 34,5 e 0,30 mg L⁻¹ de K, P e B na solução nutritiva usada na fase vegetativa. A quantidade de adubo utilizada foi a mesma para a água potável e água de reúso, seguindo a recomendação proposta por Oliveira-Barcelos (2016), o qual sugere que o desconto deve acontecer quando o valor de um determinado macronutriente ultrapassar 25% do que seria adicionado à solução, e 50% para os micronutrientes.

O manejo da irrigação foi realizado a partir de medições diretas da evapotranspiração da cultura em três lisímetros de lençol freático constante, instalados no interior do ambiente protegido,

e em cada um, foi cultivada uma planta de pimentão com o mesmo estágio de desenvolvimento das plantas dos tratamentos, conforme descrito em Carvalho et al. (2020).

As medidas da evapotranspiração da cultura (ET_c) foram diárias e a partir da média aritmética da lâmina evapotranspirada dos três lisímetros, calculou-se a lâmina a ser aplicada nos tratamentos com reposição de 100% da ET_c, e para os demais tratamentos com 75 e 50%, fez-se o percentual. A lâmina calculada foi distribuída em seis aplicações durante o dia.

O substrato foi caracterizado em laboratório antes e após o cultivo, considerando-se os seguintes parâmetros: densidade volumétrica seca, capacidade de retenção de água (CRA) a 10kPa e capacidade de trocas de cátions (CTC), de acordo com metodologia estabelecida pela Instrução Normativa nº 17 de 21 de maio de 2007 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2007), e

Instrução Normativa nº 31 de 23 de outubro de 2008 (BRASIL, 2008), as quais estabelecem critérios e padrões para análises de substratos no Brasil.

Os teores solúveis de N (amoniacoal e nitrato), fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, boro, ferro, manganês, zinco, sódio e cloreto também foram determinados seguindo a metodologia de extração 1:1,5 (volume), descrito por Sonneveld, Ende e Dijk (1974).

A amostragem da fibra de coco após o cultivo foi realizada eliminando a parte aérea das plantas, em seguida, fez-se a coleta de amostras de três vasos por tratamento, retirando-se um litro de substrato por vaso. Na sequência essas três amostras foram misturadas em um recipiente, de forma a obter-se uma amostra composta por tratamento. Para a caracterização da fibra de coco antes do cultivo, uma amostra foi coletada em um vaso após a saturação com água e antes do transplante das mudas.

Além da caracterização do substrato no início e término do período de cultivo, também foram realizadas a cada 30 dias, medidas de pH e condutividade elétrica na fibra de coco dos vasos de cada tratamento para verificar se houve acúmulo de sais ao longo do tempo. Essas análises foram realizadas através da coleta de 200 mL do substrato em um vaso de cada tratamento, utilizando o método de extração adaptado de Sonneveld, Ende e Dijk (1974), diluindo-se

o substrato na proporção 1:1,5 para extrair a sua solução.

Para a comparação das variáveis pH e condutividade elétrica, foi adotada a análise de variância (ANOVA) para medidas repetidas com dois fatores (tipo de água e níveis de reposição da solução nutritiva em função da ETc). Além disso, considerando a hipótese de que a condutividade elétrica poderia aumentar ao longo do desenvolvimento das plantas devido ao manejo adotado com a aplicação da solução nutritiva de acordo com a ETc da cultura, fez-se também o teste F considerando a idade da planta como variável independente expressa em dias após o transplante. O modelo de regressão foi ajustado de acordo com o coeficiente de determinação até 0,05 de significância. Os demais parâmetros avaliados da caracterização do substrato foram descritos e comparados com a literatura pertinente ao assunto.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise inicial e final dos componentes físicos e químicos da fibra da casca de coco dos diferentes tratamentos (Tabela 3), demonstrou que a aplicação de solução nutritiva contínua ao longo do ciclo da cultura do pimentão, promoveu aumento de algumas características desse substrato.

Tabela 3. Caracterização físico-química inicial e final do substrato de fibra de coco utilizado no experimento.

Substrato	pH	CE dS/m	Densidade (seca) Kg m ⁻³	CRA %v/v	CTC mmolc kg ⁻¹
Inicial	5,4	0,5	88,5	65,3	98,3
TP1 (final)	5,7	3,4	97,2	58,9	225,9
TP2 (final)	5,6	3,2	93,3	66,7	191,4
TP3 (final)	5,7	2,9	90,4	70,5	231,8
TR1 (final)	5,5	3,6	96,1	59,6	178,2
TR2 (final)	5,7	3,3	92,1	62	232,9
TR3 (final)	5,5	3,0	90	59,7	195,4

CE: condutividade elétrica; pH: potencial hidrogeniônico; CRA: capacidade de retenção de água na mesa de tensão a 10 cm de coluna d'água (10kPa); CTC: capacidade de trocas de cátions; TP1 (final): água potável e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc); TP2 (final): água potável e 75% da ETc; TP3 (final): água potável e 50% da

ETc; TR1 (final): água de reúso e 100% da ETc; TR2 (final): água de reúso e 75% da ETc; TR3 (final): água de reúso e 50% da ETc.

Fonte: Laboratório de Análises de Solo e Planta do Instituto Agronômico de Campinas, IAC

As características físicas dos substratos têm a mesma importância que as características químicas (FERNANDES; CORÁ; BRAZ, 2006). Os valores obtidos para a densidade volumétrica seca da fibra de coco inicial e nos tratamentos, são considerados ideais, pois segundo Pardossi et al. (2011), densidades entre 80 e 120 kg m⁻³ são desejáveis para facilitar o manejo. A densidade da fibra após uso aumentou em função da menor para a maior lâmina de água aplicada. Segundo Marin et al. (2017), o aumento da densidade conforme o uso é comum em substratos de fibra de casca de coco, por causa da sua decomposição.

O conhecimento da capacidade de retenção de água (CRA) do substrato utilizado é fundamental, a tensão 10 hPa aponta o volume de ar presente no substrato

após o término da drenagem livre, sendo importante para o manejo da irrigação. Os resultados encontrados, ficaram próximos da média para a fibra de coco, 53,8% (v/v), proposta por Carrijo, Liz e Makishima (2002).

A análise de variância do pH e da condutividade elétrica (Tabela 4) demonstra que para o pH não houve diferença entre os tratamentos, em contra partida, a condutividade elétrica foi maior significativamente ao comparar-se os tipos de água. A água de reúso proporcionou maior acúmulo de nutrientes, por apresentar em sua composição nutrientes que não são totalmente removidos pelo processo de tratamento do esgoto. Em relação às porcentagens de reposição da ETc, não houve diferença entre as médias.

Tabela 4. Análise de variância das médias da condutividade elétrica e pH da fibra de coco ao longo do desenvolvimento da cultura em função dos tipos de água, potável e reúso, e dos percentuais de reposição da Etc medida (100, 75 e 50%).

Condutividade Elétrica			
Tipos de Água	Evapotranspiração (Etc)		
	100%	75%	50%
Potável	1.72 ± 1.03 Ba	1.77 ± 1.04 Ba	1.76 ± 1.08 Ba
Reúso	1.79 ± 0.99 Aa	1.82 ± 1.05 Aa	1.89 ± 1.14 Aa
pH			
Tipos de Água	Evapotranspiração		
	100%	75%	50%
Potável	5.73 ± 0.16 Aa	5.64 ± 0.14 Aa	5.74 ± 0.18 Aa
Reúso	5.64 ± 0.18 Aa	5.66 ± 0.17 Aa	5.77 ± 0.24 Aa

Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferença significativa entre os tipos de água pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferença significativa entre os percentuais de reposição da evapotranspiração da cultura pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

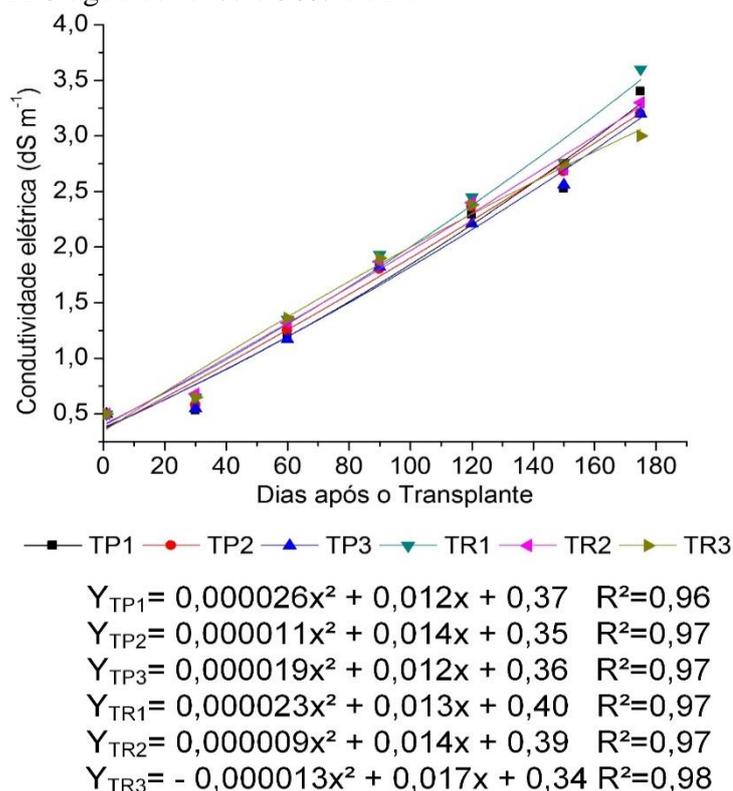
O aumento gradativo da condutividade elétrica dos substratos durante o ciclo da cultura, foi representado através de uma função quadrática (Figura 1). Apesar desse aumento representar um acúmulo de sais no substrato, os valores

encontrados ficaram dentro da faixa recomendada para cultivos de plantas, a qual vai de 1,5 a 4 mS m⁻¹, conforme proposto por Lasaridi et al. (2006). A cultura do pimentão é classificada como moderadamente sensível à salinidade (1,5 dS

m⁻¹) (NICK; BORÉM, 2016), entretanto, segundo Soares et al. (2007), plantas cultivadas em sistemas hidropônicos apresentam maior tolerância à salinidade

quando comparadas às cultivadas no solo, em função da maior e mais constante disponibilidade de água à cultura.

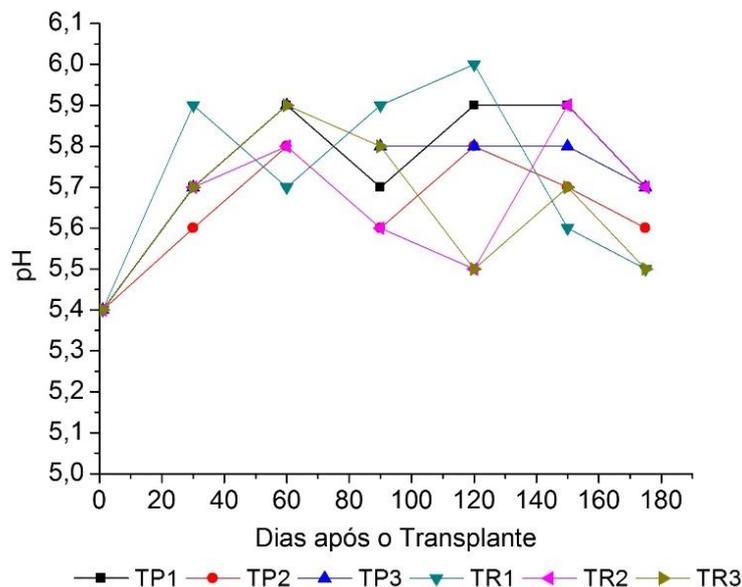
Figura 1. Condutividade elétrica no substrato de fibra de casca de coco ao longo do cultivo do pimentão para os diferentes tratamentos: TP1 água potável e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc); TP2 água potável e 75% da ETc; TP3 água potável e 50% da ETc; TR1 água de reúso e 100% da ETc; TR2 água de reúso e 75% da ETc; TR3 água de reúso e 50% da ETc.



Os tratamentos irrigados com solução nutritiva preparada com água de reúso, apresentaram as maiores condutividades elétricas ao final do cultivo, esse resultado está relacionado a sua maior condutividade elétrica devido a quantidades superiores de cálcio, magnésio, sulfato e sódio quando comparada à água potável.

O pH é uma característica química fundamental para o substrato, pois está associado à disponibilidade de nutrientes para as plantas (LUDWIG et al. 2014). As variações observadas para o pH ficaram dentro do nível considerado ótimo para substratos, entre 5 e 6,5, de acordo com Abad, Noguera e Carrión (2004) (Figura 2).

Figura 2. Resultados das medidas do pH no substrato de fibra de casca de coco ao longo do cultivo do pimentão para os diferentes tratamentos: TP1 água potável e 100% da evapotranspiração da cultura (ETc); TP2 água potável e 75% da ETc; TP3 água potável e 50% da ETc; TR1 água de reúso e 100% da evapotranspiração; TR2 água de reúso e 75% da ETc; TR3 água de reúso e 50% da ETc.



As oscilações nos valores do pH apresentadas na Figura 2, são comuns, por causa da absorção de cátions e ânions pelas raízes, além da liberação de ácidos orgânicos através das raízes (MARSCHNER, 2011).

A capacidade de troca de cátions de um substrato está relacionada com a quantidade de cátions presentes na sua superfície, que podem ser trocados até o equilíbrio com os cátions da solução nutritiva (ZORZETO, 2011). A CTC inicial da fibra de coco é considerada mediana segundo Martínez e Roca (2011), que definiram que $CTC < 75 \text{ mmolc kg}^{-1}$ = baixa, entre 75 e $100 \text{ mmolc kg}^{-1}$ = mediana, e $> 100 \text{ mmolc kg}^{-1}$ = alta). No final do cultivo, constatou-se

aumento da CTC dos substratos de todos os tratamentos devido ao incremento e acúmulo de nutrientes proporcionados pelas aplicações frequentes de soluções nutritivas.

Os teores solúveis de macro e micronutrientes, sódio e cloreto presentes no substrato após o cultivo, também aumentaram em todos os tratamentos (Tabela 5). Os valores iniciais da fibra de coco concordam com os teores médios relatados por Carrijo, Liz e Makishima (2002) para este tipo de substrato. Resultados semelhantes foram encontrados por Melo et al. (2013), os quais constataram aumento dos teores de nutrientes presentes no substrato de fibra de coco após o cultivo de meloeiro rendilhado.

Tabela 5. Teores solúveis de nutrientes presentes no substrato de fibra de casca de coco inicialmente e após o cultivo para os diferentes tratamentos.

Substrato	Nitrato	Fósforo	Cloreto	Enxofre	N- Amoniacal	Potássio	Sódio
	mg L ⁻¹						
Inicial	61,7	52	15,3	11,7	1,7	97,7	16,3
TP1 (final)	152,6	105,1	47,9	96,5	6,8	361,3	48,9
TP2 (final)	153,9	101,7	37,6	95,4	6,1	321,6	36,5
TP3 (final)	128,2	110,1	38,9	105,8	5,5	236	39,1
TR1 (final)	224,8	125,8	50,3	123,3	6,1	334,4	60,3
TR2 (final)	237,3	133,4	66	98,2	7,5	334,1	56
TR3 (final)	204,4	99,7	37	83,2	6,1	244,4	47

Substrato	Cálcio	Magnésio	Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
	mg L ⁻¹						
Inicial	16	1,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3
TP1 (final)	125,3	73,6	1,1	0,7	0,6	0,4	0,7
TP2 (final)	107	55,1	1,2	0,3	0,1	0,2	0,4
TP3 (final)	121,6	80	2,5	1	0,7	0,9	1,4
TR1 (final)	153,8	161,1	2,4	0,7	1,6	1,2	1,2
TR2 (final)	156,7	106,5	1,8	0,3	0,7	0,7	1
TR3 (final)	140,9	137,8	0,9	0,2	0,3	0,2	0,4

TP1 (final): Tratamento com água potável e lâmina de 100% da evapotranspiração da cultura (ETc); TP2 (final): água potável e lâmina de 75% da ETc; TP3 (final): água potável e lâmina de 50% da ETc; TR1 (final): água de reúso e reposição de 100% da ETc; TR2 (final): água de reúso e lâmina de 75% da ETc; TR3 (final): água de reúso e lâmina de 50% da ETc.

Fonte: Laboratório de Análises de Solo e Planta do Instituto Agronômico de Campinas, IAC

O nitrato aumentou no substrato ao final do cultivo 147, 150, 110, 263, 284 e 231% para os tratamentos TP1, TP2, TP3, TR1, TR2 e TR3, respectivamente. Esse nutriente quando em grande quantidade disponível no substrato, pode levar à absorção em excesso pela cultura, acumulando nas partes comestíveis, podendo assim, ser prejudicial à saúde (CHARLO et al., 2012).

O preparo da solução nutritiva com o efluente tratado proporcionou os maiores aumentos de nitrato no substrato, isso pode ser devido à concentração inicial de nitrogênio na água de reúso (Tabela 2).

Em relação ao nitrogênio amoniacal, os aumentos foram mais expressivos, porém

os valores encontrados estão dentro da faixa considerada como ótima para substratos, a qual varia de 0 a 20 mg L⁻¹, conforme proposto por Martínez e Roca (2011).

Os teores de fósforo encontrados ao final do cultivo nos substratos dos tratamentos TP1, TP2, TP3, TR1, TR2 e TR3 foram respectivamente 102, 96, 111, 142, 156 e 91,7% mais elevados que o teor inicial. Para esse nutriente, semelhante ao que houve com o nitrogênio, as taxas mais elevadas foram para os tratamentos cultivados com a água de reúso.

O potássio é o segundo elemento mais exigido pelas culturas (EPSTEIN; BLOOM, 2006), e no substrato ele foi o nutriente com as maiores concentrações ao

compará-lo com os demais nutrientes. De acordo com Abrahão, Boas e Bull (2014), um elemento pode afetar a absorção e distribuição de outro por competição, como ocorre com o K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , sendo que excessos de potássio competem com a absorção de cálcio e magnésio.

O teor desejado de cálcio em substrato para o cultivo de hortícolas é até 200 mg L^{-1} (MARTÍNEZ; ROCA, 2011), sendo a quantidade inicial encontrada na fibra baixa. Dentre todos os macronutrientes, o cálcio foi o segundo com os maiores percentuais de aumento, 683, 568, 660, 861, 879 e 780% nos tratamentos TP1, TP2, TP3, TR1, TR2 e TR3, respectivamente.

O magnésio e enxofre acumulados nos substratos ao final do cultivo tiveram os maiores percentuais de aumento ao serem comparados com os percentuais de aumento dos demais nutrientes. Assim como ocorreu com os outros nutrientes, os teores mais elevados foram observados nos tratamentos cultivados com a água de reúso (Tabela 5).

Em relação aos micronutrientes, também houve aumento dos seus teores na fibra de coco, porém as quantidades encontradas estão dentro dos valores esperados para substratos, de acordo com os níveis considerados ideais propostos por Martínez e Roca (2011).

O cloro é absorvido na forma de Cl^- em quantidades bastante baixas, sendo classificado como micronutriente (EPSTEIN; BLOON, 2006). Da mesma forma que os demais elementos, os seus teores aumentaram no substrato após o cultivo de pimentão.

O sódio é classificado como elemento benéfico para as plantas, requerido em quantidades baixas, com exceção das plantas halófitas, as quais se beneficiam de teores mais elevados deste elemento (TAIZ; ZEIGER, 2013). O acúmulo de sódio no substrato ao final do ciclo da cultura foi maior nos tratamentos irrigados com a solução nutritiva preparada com a água de reúso, e isto pode ter ocorrido devido a sua

maior quantidade de sódio quando comparada com a água potável. A casca do coco também pode apresentar sódio e cloreto em sua composição, em função do manejo, origem e processamento desta matéria prima para obtenção do substrato (CARRIJO; LIZ; MAKISHIMA, 2002).

Ao avaliar em conjunto todas as alterações nas características físicas e químicas do substrato de fibra de coco utilizado, nota-se que são necessários ajustes no manejo da solução nutritiva a fim de viabilizar o consumo dos nutrientes acumulados ao longo do ciclo da cultura. Nick e Borém (2016) descrevem que em sistemas de hidroponia com substrato sem recirculação da solução nutritiva, em geral, é aplicado a solução nutritiva de forma que ocorra 20% de drenagem para garantir a água necessária para o desenvolvimento da cultura, e possibilitar a lixiviação dos nutrientes acumulados no substrato. Essa prática, além de aumentar os custos com fertilizantes, aumenta o risco de contaminação do solo pelo excesso de nutrientes lixiviados, caso esses não sejam coletados.

Charlo et al. (2012) avaliaram o acúmulo de nutrientes no substrato de fibra da casca de coco durante o ciclo da cultura do pimentão em sistema de hidroponia sem recirculação e com drenagem de 20% da solução nutritiva aplicada, e observaram que houve acúmulo de nutrientes na fibra, e os autores recomendaram alterações no manejo da solução nutritiva.

6 CONCLUSÕES

Dentre os parâmetros físicos caracterizados, houve aumento da densidade da fibra da casca de coco em todos os tratamentos.

A reposição de solução nutritiva no substrato por meio da evapotranspiração da cultura proporcionou elevação dos teores de nutrientes, condutividade elétrica e CTC do

substrato, sendo os maiores valores observados para os tratamentos cultivados com solução nutritiva preparada com água de reúso.

Com base nos resultados, recomenda-se alterar o manejo dos nutrientes da solução nutritiva, usando quantidades reduzidas, ou alternar o seu fornecimento com a aplicação de água; porém mais estudos são necessários para um manejo mais eficiente.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas concessões de bolsas de doutorado ao primeiro autor e de produtividade em pesquisa (Processo nº 315228/2020-2) ao quarto autor. Agradecem também a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de mestrado ao segundo e terceiro autor e a empresa NaanDanJain pela doação de parte do sistema de irrigação.

8 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.
- ABRAHÃO, C.; BOAS, R. L. V.; BULL, L. T. K: Ca: Mg ratio in nutrient solution for production of mini tomato grown in substrate. *Irriga*, Botucatu, v. 19, n. 2, p. 214-224, 2014.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ARAÚJO, D. L.; VÉRAS, M. L. M.; ALVEZ, L. S.; ANDRADE, A. F.; ANDRADE, R. Efeito de fertilizante à base de urina de vaca e substratos em plantas de pimentão. *Revista Terceiro Incluído*, Goiânia, v. 4, n. 2, p. 173-185, dez. 2014.
- AZEVEDO, L. C.; OLIVEIRA, A. C.; MARTINS, I. C. S.; SILVA, V. L.; RIBEIRO, C. S. Salinidade do solo em ambiente protegido. *Campo Digital*, Campo Mourão, v. 13, n. 1, p. 52-69, 2018.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 17, de 21 de maio de 2007. *Diário Oficial da União*: seção 01, Brasília, DF, n. 4, p. 8-9, 24 maio 2007. Disponível em: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/laboratorios/credenciamento-e-laboratorios-credenciados/legislacao-metodos-credenciados/fertilizantes-substratos/copy_of_INSTRUONORMATIVASDAN17DE21DEMAIODE2007.pdf/view. Acesso em: 5 ago. 2018.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 31, de 23 de outubro de 2008. *Diário Oficial da União*: seção 01, Brasília, DF, n. 207, p. 20-20, 24 out. 2008. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/laboratorios/credenciamento-e-laboratorios-credenciados/legislacao-metodos->

credenciados/fertilizantes-substratos/INSTRUONORMATIVASDAN31DE23DEOUTUBRODE2008.pdf/view. Acesso em: 5 ago. 2018.

CARVALHO, R. S. C.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Influence of the use of wastewater on nutrient absorption and production of lettuce grown in a hydroponic system. **Agricultural Water Management**, Amsterdam: Elsevier Science Bv, v. 203, p. 311-321, abr. 2018.

CARVALHO, R. S. C.; MOTA, F. D.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; KLAR, A. E.; GRASSI FILHO, H. Lisímetro para medida da evapotranspiração na cultura do pimentão em sistema hidropônico com substrato. **Irriga**, Botucatu, v. 25, n. 2, p. 361-376, 2020.

CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. **Horticultura brasileira**, Vitória da Conquista, v. 20, n. 4, p. 533-535, 2002.

CASAI, L. K. N.; AVIZ, R. O.; SANTOS, N. F. A.; MELO, M. R. S.; SOUZA, V. Q.; BORGES, L. S.; LIMA, A. K. O.; GUERREIRO, A. C. Índices morfofisiológicos e produção de pimentão produzido em diferentes substratos a base de resíduos orgânicos em ambiente protegido. **Revista Agroecossistemas**, Belém, v. 10, n. 1, p. 174-190, nov. 2018.

CHARLO, H. C. O.; VARGAS, A. F.; CASTOLDI, R.; MELO, D. M.; BRAZ, L. T. Alterations in levels of NPK, electrical conductivity and pH of substrate, in cultivation of peppers. *In*: INTERNATIONAL HORTICULTURAL CONGRESS ON SCIENCE AND HORTICULTURE FOR PEOPLE 28.; INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON 927, 28., 2012, Lisboa. **Anais [...]**. Lisboa: N. Castilla, 2012. p. 437-442.

CHEKLI, L.; KIM, J. E.; SALIBY, I. E.; KIM, Y.; PHUNTSHO, S.; LI, S.; GHAFFOR, N.; LEIKNES, T.; SHON, H. K. Fertilizer drawn forward osmosis process for sustainable water reuse to grow hydroponic lettuce using commercial nutrient solution. **Separation and Purification Technology**, Amsterdam, v. 181, n. 6, p. 18-28, jun. 2017.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006.

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

FURLANI, P. R.; BOLONHEZI, D.; SILVEIRA, L. C. P.; FAQUIN, V. Nutrição mineral de hortaliças, preparo e manejo de soluções nutritivas. **Informe Agropecuário**, Campinas, v. 20, n. 200/201, p. 90-98, 1999.

LASARIDI, K.; PROTOPAPA, I.; KOTSOU, M.; PILIDIS, G.; MANIOS, T.; KYRIACOU, A. Quality assessment of composts in the Greek market: The need for standards and quality assurance. **Journal of Environmental Management**, London, v. 80, n. 1, p. 58-65, jul. 2006.

LUDWIG, F.; FERNANDES, D. M.; GUERRERO, A. C.; BOAS, R. L. V. Characteristics of substrates for nutrient absorption and production of gérbera. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 32, n. 2, p. 184-189, 2014.

MANTOVANI, E. C. **AVÁLIA**: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada. Viçosa, MG: UFV, 2001.

MARIN, M. V.; MELO, D. M.; GOMES, R. F.; SILVA, F. M.; CHARLO, H. C. O.; BRAZ, L. T.; FERNANDES, C. Reuse of substrate and nutritive solution concentration on the cultivation of salad tomato. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 11, n. 1, p. 102-111, 2017.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2011.

MARTÍNEZ, P. F.; ROCA, D. Sustratos para el cultivo sin suelo. Materiales, propiedades y manejo. In: FLÓREZ, R. V. J. (ed.). **Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo**. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia, 2011.

MARTINEZ, E. P. **Manual práctico de hidroponia**. 3. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2017.

MELO, D. M.; CHARLO, H. C. O.; CASTOLDI, R.; GOMES, R. F.; BRAZ, L. T. Nutrient accumulation in “Fantasy” net melon cultivated on substrate. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 4, ago. 2013.

NICK, C.; BORÉM, A. (ed.). **PIMENTÃO: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2016.

OLIVEIRA-BARCELOS, J. B. **Curso de Hidroponia**. Apostila do curso de hidroponia do Laboratório de Hidroponia, Universidade Federal de Santa Catarina, 2016.

PARDOSSI, A.; CARMASSI, G.; DIARA, C.; INCROCCI, L.; MAGGINI, R.; MASSA, D. Fertigation and substrate management in closed soilless culture. Pisa: University of Pisa, 2011.

RANA, S.; BAG, S. K.; GOLDBERGER, D.; MUKHERJEE, S.; PRADHAM, C.; JANA, B. B. Reclamation of municipal domestic wastewater by aquaponics of tomato plants. **Ecological Engineering**, Amsterdam, v. 37, n. 6, p. 981-988, jun. 2011.

SANTOS, P. R.; MELO, R. A.; CARVALHO FILHO, J. L. S.; FERREIRA, I. V. S.; SILVA, F. S.; LIMA FILHO, F. P.; MENEZES, D. Desempenho de linhagens e híbridos de pimentão em dois sistemas de poda no cultivo hidropônico. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 35, n. 1, p. 129-134, mar. 2017.

SOARES, T. M.; SILVA, E. F. F.; DUARTE, S. N.; MÉLO, R. F.; JORGE, C. A.; BONFIM-SILVA, E. M. Produção de alface utilizando águas salinas em sistema hidropônico. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 2, p. 235-248, 2007.

SONNEVELD, C.; ENDE, J.; DIJK, P. A. Analysis of growing media by means of a 1:1,5 volume extract. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Londres, v. 5, n. 3, p. 183-202, 1974.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

URBANO, V. R.; MENDONÇA, T. G.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Physical-chemical effects of irrigation with treated wastewater on Dusky Red Latosol soil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 10, n. 4, p. 737-747, 2015.

ZORZETO, T. Q. **Caracterização física e química de substratos para plantas e sua avaliação no rendimento do morangueiro (*Fragaria* x *Ananassa* duch.)**. 2011. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico de Campinas, Campinas, 2011.