

RENATA DA SILVA CUBA DE CARVALHO

**CULTIVO DE PIMENTÃO EM SISTEMA HIDROPÔNICO COM ÁGUA DE REÚSO
EM DIFERENTES NÍVEIS DE DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SUBSTRATO**

**Botucatu
2019**

RENATA DA SILVA CUBA DE CARVALHO

**CULTIVO DE PIMENTÃO EM SISTEMA HIDROPÔNICO COM ÁGUA DE REÚSO
EM DIFERENTES NÍVEIS DE DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SUBSTRATO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia: Irrigação e Drenagem.

Orientador: Prof. Dr. Hélio Grassi Filho
Coorientador: Prof. Dr. Luís Roberto Gabriel Almeida Filho

Botucatu

2019

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

C331c Carvalho, Renata da Silva Cuba de, 1983-
Cultivo de pimentão em sistema hidropônico com água de reúso em diferentes níveis de disponibilidade de água no substrato / Renata da Silva Cuba de Carvalho. - Botucatu: [s.n.], 2019
130 p.: fots. color., grafs. color., ils., tabs.

Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2019
Orientador: Hélio Grassi Filho
Coorientador: Luís Roberto Gabriel Almeida Filho
Inclui bibliografia

1. Pimentão - Cultivo. 2. Hidroponia. 3. Efluente. 4. Evapotranspiração. 5. Plantas - Nutrição. I. Grassi Filho, Hélio. II. Almeida Filho, Luís Roberto Gabriel. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: CULTIVO DE PIMENTÃO EM SISTEMA HIDROPÔNICO COM ÁGUA DE REÚSO EM DIFERENTES NÍVEIS DE DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SUBSTRATO

AUTORA: RENATA DA SILVA CUBA

ORIENTADOR: HÉLIO GRASSI FILHO

COORIENTADOR: LUÍS ROBERTO ALMEIDA GABRIEL FILHO

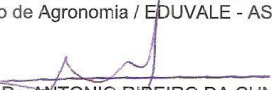
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:

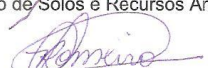

Prof. Dr. HÉLIO GRASSI FILHO

Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP


Dr.^a (pós-doutoranda) FRANCISCA FRANCIANA SOUSA PEREIRA
Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônômicas - UNESP de Botucatu


Prof. Dr. RODRIGO DOMÍNGUES BARBOSA
Depto de Agronomia / EDUVALE - ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL DO VALE DA JURUMIRIM


Prof. Dr. ANTONIO RIBEIRO DA CUNHA
Depto de Solos e Recursos Ambientais / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Prof. Dr. JÚLIO CÉSAR THOALDO ROMEIRO
Diretoria Técnica / CATI - Coordenadoria de Assistência Técnica Integral/ Botucatu

Botucatu, 01 de fevereiro de 2019

Ao meu filho Léo, o qual diariamente
com o seu sorriso e força,
me ensina a não desistir,
dedico

AGRADECIMENTOS

Ao criador pela oportunidade dessa existência.

À UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas e ao Programa de Pós Graduação em Agronomia: Irrigação e Drenagem pela oportunidade, apoio e infraestrutura cedida.

Ao meu primeiro orientador, o Professor Dr. Antônio Evaldo Klar, por todos os ensinamentos, apoio, amizade e incentivos.

Ao meu segundo orientador, o Professor Dr. Hélio Grassi Filho, pelos ensinamentos, apoio e compreensão.

Ao coorientador, Prof. Dr. Luís Roberto Gabriel Almeida Filho, pelo apoio, compreensão e amizade.

Aos meus pais pelo apoio incondicional aos meus projetos de vida, pelo carinho e amor.

À minha irmã Rosana, por sempre me apoiar, pela amizade, cumplicidade, carinho e dedicação.

Ao Celso, meu marido, pela parceria e apoio incondicional a este sonho, compreensão com minhas ausências e ajuda na parte de campo deste projeto.

Ao meu filho Léo, pela compreensão, paciência com minhas ausências e com as horas diárias que passava ao meu lado na estufa e pelas palavras de incentivos ditas com o olhar, e por ser o motivo pra continuar e me reinventar a cada desafio.

Ao Técnico Gilberto pelo apoio, disponibilidade e amizade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pela concessão da bolsa de auxílio estudantil.

Às amigas Flávia, Francielly, Mara Rúbia, pela amizade, as horas de conversa, ajuda na execução deste projeto, fundamentais para tornar esta caminhada mais leve.

À empresa NaanDanJain pela doação de parte dos materiais de irrigação.

À escola Apae de Botucatu por receberem e cuidarem do Léo.

Enfim... a todos que participaram desta etapa da minha vida, muito obrigada!

“Mães resistem na universidade: lutam para existir”. (Autor desconhecido)

“Se temos de esperar, que seja para colher a semente boa que lançamos hoje no solo da vida. Se for pra semear, então que seja para produzir milhões de sorrisos, de solidariedade e amizade”. (Cora Coralina)

RESUMO

O interesse em aplicar águas residuárias na agricultura tem sido crescente, pelo fato de representarem uma fonte alternativa de água e nutrientes para as culturas. Além disso, há a necessidade de buscar sistemas de produção que proporcionem o uso mais eficiente da água. Neste contexto, esta pesquisa foi desenvolvida com o intuito de cultivar o pimentão (*Capsicum annuum* L.) e determinar o seu desenvolvimento vegetativo, fisiológico, estado nutricional e produção, em sistema hidropônico utilizando substrato fibra da casca de coco e água de reúso para preparar a solução nutritiva, além de realizar a reposição dessa solução nutritiva no substrato em diferentes percentuais da evapotranspiração da cultura (100, 75 e 50%), medida através de lisímetros de lençol freático constantes. As plantas foram cultivadas em vasos de polietileno, com volume de 15 litros, preenchidos com fibra de coco de granulometria fina, com distribuição da solução nutritiva através de um sistema de irrigação por gotejamento. O delineamento experimental envolveu dois fatores, tipos de água (potável e reúso) e lâminas de reposição de solução nutritiva no substrato (100, 75 e 50% da evapotranspiração da cultura), distribuídos inteiramente ao acaso com dez repetições, totalizando 60 parcelas. O manejo da irrigação foi feito a partir de medições diretas da evapotranspiração da cultura em três lisímetros de lençol freático constante. Avaliou-se a altura e o diâmetro da base caular das plantas a cada 30 dias, ao longo do período experimental. Aos 115 dias após o transplante, fez-se as análises fisiológicas de trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*, e também a coleta de amostras de folhas e frutos de cada planta para determinação dos teores de nutrientes. Os frutos foram colhidos verdes, semanalmente a partir dos 80 dias após o transplante. Ao final do cultivo determinou-se altura e diâmetro final, massa fresca e seca da parte aérea. As plantas cultivadas nos lisímetros também foram submetidas as mesmas avaliações dos tratamentos. Após a colheita das plantas foram coletadas amostras do substrato e feito a caracterização química e física. Os lisímetros de lençol freático constantes proporcionaram desenvolvimento satisfatório para a cultura do pimentão, podendo ser usados para medir a evapotranspiração da cultura. A água de reúso associada a lâmina de 100% da evapotranspiração proporcionaram aumento na taxa de assimilação e concentração interna de CO₂. As lâminas de 75% e 50% da evapotranspiração da cultura reduziram as trocas gasosas, o coeficiente de extinção fotoquímico e a taxa de transporte de elétrons. O desenvolvimento vegetativo, os

teores foliares e a produção da cultura não foram alterados para os tratamentos cultivados com água de reúso, mostrando-se tecnicamente viável para esta finalidade. A reposição de solução nutritiva através da evapotranspiração da cultura proporcionou aumento no substrato dos teores de nutrientes, condutividade elétrica, CTC do substrato e densidade, sendo os maiores valores para os tratamentos cultivados com solução nutritiva preparada com água de reúso.

Palavras chaves: *Capsicum annuum* L. Efluente. Solução Nutritiva. Evapotranspiração. Fibra de coco.

ABSTRACT

The interest in utilizing wastewater in agriculture has increased because it represents an alternative source of water and nutrients for crops. Furthermore, there is a need to seek production systems that can provide the most efficient usage of water. In this context, the object of the present research is to cultivate bell peppers (*Capsicum annuum* L.) and determine its vegetative, physiological, nutritional status and production development in a hydroponic system using as a substrate coconut shell fiber and recycled water to prepare the nutrient solution, as well as replenishing such nutrient solution in the substrate in different percentages of crop evapotranspiration (100, 75 and 50%), measured by constant water table lysimeters. The plants were cultivated in 15 liter polyethylene pots, filled with coconut fiber resulted from granulometry of fine aggregates with distribution of the nutrient solution through a drip irrigation system. The experimental design involved two factors, water types (potable and recycled) and nutrient solution replacement leaf blades into the substrate (100, 75 and 50% of crop evapotranspiration), randomly distributed with ten replications, totaling 60 plots. Irrigation management was based on direct measurements of the crop evapotranspiration in three lysimeters of constant water table. The height and diameter of the plants stem base were evaluated every 30 days, during the experimental period. On the 115th day after transplantation, the physiological analyzes of gas exchange and fluorescence of chlorophyll "a" were carried out, as well as the collection of leaf and fruit samples from each plant to determine nutrient contents. At the end of the crop, it was determined the height and final diameter, fresh and dry mass of the aerial part. The plants grown in the lysimeters were also submitted to the same treatments evaluations. After the plants were harvested, samples of the substrate were collected and the chemical and physical characterization was done. The constant water table lysimeters provided satisfactory development for the pepper crop, and can be used to measure crop evapotranspiration. The recycled water associated to the 100% evapotranspiration blade, provided an increase in the rate of assimilation and internal CO₂ concentration. The 75% and 50% blades of the crop evapotranspiration reduced the gas exchange, the photochemical extinction coefficient and the rate of electron transport. The vegetative development, foliar contents and crop production were not altered for the treatments cultivated with reuse water, proving to be technically feasible for this purpose. The nutrient solution replacement through crop

evapotranspiration provided an increase in nutrient content, electrical conductivity, substrate cationic capacity and density, and the highest values for treatments cultivated with nutrient solution prepared with recycled water.

Keywords: *Capsicum annuum* L. Effluent. Nutritional solution. Evapotranspiration. Coconut fiber.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Dados ambientais da umidade relativa do ar média, máxima e mínima e temperatura do ar média, máxima, mínima (B), monitorados durante o período experimental no interior da casa de vegetação. Botucatu, 2018. Elaboração: próprio autor32
- Figura 2** - Desenho esquemático representando a construção e o funcionamento do lisímetro de lençol freático constante, em corte longitudinal. Botucatu, 2018. Elaboração: próprio autor33
- Figura 3** - Evapotranspiração da cultura diária (mm), medida pelos lisímetros de lençol freático constante. Botucatu, 2018. Elaboração: próprio autor36
- Figura 4** - Análise de regressão para a altura (cm) (A) e diâmetro (cm) (B) das plantas ao longo do período experimental. Botucatu, 2018. Elaboração: próprio autor37
- Figura 5** - Dados ambientais da umidade relativa do ar média, máxima e mínima (A) e temperatura do ar média, máxima e mínima (B), durante o período experimental no interior da casa de vegetação. Botucatu, 2018. Elaboração: próprio autor50
- Figura 6** - Evapotranspiração da cultura do pimentão medida diariamente. Botucatu, 2018. Elaboração: próprio autor51
- Figura 7** - Sistema de irrigação, (A) reservatório, conjunto moto-bomba, filtro e manômetro, (B) controladores e (C) vaso usado no cultivo. Botucatu, 201852
- Figura 8** - Médias da condutância estomática (A), taxa de transpiração (B), eficiência do uso da água na folha (C) e eficiência de carboxilação (D). Elaboração: próprio autor58
- Figura 9** - Médias da Eficiência quântica do fotossistema II (A), Eficiência quântica da antena (B), Coeficiente de extinção fotoquímico (C), Coeficiente de extinção não fotoquímico (D) e Taxa aparente de transporte de elétrons (E). Elaboração: próprio autor62
- Figura 10** - Dados ambientais da umidade relativa do ar média, máxima e mínima (A) e temperatura do ar média, máxima e mínima (B), durante o período experimental no interior da casa de vegetação. Botucatu, 2018. Elaboração: próprio autor70

Figura 11 - Evapotranspiração da cultura do pimentão medida diariamente. Botucatu, 2018. Elaboração: próprio autor	71
Figura 12 - Dados ambientais da Umidade Relativa do ar média e Temperatura média do ar, durante o período experimental no interior da casa de vegetação. Botucatu, 2018. Elaboração: próprio autor.....	92
Figura 13 - Desenho esquemático representando a construção e o funcionamento do lisímetro de lençol freático constante, em corte longitudinal. Botucatu, 2018. Elaboração: próprio autor.....	96
Figura 14 - Altura (A) e diâmetro (B) das plantas de pimentão medidos ao longo do ciclo da cultura, em função dos fatores tipos de água e lâminas de reposição de solução nutritiva. Botucatu, 2018. Elaboração: próprio autor	98
Figura 15 - Produtividade comercial (kg ha^{-1}) e eficiência do uso da água (EUA, $\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) em função das lâminas totais de solução nutritiva. Botucatu, 2018. Elaboração: próprio autor.....	106
Figura 16 - 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 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. Elaboração: próprio autor	119
Figura 17 - 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 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. Elaboração: próprio autor.....	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Médias e desvio padrão das trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em plantas de pimentão aos 115 dias após o transplante, cultivadas em lisímetros de lençol freático constante.....	38
Tabela 2 - Teores foliares e nos frutos de nutrientes em plantas de pimentão aos 115 dias após o transplante, cultivadas em lisímetros de lençol freático constante	39
Tabela 3 - Resultados da massa seca da parte aérea, produção, produtividade e número de frutos por planta das plantas cultivadas em cada lisímetro ...	40
Tabela 4 - Médias do peso, diâmetro, comprimento, e relação comprimento por diâmetro dos frutos colhidos nas plantas cultivadas nos lisímetros.....	41
Tabela 5 - Classificação e distribuição em percentuais para Classe e Sub-classe dos frutos de pimentões cultivados em lisímetros de lençol freático constante de acordo com os padrões da CEAGESP	42
Tabela 6 - Distribuição dos tratamentos quanto aos tipos de água e lâminas de irrigação.....	51
Tabela 7 - Resultados médios e desvio padrão da caracterização da água potável e de reúso, utilizadas ao longo do período experimental	54
Tabela 8 - Análise de variância para taxa de assimilação de CO ₂ (A, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); condutância estomática (gs, $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO ₂ na folha (Ci, $\mu\text{mol mol}^{-1}$), taxa de transpiração (E, $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), eficiência do uso da água na folha (A/E, $\mu\text{molCO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$) e eficiência de carboxilação (A/Ci) das plantas de pimentão aos 115 dias após o transplante.....	56
Tabela 9 - Desdobramento da interação entre tipos de água e lâminas de solução nutritiva para as médias da taxa de assimilação de CO ₂ (A) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentração interna de CO ₂ (Ci) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$).....	56
Tabela 10 - Valores médios da taxa de assimilação de CO ₂ (A, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); condutância estomática (gs, $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO ₂ na folha (Ci, $\mu\text{mol mol}^{-1}$), taxa de transpiração (E, $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), eficiência do uso da água na folha (A/E, $\mu\text{molCO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$) e eficiência de carboxilação (A/Ci) em plantas de pimentão aos 115 dias após o	

transplante para os fatores tipos de águas (potável e reúso) e lâminas de solução nutritiva (100, 75 e 50%).....	59
Tabela 11 - Análise de variância para Eficiência quântica potencial do FSII (F_v/F_m); eficiência quântica da antena (F_v'/F_m'), coeficiente de extinção fotoquímico (qP), coeficiente de extinção não-fotoquímico (qNP), taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) em plantas de pimentão aos 115 dias após o transplante	61
Tabela 12 - Resultados médios da Eficiência quântica potencial do fotossistema II (F_v/F_m); eficiência quântica da antena (F_v'/F_m'), coeficiente de extinção fotoquímico (qP), coeficiente de extinção não-fotoquímico (qNP), taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) em plantas de pimentão aos 120 dias após o transplante para os fatores tipos de águas (potável e reúso) e lâminas de solução nutritiva (100, 75 e 50%)	61
Tabela 13 - Distribuição dos tratamentos quanto aos tipos de água e lâminas de irrigação	71
Tabela 14 - Caracterização da água potável e de reúso, utilizadas ao longo do período experimental	74
Tabela 15 - Análise de variância e interação entre os tipos de água e as lâminas de solução nutritiva nos teores médios de macronutrientes de folhas de pimentão aos 115 dias após o transplante.....	76
Tabela 16 - Análise de variância e interação entre os tipos de água e as lâminas de solução nutritiva nos teores médios de micronutrientes e sódio de folhas de pimentão aos 115 dias após o transplante.....	77
Tabela 17 - Teores médios de macro, micronutrientes e sódio em folhas de pimentão aos 115 dias após o transplante em função de tipos de água e lâminas de solução nutritiva	78
Tabela 18 - Análise de variância e interação entre os tipos de água e as lâminas de solução nutritiva nos teores médios de macronutrientes de frutos de pimentão coletados aos 115 dias após o transplante	82
Tabela 19 - Análise de variância e interação entre os tipos de água e as lâminas de solução nutritiva nos teores médios de micronutrientes e sódio em frutos de pimentão coletados aos 115 dias após o transplante	83

Tabela 20 - Teores médios de macro, micronutrientes e sódio em frutos de pimentão coletados aos 115 dias após o transplante em função de tipos de água e lâminas de solução nutritiva	84
Tabela 21 - Distribuição dos tratamentos quanto aos tipos de água e lâminas de irrigação	92
Tabela 22 - Caracterização química da água potável e da água de reúso utilizados ao longo do período experimental	94
Tabela 23 - Composição da solução nutritiva recomendada cultivo hidropônico de pimentão	95
Tabela 24 - Micronutrientes contidos no ConMicros Standard®	95
Tabela 25 - Análise de variância e interação entre tipos de água, potável e reúso, e lâminas de solução nutritiva, 100, 75 e 50% da evapotranspiração da cultura, para a altura e diâmetro final, massa fresca da parte aérea (MFPA), e massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de pimentão, aos 175 dias após o transplante.....	99
Tabela 26 - Resultados médios da altura final (AF), diâmetro final (DF), massa fresca da parte aérea (MFPA), e massa seca da parte aérea (MSPA) em função dos fatores tipos de água (reúso e potável) e lâminas de reposição da solução nutritiva (100, 75 e 50% da evapotranspiração da cultura)	100
Tabela 27 - Análise de variância e interação dos resultados médios da produção comercial por planta (PCP, kg), produtividade comercial (PC, t ha ⁻¹), número de frutos comerciais por planta (NFCP), massa fresca do fruto (MFF, g), diâmetro dos frutos (DF, cm) e comprimento dos frutos (CF, cm), em função dos fatores tipos de água e lâminas de solução nutritiva.....	102
Tabela 28 - Resultados médios da produção comercial por planta (PCP), produtividade comercial (PC), número de frutos comerciais por planta (NFCP), massa fresca do fruto (MFF), diâmetro do fruto (DF) e comprimento do fruto (CF) em função dos fatores tipos de água (reúso e potável) e lâminas de reposição da solução nutritiva (100, 75 e 50% da evapotranspiração da cultura). Botucatu, 2018.....	103
Tabela 29 - Classificação de pimentões 'híbrido Gaston' em grupo, classe, subclasse, categoria de acordo com as características dos frutos produzidos para os tratamentos.....	104

Tabela 30 - 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.....	113
Tabela 31 - Caracterização da água potável e da água de reúso utilizadas ao longo do período experimental	115
Tabela 32 - Caracterização físico-química inicial e final do substrato de fibra de coco utilizado no experimento	117
Tabela 33 - Teores solúveis de nutrientes presentes no substrato de fibra de casca de coco inicialmente e após o cultivo para os diferentes tratamentos	121

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	23
CAPÍTULO 1.....	28
LISÍMETRO DE BAIXO CUSTO PARA MEDIDA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO NA CULTURA DO PIMENTÃO EM SISTEMA HIDROPÔNICO COM SUBSTRATO	28
1.1 INTRODUÇÃO	29
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	31
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
1.4 CONCLUSÕES	42
REFERÊNCIAS	42
CAPÍTULO 2.....	46
ASPECTOS FISIOLÓGICOS DA CULTURA DO PIMENTÃO CULTIVADO EM SISTEMA HIDROPÔNICO COM ÁGUA DE REÚSO E DIFERENTES LÂMINAS DE REPOSIÇÃO DE SOLUÇÃO NUTRITIVA	46
2.1 INTRODUÇÃO	47
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	49
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
2.4 CONCLUSÕES	64
REFERÊNCIAS	64
CAPÍTULO 3.....	67
TEORES DE NUTRIENTES NA CULTURA DO PIMENTÃO CULTIVADO EM SUBSTRATO DE FIBRA DE CASCA DE COCO COM ÁGUA DE REÚSO E DIFERENTES LÂMINAS DE REPOSIÇÃO DE SOLUÇÃO NUTRITIVA.....	67
3.1 INTRODUÇÃO	68
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	69
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
3.4 CONCLUSÃO	85
CAPÍTULO 4.....	88
DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DA CULTURA DO PIMENTÃO HIDROPÔNICO COM ÁGUA DE REÚSO E DIFERENTES LÂMINAS DE REPOSIÇÃO DE SOLUÇÃO NUTRITIVA	88
4.1 INTRODUÇÃO	89
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	91
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	97
4.4 CONCLUSÕES	107
REFERÊNCIAS	107

CAPÍTULO 5	110
ALTERAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS EM SUBSTRATO DE FIBRA DE CASCA DE COCO APÓS O CULTIVO HIDROPÔNICO DE PIMENTÃO COM ÁGUA DE REÚSO E DIFERENTES LÂMINAS DE SOLUÇÃO NUTRITIVA	110
5.1 INTRODUÇÃO	111
5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	112
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	117
5.4 CONCLUSÕES.....	123
REFERÊNCIAS	124
CONSIDERAÇÕES FINAIS	127
REFERÊNCIAS	129

INTRODUÇÃO GERAL

O pimentão (*Capsicum annuum* L.) é uma solanácea perene, de fruto, também cultivada como planta anual, sendo originária do continente Americano, com várias formas silvestres (FILGUEIRA, 2003). É cultivado em todos os estados brasileiros, e destaca-se entre as dez hortaliças mais consumidas no país. De acordo com dados divulgados do Instituto de Economia Agrícola (IEA, 2017), a área cultivada no estado de São Paulo vem crescendo nos últimos anos, e atualmente é de 2,66 mil hectares, com uma produção de 39 t ha⁻¹ ao ano.

O seu plantio no país é realizado tradicionalmente em campo aberto, mas nas últimas décadas o cultivo em ambiente protegido com aplicação de água e fertilizantes através de irrigação localizada tem se tornado uma alternativa mais viável técnica e economicamente, já que há regiões em que o solo apresenta problemas com nematoides (MAROUELLI; SILVA 2012).

O uso de vasos ou calhas preenchidos com substratos e em casas de vegetação também vem sendo expandindo, porém, de acordo com Charlo et al. (2012), neste caso, é necessário o monitoramento dos nutrientes que são fornecidos às plantas através da solução nutritiva, pois na maioria das vezes todos os nutrientes demandados pela cultura vêm da fertirrigação. Além disso, é de suma importância a atenção ao manejo hídrico e nutricional através de critérios técnicos, por se tratar de uma cultura exigente em água e nutrientes (PIVETTA et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2015), e também para evitar perdas por percolação e poluição ambiental causados por excesso de água e fertilizantes.

O cultivo de plantas sem solo, definido como hidroponia (RESH, 1997), representa uma alternativa ao cultivo no solo, e pode proporcionar a obtenção de produtos de melhor qualidade, redução do uso de agroquímicos e mão de obra, maior produtividade e eficiência do uso da água, precocidade de colheita, propiciando vantagens para o trabalhador rural, consumidor e ambiente (PAULUS et al., 2012).

Dentre os principais sistemas usados em hidroponia, destacam-se o cultivo com circulação de água e nutrientes com circuito fechado denominado Técnica do Fluxo Laminar de Nutrientes (NFT), e com o uso de substratos inertes, que têm a função de suporte para as plantas, sendo a nutrição feita através do fornecimento da solução nutritiva balanceada em circuito aberto ou fechado.

No Brasil, o uso de substratos em sistemas hidropônicos predomina para o cultivo de hortaliças de fruto. A hidroponia associada a substratos, e sem a recirculação da solução nutritiva, permite uma maior conservação de umidade e redução do consumo de eletricidade, além de evitar a disseminação de patógenos do sistema radicular que podem ser transmitidos através da recirculação da solução nutritiva (FACTOR et al., 2008).

O aumento da produção e da qualidade dos frutos são apontados como vantagens do uso de substratos, e o aproveitamento da casca de coco é uma alternativa de substrato renovável e ambientalmente correto (CHARLO et al., 2009). Os mesmos autores citados anteriormente, apontam como mais uma vantagem o fato das plantas desenvolverem suas raízes normalmente e ficarem fixas ao substrato, sendo desta forma mais resistentes ao tombamento causado por ventanias, problema comum no sistema tipo NFT.

Em cultivos hidropônicos que utilizam substrato, o fornecimento da solução nutritiva é feito através de sistemas de irrigação automatizados por meio de painéis de controle e válvulas solenoides, com volume e a frequência de irrigação fixos. De acordo com Miranda et al. (2015), o problema deste tipo de manejo é que ao longo do dia e do desenvolvimento da planta ocorrem mudanças nas suas necessidades hídricas, e quando a quantidade de água a ser aplicada é fixa pode ocorrer falta ou excesso. Outro problema que pode ocorrer, é a contaminação do solo e também do lençol freático pelo excesso de solução nutritiva drenada do recipiente de cultivo, quando não coletada.

A quantidade de água a ser fornecida à cultura pode ser obtida a partir de medidas realizadas no solo, na planta e na atmosfera (TAGLIAFERRE et al., 2014). As medidas no solo consideram a determinação do seu teor de umidade, as medidas na planta acompanham o potencial hídrico e a resistência estomática, além da temperatura da folha, e por fim, os métodos baseados na atmosfera englobam desde medidas da evaporação da água em um tanque, por exemplo o Classe A, até extensas equações para estimativa da evapotranspiração (ROCHA et al., 2003).

Na escolha de um método para a determinação da evapotranspiração, deve ser considerado a facilidade operacional e confiabilidade da medida, pois a maioria dos métodos apresentam limitações quanto aos instrumentos necessários e exigem conhecimento técnico, restringindo o seu uso por parte dos produtores rurais (CUNHA et al., 2013).

Dentre os métodos utilizados para medir a evapotranspiração, os lisímetros são dispositivos que permitem determinar diretamente essa variável em condições controladas (MUÇOUÇA; KLAR; MUÇOUÇA, 2006). Valandro et al. (1999) e Reis et al. (2009) avaliaram um dispositivo lisimétrico simples para determinar a transpiração de hortaliças cultivadas em substrato, e concluíram que o sistema foi eficiente para medir a transpiração do tomateiro, com valores da produção obtidos dentro do esperado para a cultura.

Além da necessidade de determinar a quantidade de água demandada pela cultura, é necessário buscar fontes alternativas de água para a agricultura. Neste contexto, o reúso de águas oriundas do sistema de tratamento de esgoto doméstico é uma alternativa, conforme apontam diversas pesquisas (SCHAER-BARBOSA et al., 2014; SOUZA et al., 2015; CHEKLI et al., 2017; ALMUKTAR et al., 2015; URBANO et al., 2017; CUBA CARVALHO; BASTOS; SOUZA, 2018).

A água de reúso originária do tratamento dos esgotos domésticos pode representar uma fonte de nutrientes para aplicação na agricultura; porém, neste caso, torna-se fundamental a escolha de culturas e sistemas de cultivo que permitam o uso de água de menor qualidade (SCHAER-BARBOSA et al., 2014). O reúso da água aplicado em sistemas hidropônicos pode proporcionar a vantagem de limitar o contato das águas residuárias com as partes de interesse alimentar das plantas, pois somente as raízes tem contato direto com a água (CUBA et al., 2015).

A Organização Mundial da Saúde (OMS) estabelece diretrizes para aplicação de águas de reúso na agricultura, e para culturas com irrigação localizada e que a parte comestível se desenvolve distante do solo e sem risco de contato direto do agricultor com essa água, propõe como padrão microbiológico a contagem inferior ou igual a 10^6 100mL⁻¹ para *Escherichia coli* e dispensa a contagem de ovos de helmintos (WHO, 2006).

No Brasil não há legislação que permita ou estabeleça critérios para o reúso de água no cultivo de hortaliças. A Resolução 54/2005 (CNRH, 2005), a qual estabelece somente os critérios gerais para o reúso de água potável e reúso direto não potável, não apresenta parâmetros e recomendações necessários à esta prática, sendo importante a criação de tais padrões para regulamentar o reúso na agricultura.

Neste contexto, esta pesquisa foi desenvolvida com o intuito de avaliar o desempenho agrônômico da cultura do pimentão (*Capsicum annuum* L.) em sistema hidropônico utilizando como substrato fibra da casca de coco e água de reúso para

preparar a solução nutritiva, além de realizar a reposição dessa solução nutritiva no substrato em diferentes percentuais da evapotranspiração da cultura (100, 75 e 50%), medida através de lisímetros de lençol freático constantes.

Os objetivos específicos deste trabalho referem-se a:

- Avaliar o desempenho agrônômico do pimentão cultivado em um lisímetro de lençol freático constante, e com isso obter a evapotranspiração da cultura em sistemas hidropônicos sem recirculação;
- Verificar alterações morfofisiológicas na cultura do pimentão em sistema hidropônico com água de reúso em diferentes lâminas de reposição de água no substrato (100, 75 e 50%);
- Avaliar a produção, produtividade, eficiência no uso da água e classificação dos frutos para comercialização;
- Aplicar a água de reúso como fonte alternativa de água para preparo de solução nutritiva para o pimentão;
- Avaliar o estado nutricional da cultura através de análise de tecidos foliares e dos frutos;
- Caracterizar o substrato utilizado antes e após o cultivo, através de análises físicas e químicas.

Com o intuito de demonstrar os resultados encontrados, o presente trabalho foi dividido em cinco capítulos, os quais serão posteriormente submetidos para publicação em periódicos científicos. O primeiro capítulo foi intitulado “LISÍMETRO DE BAIXO CUSTO PARA MEDIDA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO NA CULTURA DO PIMENTÃO EM SISTEMA HIDROPÔNICO COM SUBSTRATO”, o segundo “ASPECTOS FISIOLÓGICOS DA CULTURA DO PIMENTÃO CULTIVADO EM SISTEMA HIDROPÔNICO COM ÁGUA DE REÚSO E DIFERENTES LÂMINAS DE REPOSIÇÃO DE SOLUÇÃO NUTRITIVA”, o terceiro “TEORES DE NUTRIENTES NA CULTURA DO PIMENTÃO CULTIVADO EM SUBSTRATO DE FIBRA DE CASCA DE COCO COM ÁGUA DE REÚSO E DIFERENTES LÂMINAS DE REPOSIÇÃO DE SOLUÇÃO NUTRITIVA”, o quarto “DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DA CULTURA DO PIMENTÃO HIDROPÔNICO COM ÁGUA DE REÚSO E DIFERENTES LÂMINAS DE REPOSIÇÃO DE SOLUÇÃO NUTRITIVA”, e o quinto “ALTERAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS EM SUBSTRATO DE FIBRA DE CASCA DE COCO APÓS O

CULTIVO HIDROPÔNICO DE PIMENTÃO COM ÁGUA DE REÚSO E DIFERENTES LÂMINAS DE SOLUÇÃO NUTRITIVA”.

CAPÍTULO 1

LISÍMETRO DE BAIXO CUSTO PARA MEDIDA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO NA CULTURA DO PIMENTÃO EM SISTEMA HIDROPÔNICO COM SUBSTRATO

RENATA DA SILVA CUBA DE CARVALHO, ANTONIO EVALDO KLAR, LUÍS
ROBERTO GABRIEL DE ALMEIDA FILHO, HÉLIO GRASSI FILHO

RESUMO

Diante da necessidade de um método para o manejo da irrigação em cultivos em ambiente protegido e utilizando substrato, este trabalho objetivou avaliar o desenvolvimento vegetativo, fisiológico e produtivo da cultura do pimentão, cultivado em lisímetro de lençol freático constante, de baixo custo, para mensurar o consumo diário de água. O experimento foi composto por três lisímetros de lençol freático constante, instalados em ambiente protegido. Em cada lisímetro cultivou-se uma planta de pimentão usando um vaso de polietileno com capacidade volumétrica de 15 L, o qual foi preenchido com substrato de fibra de casca de coco. A evapotranspiração da cultura foi obtida a partir da medida diária do volume consumido de solução nutritiva em cada lisímetro. A cultura foi avaliada a partir de medidas morfológicas, fisiológicas e produtivas. Do ponto de vista técnico, os lisímetros de lençol freático constantes proporcionaram desenvolvimento satisfatório para a cultura pimentão, em relação ao desenvolvimento vegetativo, fisiológico e produtivo, podendo ser usados para medir a evapotranspiração da cultura.

Palavras-chave: Fibra de coco. Capilaridade. Transpiração. *Capsicum annum* L. Solução nutritiva.

LOW COST LYSIMETER FOR EVAPOTRANSPIRATION MEASUREMENT IN PEPPER CULTURE IN HYDROPONIC SYSTEM WITH SUBSTRATE

ABSTRACT

The purpose of this project is to evaluate the vegetative, physiological and productive development of the pepper crop cultivated in a low cost constant water table lysimeter

device, due to the necessity of a crop irrigation management method in a protected environment and utilizing substrate to measure the daily consumption of water and to compare with the data estimates of crop evapotranspiration. The experiment was composed of three lysimeters of constant water table, installed inside a protected environment. A pepper plant was grown in each lysimeter in a 15 L volumetric polyethylene vessel filled with coconut husk fiber substrate, and the daily volume of nutrient solution consumed by the plants was considered to be the evapotranspiration of the crop. The cultivation was evaluated from morphological, physiological and productive measures. The constant water table lysimeters provided satisfactory development for the pepper crop from the technical point of view relatively to the vegetative, physiological and productive development and it can be used to measure crop evapotranspiration. Estimates of crop evapotranspiration through the Class A tank underestimate the evapotranspiration of the crop measured through the constant water table lysimeters under the conditions of cultivation.

Keywords: Coconut fiber. Capillarity. Transpiration. *Capsicum annum* L. Nutrient solution.

1.1 INTRODUÇÃO

O cultivo de plantas em ambiente protegido e com uso de substratos vêm crescendo devido as vantagens que essa prática proporciona em comparação com cultivo convencional, como maior produtividade, melhor qualidade do produto final, maior proteção em relação as variáveis climáticas e ausência de patógenos encontrados no solo.

A cultura do pimentão (*Capsicum annum* L.) destaca-se entre as dez hortaliças mais consumidas no país (OLIVEIRA et al., 2015). É uma planta que requer o fornecimento de água, sendo essencial o controle da quantidade, uma vez que o excesso favorece o aparecimento de doenças que podem levar ao apodrecimento do colo e das raízes, bem como o abortamento de flores (CARVALHO et al., 2011). Além disso, em sistemas hidropônicos com substrato sem recirculação, o fornecimento em excesso de solução nutritiva implica em maiores custos com fertilizantes e risco de contaminação do solo e lençol freático através dos nutrientes lixiviados.

O manejo da irrigação na maioria dos cultivos em substrato, é realizado através de sistemas automatizados, com volume e frequência pré-fixados, porém essa prática não leva em conta as variações das necessidades hídricas da cultura, podendo subestimar ou superestimar a necessidade de água da planta (MIRANDA et al., 2015). Além disso, as plantas são cultivadas em calhas ou vasos e por isso o volume de água disponível para as raízes pode ser menor que no solo, tornando necessário fornecer a água com maior frequência para suprir as demanda hídricas da cultura (VALANDRO et al., 2007).

A eficiência do uso da água é obtida a partir da relação entre a produtividade da cultura e a quantidade de água utilizada, e para determinar essa quantidade de água a evapotranspiração (ET) tem sido usada como parâmetro para manejar de maneira mais eficiente a irrigação e obter o uso mais eficiente da água. A ET é a combinação de dois processos separados, a transpiração e a evaporação (ALLEN et al., 1998), podendo ser estimada ou medida diretamente. A sua estimativa através de equações matemáticas é o processo mais usual, porém são necessários dados climáticos e fisiológicos para sua aplicação (BARROS et al., 2009), o que nem sempre está disponível para o agricultor.

Os lisímetros são uma opção para medida direta da ET, constituem-se de recipientes preenchidos com solo, instalados no campo, e quando cultivados com alguma espécie vegetal permitem a medida da evapotranspiração dessa espécie, e sem cobertura vegetal possibilitam a medida da evaporação do solo (VALBUENA MATERAN et al., 2009). De acordo com Campeche et al. (2011), são três tipos de lisímetros para a determinação da ET: de drenagem, de pesagem, e de lençol freático constante.

No Brasil, os lisímetros de lençol freático constante são bastante usados em pesquisas (VELLAME et al., 2012), e podem medir com confiança o consumo de água de culturas que não estejam submetidas em condições de estresse hídrico (PUPO; GARCÍA-PETILLO, 2010).

Na literatura são encontrados resultados de pesquisas, com métodos diferentes de estimativa da evapotranspiração da cultura (ETc), mostrando o consumo de água do pimentão cultivado em solo (ANTONY; SINGANDHUPE, 2004; DALMAGO et al., 2006; CARVALHO et al., 2011; ALBUQUERQUE et al., 2012; COELHO et al., 2013), porém para o cultivo em substrato as informações são escassas.

Diante da necessidade de um método para o manejo da irrigação em cultivos em ambiente protegido e utilizando substrato de fibra de casca de coco, este trabalho objetivou avaliar o desempenho de um lisímetro de lençol freático constante para determinar a evapotranspiração diária da planta, através do acompanhamento do desenvolvimento vegetativo, fisiológico e produtivo da cultura do pimentão.

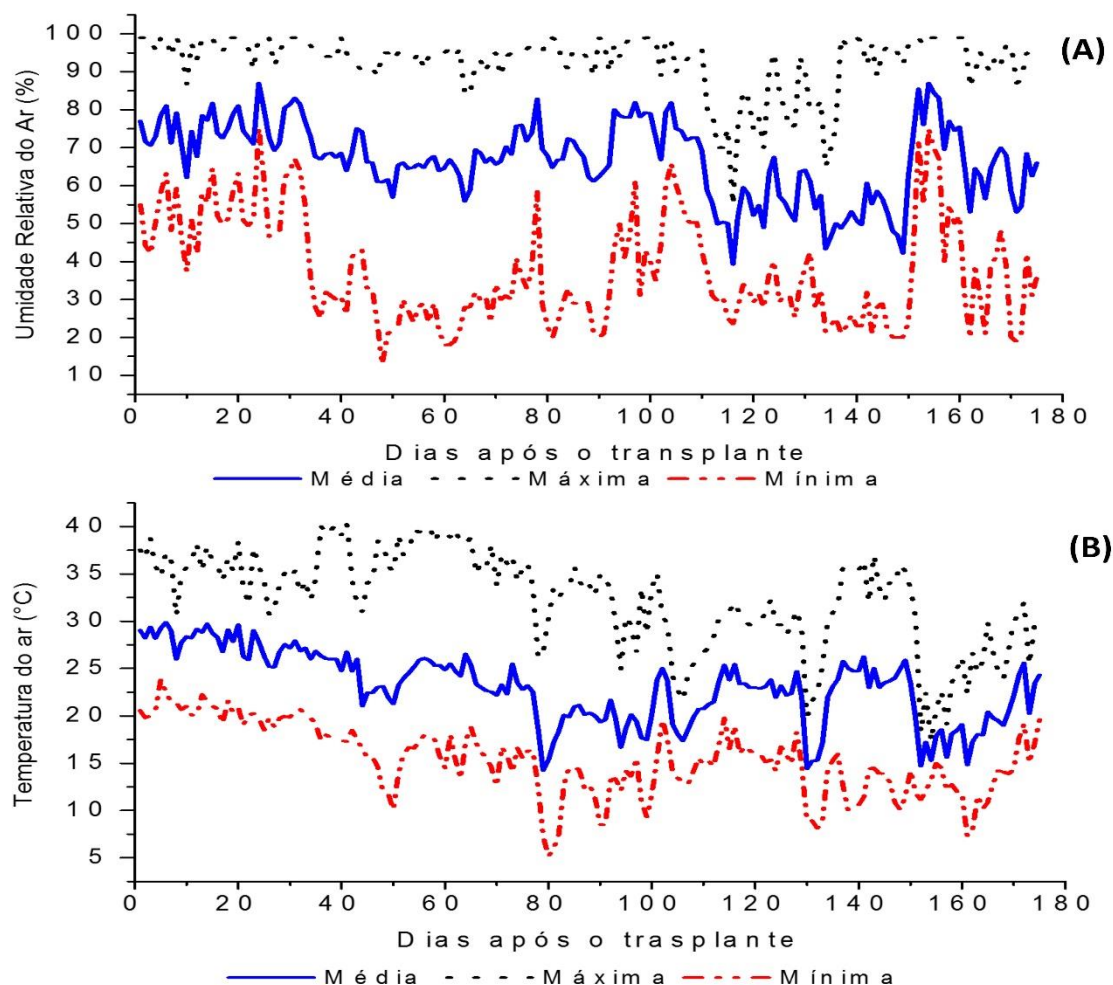
1.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido nas instalações do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista, na cidade de Botucatu, com localização geográfica à 22° 51' S de latitude, 48° 26' W de longitude, e 786 m de altitude. Os lisímetros de lençol freático constante foram instalados em casa de vegetação, sendo esta composta por estrutura metálica do tipo teto em arco, coberta com filme plástico transparente difusor (100 microns), 2,5 m de altura, 30 m de comprimento por 7 m de largura, e laterais fechadas com tela de sombreamento de 50%.

A condição climática 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). Ao longo do período experimental, de março a agosto de 2018, a temperatura e umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação foram monitoradas diariamente, através de uma estação meteorológica automática, com medições a cada uma hora, e os resultados são apresentados na Figura 1.

Figura 1 - Dados ambientais da umidade relativa do ar média, máxima e mínima e temperatura do ar média, máxima, mínima (B), monitorados durante o período experimental no interior da casa de vegetação. Botucatu, 2018.

Elaboração: próprio autor

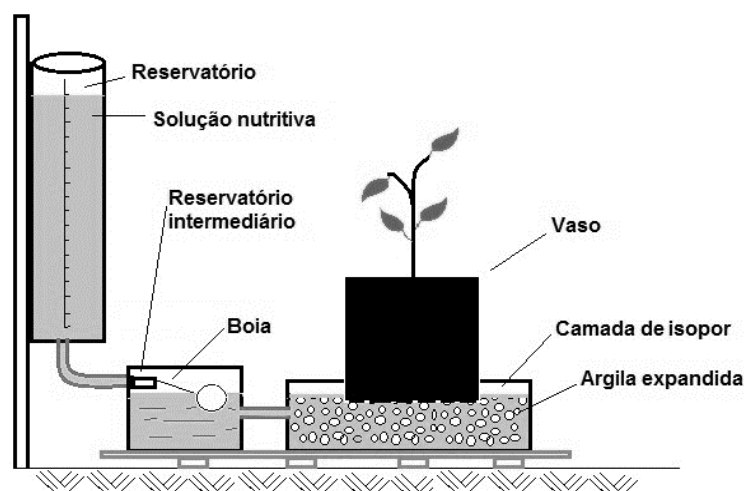


A estrutura de cada lisímetro foi composta por uma bandeja de polietileno com dimensões de 0,37 m de largura por 0,55 m de comprimento e altura de 0,12 m, contendo uma camada de 0,06 m de argila expandida de granulometria 6/15 mm. Em cada lisímetro foi colocado um vaso de polipropileno com capacidade para 15 litros, preenchido com substrato de fibra de casca de coco, e cultivado com uma muda de pimentão. O nível constante da água na bandeja foi mantido através de um reservatório intermediário provido de um dispositivo flutuador (boia), sendo este reservatório abastecido por um segundo reservatório de água, graduado em milímetros, construído com tubo de PVC de diâmetro nominal de 0,075 m, e 1,10 m

de altura. O vaso ficou enterrado na argila expandida, para obter um lençol de 0,03 m, a partir de sua base, sendo mantido constante o lençol freático (Figura 2).

Figura 2 - Desenho esquemático representando a construção e o funcionamento do lisímetro de lençol freático constante, em corte longitudinal.

Botucatu, 2018. Elaboração: próprio autor



Os lisímetros foram construídos com materiais de baixo custo e facilmente encontrados no comércio, totalizando três unidades. Com o intuito de mensurar a evapotranspiração da cultura em cada vaso, o espaço entre a borda da bandeja e o vaso foi coberto com uma placa de isopor e vedado por uma cobertura plástica, para evitar a evaporação da água da bandeja.

Por se tratar de um cultivo sem solo, os lisímetros foram constantemente alimentados com solução nutritiva recomendada para a cultura do pimentão. A composição da solução nutritiva seguiu as recomendações para a cultura, proposta por Furlani et al. (1999). As doses de fertilizantes usadas para preparar 1.000 litros de solução nutritiva foram: 750 g de Nitrato de Cálcio, 450 g de Nitrato de Potássio, 200 g de Fosfato Monoamônio, 400 g de Sulfato de Magnésio e 25 g de formulado conteúdo micronutrientes quelatizados (ConMicros Standard®). A quantidade de 25 g usada do formulado de micronutrientes apresenta os seguintes teores de micronutrientes: 0,4; 0,4; 1,81; 0,4; 0,09; 0,08; e 0,18 g de B, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn, respectivamente. Na fase de frutificação, a solução foi complementada com mais 150 e 1,9 g de fosfato monobásico de potássio e ácido bórico, respectivamente.

A leitura do volume de solução nutritiva consumido pela cultura foi diária, sempre no mesmo horário, entre 8 e 9 horas, correspondendo a evapotranspiração da cultura medida (ETc).

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

Ao longo do período experimental fez-se o monitoramento semanal do pH e da CE (condutividade elétrica) das soluções nutritivas dos reservatórios intermediários de cada lisímetro, os quais mantiveram-se dentro dos níveis considerados adequados, entre 5,5 a 6,5 e 1,8 dS m⁻¹, respectivamente, conforme proposto por Martinez (2017) e Ayers; Westcot (1999).

As variáveis biométricas avaliadas foram: altura (cm), diâmetro da base caulinar (cm), massa fresca e seca da parte aérea (g). As medições de altura e diâmetro da base caulinar foram realizadas a cada 30 dias, e a massa fresca e seca da parte aérea, ao final do experimento. Também foram avaliados parâmetros fisiológicos utilizando o equipamento IRGA ("Infra Red Gas Analyser"), modelo LI-6400, LI-COR.

As medidas de caráter fisiológico, trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*, foram feitas aos 115 dias após transplante, nas três plantas dos lisímetros, na segunda folha com limbo totalmente expandido contadas a partir do ápice, no período das 9:00 às 11:00 horas da manhã, em dia sem presença de nuvens.

Os parâmetros de trocas gasosas medidos foram: taxa de assimilação de CO₂ (*A*, μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), condutância estomática (*g_s*, mol m⁻² s⁻¹), concentração interna de CO₂ na folha (*C_i*, μmol CO₂ mol⁻¹ ar), taxa de transpiração (*E*, mmol vapor d'água m⁻² s⁻¹). A partir da relação entre a taxa de assimilação de CO₂ e taxa de transpiração calculou-se a eficiência do uso da água na folha (*A/E*, μmol CO₂ (mmol H₂O)⁻¹), e a eficiência de carboxilação (*A/C_i*) foi obtida através da relação entre taxa de assimilação de CO₂ e concentração interna de CO₂ na folha.

A avaliação da fluorescência da clorofila *a* envolveu: medida da fluorescência máxima (*F_m'*), fluorescência no estado de equilíbrio dinâmico (*F'*) e fluorescência mínima (*F₀'*); e com estes resultados calculou-se os seguintes parâmetros: eficiência quântica potencial do fotossistema II (*F_v/F_m*), eficiência quântica da antena (*F_v'/F_m'*),

coeficiente de extinção fotoquímico (qP), coeficiente de extinção não-fotoquímico (qNP), e a taxa aparente de transporte de elétrons (ETR).

Para o cálculo da taxa aparente de transporte de elétrons, a fração de excitação de energia distribuída para o fotossistema II foi considerada 0,5, e a fração de densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos absorvida pela folha 0,84 (DEMMIG; BJÖRKMAN, 1987).

Aos dois terços de desenvolvimento da cultura foram coletadas amostras de folhas e de frutos de cada planta, e encaminhadas para o laboratório de análises de tecidos vegetais para determinação dos teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês, zinco e sódio, de acordo com a metodologia proposta por Raij et al. (1997).

A colheita dos frutos foi semanal, e teve início aos 80 dias após o transplante, com frutos colhidos com coloração da casca 100% verde. Cada fruto foi pesado, e classificado de acordo com os padrões de comercialização propostos pela Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP), a qual considera a coloração da superfície, medidas de comprimento e diâmetro de cada fruto para obter o grupo, classe, subclasse, respectivamente.

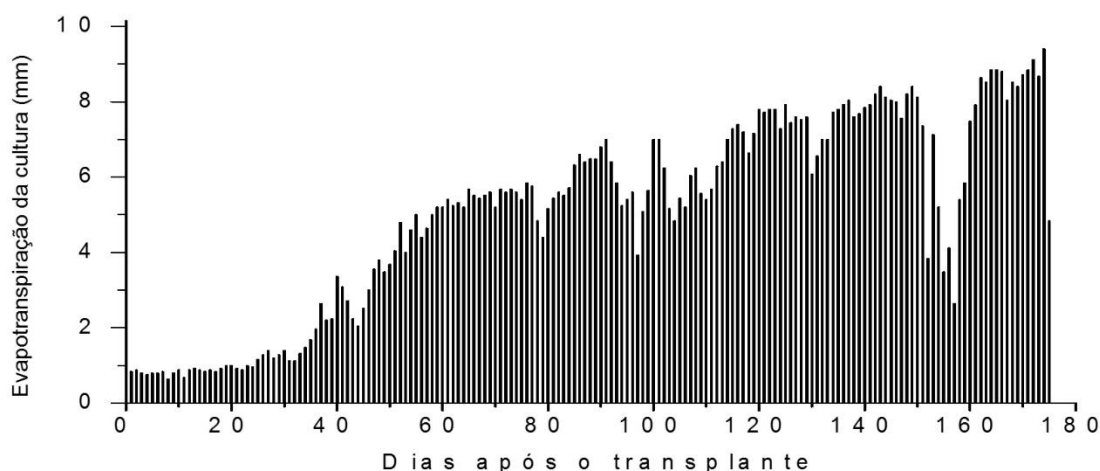
Durante o desenvolvimento da cultura foram necessários tratos culturais como poda de ramos laterais e a retirada do fruto da primeira bifurcação. O monitoramento de pragas e doenças foi diário, por meio de avaliação visual. Foram aplicados Abamectin®, Cabrio Top® e Bion WG®, sendo o primeiro para o controle de ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*) e minadora (*Liriomyza huidobrensis*), e os dois últimos para o fungo oídio (*Oidio* spp), seguindo as recomendações de dosagem e aplicação de cada produto recomendados para a cultura.

Os resultados obtidos das medidas de altura e diâmetro das plantas, ao longo do período experimental, foram submetidos à análise de regressão sendo considerado como variável independente a idade da planta, expressa em dias, após o transplante. Os demais foram descritos e comparados com dados referentes a cultura reportados na literatura.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evapotranspiração da cultura medida através dos lisímetros é apresentada na Figura 3.

Figura 3 - Evapotranspiração da cultura diária (mm), medida pelos lisímetros de lençol freático constante. Botucatu, 2018. Elaboração: próprio autor

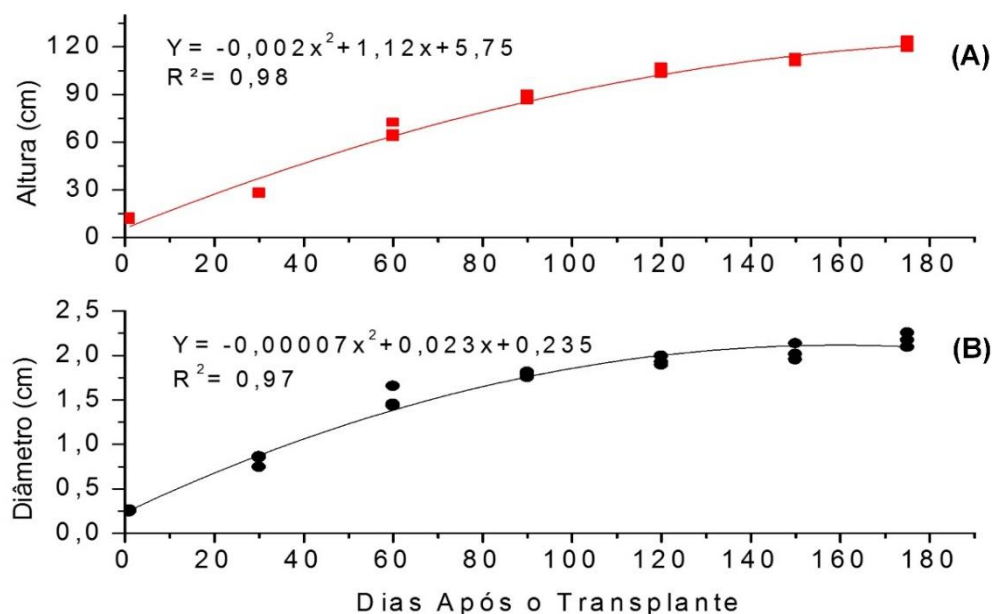


É possível notar na Figura 3 que nos primeiros 38 dias após o transplante há um menor consumo de água pela cultura, e conforme o desenvolvimento da planta e condições climáticas do ambiente, esse consumo aumenta gradativamente. Reis; Souza; Azevedo (2009) em um experimento para avaliar a evapotranspiração e o coeficiente de cultivo para a cultura do tomate caqui cultivado em ambiente protegido, concluíram que a estimativa da evapotranspiração através do método de Penman-Monteith subestima os valores encontrados por lisímetros de pesagem.

Para a maioria dos substratos a água disponível para as plantas fica em uma faixa de tensão entre 0,1 a 1 mca, enquanto para os solos, de maneira geral, é entre 0,6 e 1 mca (MAROUELI et al., 2011), porém o volume reduzido para o desenvolvimento das raízes proporcionado pelo cultivo em vasos, faz com que seja necessário a irrigação mais frequente, quando comparada a cultivos no solo.

O crescimento em altura e diâmetro ao longo do período experimental das plantas cultivadas nos lisímetros é apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Análise de regressão para a altura (cm) (A) e diâmetro (cm) (B) das plantas ao longo do período experimental. Botucatu, 2018. Elaboração: próprio autor



A curva de crescimento das plantas seguiu uma função polinomial quadrática, a qual é bastante usada para ilustrar resultados de crescimento de animais e vegetais (HOFFMAN; VIEIRA, 1977). Os coeficientes de determinação (R^2) para a altura e diâmetro foram superiores a 0,95, demonstrando ajuste adequado ao modelo escolhido (Figura 4).

Os maiores ganhos de altura e diâmetro foram observados nos primeiros 90 dias, sendo que aos 60 dias após o transplante as plantas já apresentavam altura média de 66,67 cm, correspondendo a metade da altura no final do cultivo. O diâmetro aos 45 dias após o transplante correspondeu a pouco mais da metade do diâmetro final (Figura 4).

As medidas de trocas gasosas e da fluorescência da clorofila a realizadas aos 115 dias após o transplante foram usadas para demonstrar se houve algum efeito deletério nos cloroplastos e dano ao aparelho fotossintético (Tabela 1). A taxa de assimilação de CO_2 (A) ficou dentro do esperado para plantas com metabolismo de carbono C_3 , a qual varia entre 12 a $25 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, de acordo com Pimentel (1998).

Tabela 1 - Médias e desvio padrão das trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em plantas de pimentão aos 115 dias após o transplante, cultivadas em lisímetros de lençol freático constante

Trocas gasosas	<i>A</i>	<i>gs</i>	<i>Ci</i>	<i>E</i>	<i>A/E</i>	<i>A/Ci</i>
Média	16,73	0,17	230,62	4,97	3,43	0,07
Desvio Padrão	0,77	0,02	9,35	0,89	0,61	0,00

Fluorescência da clorofila a	<i>Fv/Fm</i>	<i>Fv'/Fm'</i>	<i>qP</i>	<i>qNP</i>	ETR
Média	0,91	0,48	0,39	2,08	127,52
Desvio Padrão	0,02	0,02	0,02	0,22	4,55

Legenda: *A*: taxa de assimilação de CO₂ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); *gs*: condutância estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); *Ci*: concentração interna de CO₂ na folha ($\mu\text{mol mol}^{-1}$); *E*: taxa de transpiração ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); *A/E*: eficiência do uso da água na folha ($\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$); *A/Ci*: eficiência de carboxilação; *Fv/Fm*: eficiência quântica potencial do FSII; *Fv'/Fm'*: eficiência quântica da antena, *qP*: coeficiente de extinção fotoquímico, *qNP*: coeficiente de extinção não-fotoquímico, ETR: taxa aparente de transporte de elétrons.

A partir da abertura estomática ocorre a entrada de CO₂ e também a saída de vapor de água, fatores que estão relacionados com a eficiência do uso da água nas folhas e de carboxilação. Em plantas C₃, a eficiência foliar do uso da água fica entre 1 a 3 $\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$ (Pimentel, 1998). A média obtida para as plantas ficou acima desse valor, o que permite inferir que a condutância estomática e a concentração interna de CO₂ estão em níveis adequados para a cultura.

Em conjunto com as medidas de trocas gasosas também foram feitas medidas da fluorescência da clorofila a (Tabela 1). O valor de *Fv/Fm*, segundo Bolhàr-Nordenkamp et al. (1989), quando abaixo de 0,75 indica danos ao aparelho fotossintético, e conseqüentemente fotoinib    . A média obtida para as plantas deste experimento foi de 0,91, sugerindo que não houve dano ao aparelho fotossintético, e as plantas não estavam sob estresse no momento das medi   es.

Para a eficiência quântica da antena (*Fv'/Fm'*), parâmetro relacionado a eficiência de captura da excita   o pelos centros de rea    o abertos do fotossistema II, Anderson (1986) descreve que para plantas expostas ao sol   esperado uma rela    o de 2:1 entre a eficiência quântica potencial do fotossistema II e a eficiência da antena, e a média obtida se enquadra nesta propor    o.

O coeficiente de extin    o fotoquímico (*qP*) avalia o metabolismo fotossintético do carbono, ou seja, se o ciclo de Calvin-Benson está ocorrendo normalmente. Kalaji et

al. (2014) relatam que para a maioria das plantas os valores de qP variam entre 0 e 1, e para o coeficiente de extinção não fotoquímico (qNP) fica entre 0 e 10. O coeficiente de extinção não fotoquímico reflete todas as outras formas de dissipação de energia, principalmente o calor, e quanto menor essa dissipação, mais eficiente está sendo o processo de transporte de elétrons.

No que se refere a avaliação do teor de nutrientes foliares, os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Teores foliares e nos frutos de nutrientes em plantas de pimentão aos 115 dias após o transplante, cultivadas em lisímetros de lençol freático constante

Nutrientes	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----				
Folhas											
Média	47,3	3,1	54,4	19,5	5,2	3,0	77,6	14,7	224,7	112,3	76,0
Desvio Padrão	2,4	0,2	1,1	4,2	0,6	0,3	13,9	0,6	30,7	7,0	5,2
Frutos											
Média	22,0	3,3	26,2	1,9	1,4	1,8	16,6	10,3	44,0	14,7	24,0
Desvio Padrão	1,1	0,2	2,7	0,1	0,1	0,1	1,1	0,6	14,1	0,6	1,7

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

Os teores foliares encontrados apresentaram-se de acordo com os teores considerados adequados para folhas recém-desenvolvidas e completamente expandidas de plantas de pimentão, propostos dos Trani; Raij (1997). Esses resultados demonstram que o fornecimento da solução nutritiva através de capilaridade proporcionou a absorção necessária de nutrientes pela cultura. Segundo Barreto et al. (2012), a fibra de coco é um substrato adequado para a irrigação por capilaridade, devido às suas características, como a retenção de água e capacidade de elevação de água quando umedecido.

Quanto aos teores nos frutos (Tabela 2), ao compará-los com os valores esperados para as folhas nota-se que estão abaixo do mínimo proposto por Trani; Raij (1997). No entanto, é importante frisar que os frutos coletados para estas análises apresentavam o máximo de desenvolvimento comercial, o qual considera frutos aptos a serem colhidos com diâmetro e comprimento a partir de 4 e 14 cm, respectivamente (NICK; BORÉM, 2016), e nenhum sinal de deficiência de nutrientes. A fase de desenvolvimento da planta, com muitos frutos em formação e outros próximos ao

ponto de colheita, faz com que os nutrientes presentes em frutos completamente desenvolvidos sejam redirecionados para outros tecidos da planta, conforme relata Marcussi (2005) em uma pesquisa para determinar os teores de nutrientes presentes nas diferentes partes de plantas de pimentão o longo do ciclo da cultura.

Os resultados da massa seca da parte aérea são apresentados na Tabela 3, assim como os valores da produção por planta, produtividade e número de frutos.

Tabela 3 - Resultados da massa seca da parte aérea, produção, produtividade e número de frutos por planta das plantas cultivadas em cada lisímetro

Lisímetros	Massa Seca Parte Aérea (g)	Produção (kg planta ⁻¹)	Produtividade (t ha ⁻¹)	Número de frutos por planta
1	125,6	3,9	39,1	15
2	123,9	3,9	38,7	15
3	113,6	4,0	39,9	17
Média	121,1	3,9	39,2	15,6
Desvio Padrão	6,5	0,1	0,6	1,1

Nota: Produtividade considerando 10000 plantas por hectare.

Para todos os parâmetros demonstrados na Tabela 3, a variação das médias ficaram abaixo de 10%, permitindo inferir que as condições de cultivo foram semelhantes nos três lisímetros. Os resultados produtivos encontrados estão próximos dos resultados relatados por Charlo et al. (2012), os quais avaliaram diferentes híbridos de pimentão cultivados em fibra de coco, com produções variando de 3,55 a 4,32 kg planta⁻¹.

A produção para a cultura do pimentão reportada na literatura apresenta grande variação, isso é devido aos diferentes arranjos espaciais, formas e períodos de cultivos, além do híbrido cultivado, porém para cultivos em ambientes protegidos, de acordo com Miranda et al. (2015), são esperadas produções de 3 a 4 kg planta⁻¹.

O número de frutos por planta e o peso médio de cada fruto também variam bastante nos trabalhos encontrados na literatura. Santos et al. (2017), em um experimento para avaliar a produção de frutos em dois sistemas de poda em 15 genótipos diferentes de pimentão hidropônico, obtiveram resultados de 17 a 52 frutos por planta, com peso médio do fruto variando entre 85,45 a 235,61 g, sendo o maior número de frutos associado ao menor peso.

Aragão et al. (2012), em um experimento para verificar o impacto de diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio na cultura do pimentão, relatam que a maior disponibilidade de água proporciona as maiores produções de fruto, devido ao aumento de nutrientes disponíveis na solução do solo.

Além dos resultados produtivos, a classificação dos frutos colhidos é de extrema importância. Na Tabela 4 são apresentadas as características relacionadas a qualidade dos frutos.

Tabela 4 - Médias do peso, diâmetro, comprimento, e relação comprimento por diâmetro dos frutos colhidos nas plantas cultivadas nos lisímetros

Parâmetros	Peso Fruto (g)	Diâmetro Fruto (cm)	Comprimento (cm)	Relação C/D
Média ¹	262,46	8,49	14,89	1,75
Desvio Padrão	41,23	0,74	0,78	0,09

¹ Média obtida a partir de 30 amostras de frutos dos três lisímetros.

As características dos frutos mensuradas atendem aos padrões esperados para híbridos, de acordo com a CEAGESP. Os frutos foram classificados em Grupo, Subgrupo, Classe, Subclasse e Categoria. O grupo é de acordo com o formato do fruto, para este trabalho, os frutos se enquadraram no grupo retangular, caracterizado pelo comprimento maior que o diâmetro transversal, e relação diâmetro por comprimento mais distante de um.

O subgrupo é em função da coloração, neste caso, verde, com frutos colhidos na tonalidade de verde escuro. A classe e subclasse relacionam-se com o comprimento e diâmetro, respectivamente.

A categoria classifica em função da qualidade dos frutos, e estabelece os percentuais de defeitos leves e graves permitidos, e classifica em Extra, Categoria I, Categoria II e Categoria III. Na Tabela 5 são apresentados os percentuais de distribuição dos frutos em cada classificação.

Tabela 5 - Classificação e distribuição em percentuais para Classe e Sub-classe dos frutos de pimentões cultivados em lisímetros de lençol freático constante de acordo com os padrões da CEAGESP

Lisímetros	Grupo	Subgrupo	Classe (%)		Sub-classe (%)			Categoria
			15	12	6	8	10	
1	Retangular	Verde	56,2	43,8	25,0	75,0	0	Extra
2	Retangular	Verde	43,8	56,2	43,8	56,2	0	Extra
3	Retangular	Verde	60,0	40,0	31,2	62,5	6,3	Extra

Em média mais da metade dos frutos, 53,33% apresentaram comprimento superior a 15 e 64,58% diâmetro entre 8 e 10 cm. Os frutos maiores que 15 cm de diâmetro são comercializados com melhor preço. Não foram encontrados nenhum dos defeitos não permitidos pelos padrões mínimos de qualidade, os quais são ferimentos, deterioração microbiana, murchamento, deformação grave e viroses, e portanto, não houve descarte de frutos.

Através do desempenho da cultura do pimentão, em relação aos parâmetros morfológicos, fisiológicos e produtivos avaliados, é possível inferir que os lisímetros de lençol freático constante proporcionaram desenvolvimento satisfatório da cultura, compatível com o esperado para ambiente protegido.

1.4 CONCLUSÕES

Do ponto de vista agrônomo, os lisímetros de lençol freático constantes proporcionaram desenvolvimento satisfatório para a cultura pimentão, em relação ao desenvolvimento vegetativo, fisiológico e produtivo.

Os resultados obtidos indicam que os lisímetros de lençol freático constante podem ser usados para efetuar medidas da evapotranspiração da cultura do pimentão cultivado em substrato de fibra de casca de coco, usando solução nutritiva e em casa de vegetação.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, J. M. Photoregulation of the composition, function, and structure of thylakoid membranes. **Annual review of plant physiology**, v. 37, n. 1, p. 93–136, 1986.

ALLEN, R.G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

ANTONY, E.; SINGANDHUPE, R. Impact of drip and surface irrigation on growth, yield and WUE of capsicum (*Capsicum annum* L.). **Agricultural Water Management**, v. 65, n. 2, p. 121-132, 2004.

ARAGÃO, V. F. et al. Produção e eficiência no uso de água do pimentão submetido a diferentes lâminas de irrigação e níveis de nitrogênio. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 6, n. 3, p. 207–216, 30 set. 2012.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. Tradução de Gheyi, H. R.; Medeiros, J. F.; Damasceno, F. A. V. 2ª ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153p.

BARRETO, C. V. G.; TESTEZLAF, R.; SALVADOR, C. A. Ascensão capilar de água em substratos de coco e de pinus. **Bragantia**, v. 71, n. 3, p. 385–399, 2012.

BARROS, V. R. et al. Avaliação da evapotranspiração de referência na Região de Seropédica, Rio de Janeiro, utilizando lisímetro de pesagem e modelos matemáticos. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** [online], 2009, Abril-Junho. Disponível em <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119017351014>. Acesso 14 de abril de 2018.

BOLHAR-NORDENKAMPF, H. R. et al. Chlorophyll Fluorescence as a Probe of the Photosynthetic Competence of Leaves in the Field: A Review of Current Instrumentation. **Functional Ecology**, v. 3, n. 4, p. 497, 1989.

CAMPECHE, L. F. M. S. de.; AGUIAR NETTO, A. O.; SOUSA, I. F.; FACCIOLI, G. G.; SILVA, V. P. R. de.; AZEVEDO, P. V. de. Lisímetro de pesagem de grande porte. Parte I: Desenvolvimento e calibração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.519-525, 2011.

CARVALHO, J. A. et al. Análise produtiva e econômica do pimentão-vermelho irrigado com diferentes lâminas, cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 569–574, 2011.

CHARLO, H. C. O. et al. Accumulation of nutrients in sweet peppers cultivated in coconut fiber. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 1, p. 125–131, 2012.

COELHO, M. E. H. et al. Production and efficiency of water usage in capsicum crops under no-tillage and conventional planting systems. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 4, p. 741-749, 2013.

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

DALMAGO, G. A. et al. Evapotranspiração máxima da cultura de pimentão em estufa plástica em função da radiação solar, da temperatura, da umidade relativa e do déficit de saturação do ar. **Ciência rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 785-792, 2006.

DEMMIG, B.; BJÖRKMAN, O. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. **Planta**, 170(4), 489-504, 1987.

FACTOR, T. L.; ARAÚJO, J.; VILELLA JÚNIOR, L. V. Produção de pimentão em substratos e fertirrigação com efluente de biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 143 – 149, 2008.

FURLANI, P. R., et al. **Nutrição mineral de hortaliças, preparo e manejo de soluções nutritivas**. Informe Agropecuário, v. 20, p. 90 – 98, 1999.

HOFFMANN R; VIEIRA S. **Análise de regressão – uma introdução à econometria**. São Paulo: HUCITEC – EDUSP, 1997. 399 p.

KALAJI, H. M. et al. Frequently asked questions about in vivo chlorophyll fluorescence: practical issues. **Photosynthesis Research**, v. 122, n. 2, p. 121–158, nov. 2014.

MAPA-Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 17, de 21 de maio de 2007. Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos, na forma do Anexo à presente Instrução Normativa. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=17762>. Acesso em: 5 ago. 2018.

MAPA-Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 31, de 23 de outubro de 2008. Altera os subitens 3.1.2, 4.1 e 4.1.2, do Anexo à Instrução Normativa SDA nº 17, de 21 de maio de 2007. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=19154>. Acesso em: 5 ago. 2018.

MARCUSSI, F. F. Uso da fertirrigação e teores de macronutrientes em planta de pimentão. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 642–650, 2005.

MARTINEZ, E. P. Manual prático de hidroponia. 3. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2017. 286 p.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Irrigação na cultura do pimentão**. 1ª Ed. Brasília: Embrapa, 2012, 20p (Circular Técnica, 101).

MIRANDA, F. R. et al. Irrigação automatizada com sensores Irrigas® para o cultivo do pimentão em substrato de fibra de coco. Embrapa Agroindústria Tropical-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2015.

NICK, C.; BORÉM, A. (Ed). **PIMENTÃO: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2016. 204 p.

OLIVEIRA, F. A. et al. Nutrição mineral do pimentão submetido a diferentes manejos de fertirrigação. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 2, p. 216–223, jun. 2015.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: Edur, 1998. 150 p.

PUPPO, L.; GARCÍA-PETILLO, M. Determinación del consumo de agua del duraznero por lisimetria. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.1, p. 25-31, 2010.

RAIJ, B. Van et al. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: instituto agronômico/ fundação IAC. 1997. 285p

REIS, L. S.; SOUZA, J. DE; AZEVEDO, C. DE. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do tomate caqui cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 289–296, 2009.

SANTOS, P. R. et al. Desempenho de linhagens e híbridos de pimentão em dois sistemas de poda no cultivo hidropônico. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 129–134, 2017.

TRANI, P. E.; RAIJ, B. van. Hortaliças. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Ver. Campinas, SP: IAC, 1997.

TRANI, P. E.; TIVELLI, S. W.; CARRIJO, O. A. Fertirrigação em hortaliças. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico, 2011. 51 p. (Série Tecnologia APTA. Boletim Técnico IAC, 196).

VALANDRO, J. et al. Transpiração do tomateiro cultivado fora do solo em estufa plástica e sua relação com os elementos meteorológicos. **Ciência Rural**, v. 37, n. 6, 2007.

VALBUENA MATERÁN, F. J. Minilísímetro com lençol freático constante operando com Irrigâmetro® para medida da evapotranspiração de referência. **Revista UDO Agrícola**, v. 9, n. 1, p. 243-258, 2009.

VELLAME, L. M. et al. Lisímetro de pesagem e de lençol freático de nível constante para uso em ambiente protegido. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 25, n. 1, p. 153-159, 2012.

CAPÍTULO 2

ASPECTOS FISIOLÓGICOS DA CULTURA DO PIMENTÃO CULTIVADO EM SISTEMA HIDROPÔNICO COM ÁGUA DE REÚSO E DIFERENTES LÂMINAS DE REPOSIÇÃO DE SOLUÇÃO NUTRITIVA

RENATA DA SILVA CUBA DE CARVALHO, ANTONIO EVALDO KLAR, MARIA MÁRCIA PEREIRA SARTORI, LUÍS ROBERTO GABRIEL DE ALMEIDA FILHO, HÉLIO GRASSI FILHO

RESUMO

Diante da necessidade de estudos sobre manejo mais eficiente da água e o uso de águas residuárias em sistemas hidropônicos, objetivou-se nesta pesquisa, avaliar as trocas gasosas e a fluorescência da clorofila *a* na cultura do pimentão, em sistema hidropônico com substrato e água de reúso, submetido a diferentes taxas de reposição de solução nutritiva no substrato. O delineamento experimental envolveu dois fatores, tipos de água (potável e reúso), e lâminas de reposição de solução nutritiva no substrato (100, 75 e 50% da evapotranspiração da cultura), distribuídos inteiramente ao acaso com dez repetições. As plantas foram cultivadas em ambiente protegido, em vasos com capacidade volumétrica de 15 L, preenchidos com substrato de fibra de casca de coco. As análises foram realizadas na fase de frutificação da cultura e envolveram medidas de trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*. A água de reúso associada a lâmina de 100% da evapotranspiração proporcionou aumento na taxa de assimilação e na concentração interna de CO₂. A fluorescência da clorofila *a* não foi influenciada pelos fatores (água e lâminas). As lâminas de 75% e 50% da evapotranspiração da cultura reduziram as trocas gasosas, o coeficiente de extinção fotoquímico e a taxa de transporte de elétrons.

Palavras-chave: Trocas gasosas. Fluorescência da clorofila. Hidroponia. Fotossíntese. Efluente.

PHYSIOLOGICAL ASPECTS IN THE BELL PEPPER CROP CULTIVATED IN A HYDROPONIC SYSTEM WITH RECYCLED WATER AND DIFFERENT WATER REPLENISHMENT BLADES

ABSTRACT

Given the urgent need for studies on more efficient water management and the use of wastewater in hydroponic systems, the objective of this research was to evaluate the gas exchange and chlorophyll a fluorescence in the bell pepper crop in a hydroponic system with substrate and reclaimed water submitted to different replacement rates of nutrient solution in the substrate. The experimental design involved two factors, water types (drinking and reuse), and nutrient solution replacement leaf blades in the substrate (100, 75 and 50% of crop evapotranspiration), distributed randomly with ten replications. The plants were cultivated in pots of protected environment with volumetric capacity of 15 L, filled with coconut husk fiber substrate. The analysis was carried out in the fruiting phase of the culture and involved measures of gas exchange and chlorophyll a fluorescence. The recycled water associated with the 100% evapotranspiration blade provided an increase in assimilation rate and internal CO₂ concentration. The chlorophyll a fluorescence was not influenced by such factors (water and blades). The 75% and 50% slides of crop evapotranspiration reduced the gas exchange, the photochemical extinction coefficient and the electron transport rate.

Keywords: Gas exchange. Chlorophyll fluorescence. Hydroponics. Photosynthesis. Effluent.

2.1 INTRODUÇÃO

O pimentão (*Capsicum annum* L.) destaca-se entre as culturas com maior relevância econômica cultivadas em ambiente protegido (SANTOS et al., 2017). O cultivo sucessivo neste ambiente pode causar acúmulo de sais devido ao uso constante de adubos químicos, e também a proliferação de alguns patógenos no solo, inviabilizando esta prática. Com o intuito de remediar esse problema a substituição do solo por substrato em vasos ou calhas vem crescendo.

No Brasil, o uso de substratos em sistemas hidropônicos predomina no cultivo de hortaliças de fruto. Factor et al. (2008) afirmam que a hidroponia associada a substratos, e sem a recirculação da solução nutritiva, permite uma maior retenção de umidade e redução do consumo de eletricidade, além de evitar a disseminação de patógenos do sistema radicular, que podem ser transmitidos através da recirculação da solução nutritiva.

No interior do ambiente protegido, ocorrem alterações meteorológicas provocadas principalmente pela cobertura plástica, as quais influenciam o consumo hídrico das plantas, sendo por isso essencial adequar o manejo da irrigação para esta condição (PIVETTA et al., 2010). A irrigação em muitos casos é realizada de forma empírica, podendo ser insuficiente, o que leva ao fechamento dos estômatos, e por conseguinte, redução da fotossíntese, ou ser em excesso e causar a lixiviação dos nutrientes (VALANDRO et al., 2007).

O interesse em aplicar águas residuárias na agricultura também vem crescendo, devido principalmente a necessidade de encontrar fontes alternativas de água, possibilidade de redução dos custos com fertilizantes em função da presença de nutrientes que não foram totalmente extraídos pelo processo de tratamento (ZEMA et al., 2012).

As águas residuárias de origem doméstica também podem conter patógenos dependendo do tratamento a que foram submetidas, e de acordo com a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006), o tratamento primário de águas residuárias domésticas é suficiente para fertirrigação de culturas agrícolas que não sejam para consumo humano direto, e em contra partida, para culturas usadas no consumo direto por humanos é necessário tratamento secundário e desinfecção.

O pimentão por ser uma hortaliça de fruto, e quando cultivado em sistema hidropônico, no qual a solução nutritiva é fornecida através de irrigação localizada, pode ter uma mitigação do risco de contaminação com águas residuárias, já que o fruto desenvolve-se sem contato com o substrato.

A atividade fotossintética das plantas depende de muitos fatores, sendo os externos abióticos mais importantes: a temperatura, a concentração de CO₂ e O₂, a disponibilidade da água e estado nutricional do solo ou substrato de cultivo (JEZDINSKÝ; POKLUDA, 2016). Os componentes produtivos de uma cultura são influídos pelas características morfológicas e fisiológicas das folhas e dos frutos, sendo as folhas fonte e os frutos drenos de fotoassimilados, e por isso a importância

de pesquisas que produzam informações sobre a fisiologia da cultura nas mais diversas situações (BRANDÃO Filho et al., 2003).

A avaliação em conjunto das trocas gasosas e da fluorescência da clorofila *a* apresentam vantagens de não serem métodos destrutivos, além de fornecerem subsídios para estimar danos nos cloroplastos, e conseqüentemente no processo de transporte de elétrons do fotossistema II (MAXWELL; JHONSON, 2000).

Dentre os trabalhos encontrados na literatura, com a cultura do pimentão que avaliaram os aspectos fisiológicos, destaca-se Melo et al. (2017), sobre a influência da salinidade nas trocas gasosas e nos pigmentos fotossintéticos da cultura, os quais foram reduzidos com o aumento da condutividade elétrica. Borges et al. (2016) avaliaram os efeitos da interação do uso de água energizada e doses de biofertilizantes nas trocas gasosas do pimentão, e não encontraram diferença estatística entre os tratamentos avaliados.

Estudos sobre a relação do uso de água residuária em sistemas hidropônicos, aliados aos efeitos na fisiologia da cultura do pimentão, e em hortaliças de modo geral, não foram encontrados. Desta forma, investigações desta natureza são importantes para o entendimento dos processos fotossintéticos das plantas cultivadas com água residuária, tendo em vista a necessidade de conhecimento dos efeitos desta prática na cultura do pimentão.

Diante da necessidade de geração de conhecimento sobre manejo mais eficiente da água e o uso de águas residuárias em sistemas hidropônicos, objetivou-se nesta pesquisa, avaliar as trocas gasosas e a fluorescência da clorofila *a* da cultura do pimentão cultivado em sistema hidropônico com substrato e água de reúso, submetido a diferentes taxas de reposição de solução nutritiva no substrato.

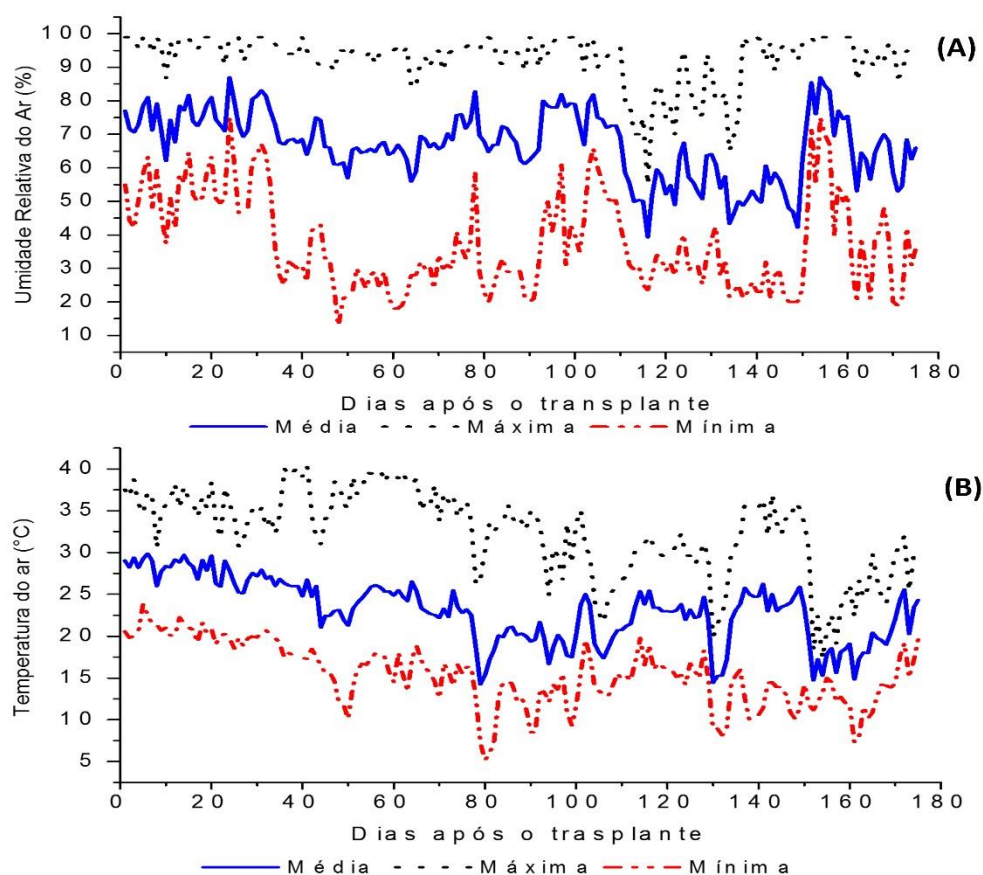
2.2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida em casa de vegetação com teto em formato de arco, coberta com filme plástico transparente difusor (100 microns), e fechamento lateral com tela tipo sombrite, instalada na área experimental da Faculdade de Ciências Agronômicas/ UNESP, município de Botucatu-SP, com localização geográfica à 22° 51' S de latitude, 48° 26' W de longitude, e 786 m de altitude.

O clima da região caracteriza-se por duas estações bem definidas, sendo uma seca, de abril a setembro, e outra chuvosa, de outubro a março, e enquadra-se como

sendo Cfa pelo método de Köppen (CUNHA; MARTINS, 2009). Durante o período experimental, de março a agosto de 2018, monitorou-se diariamente a temperatura e umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação, através de uma estação meteorológica automática (Figura 5).

Figura 5 - Dados ambientais da umidade relativa do ar média, máxima e mínima (A) e temperatura do ar média, máxima e mínima (B), durante o período experimental no interior da casa de vegetação. Botucatu, 2018. Elaboração: próprio autor



O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso em esquema fatorial (2 x 3), dois tipos de água, reúso e potável, e três percentuais de reposição de solução nutritiva no substrato, 100, 75 e 50% da evapotranspiração da cultura medida (ETc), e dez repetições (Tabela 6).

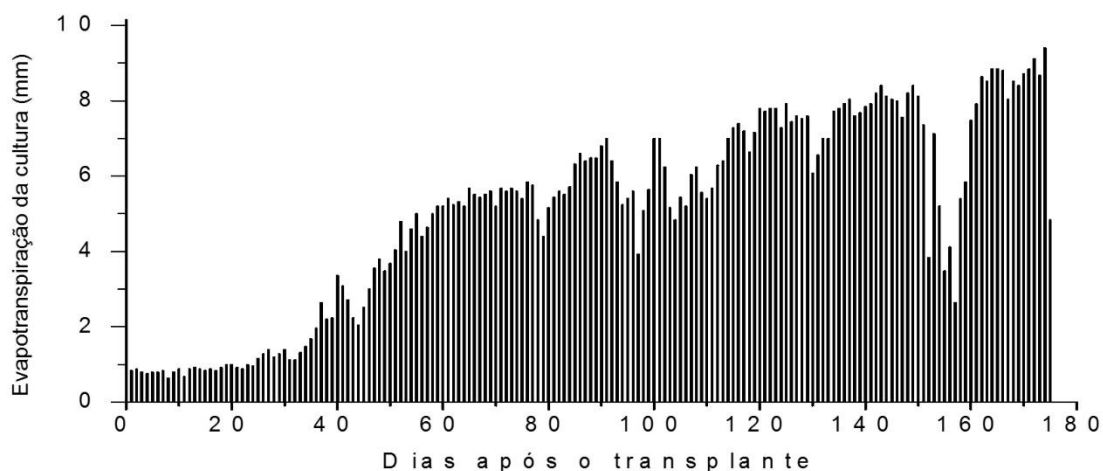
Tabela 6 - Distribuição dos tratamentos quanto aos tipos de água e lâminas de irrigação

Tratamentos	Tipo de água	Irrigação
TP1	Solução nutritiva preparada com água potável	100% da ETc
TP2	Solução nutritiva preparada com água potável	75% da ETc
TP3	Solução nutritiva preparada com água potável	50% da ETc
TR1	Solução nutritiva preparada com água de reúso	100% da ETc
TR2	Solução nutritiva preparada com água de reúso	75% da ETc
TR3	Solução nutritiva preparada com água de reúso	50% da ETc

As plantas foram cultivadas em sistema hidropônico sem recirculação da solução nutritiva, em vasos de polietileno com capacidade volumétrica de 15 litros e preenchidos com substrato de fibra da casca de coco, no qual cada vaso correspondeu a uma parcela.

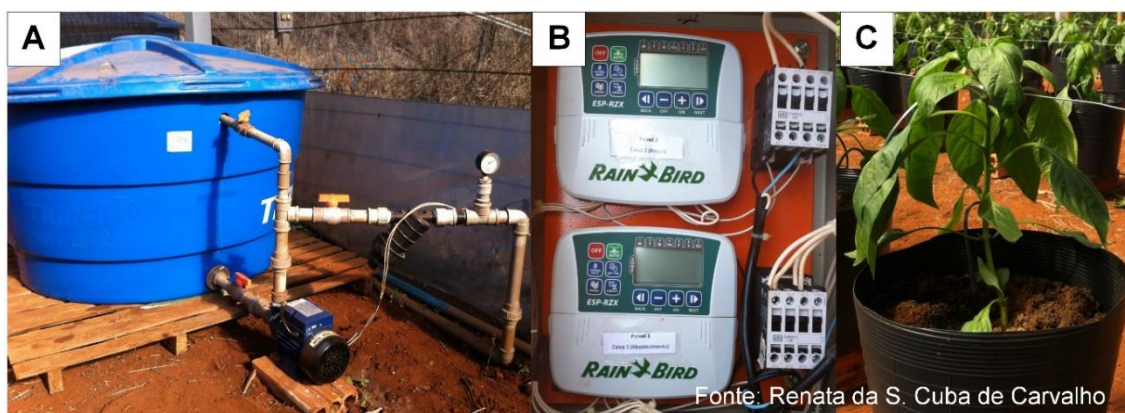
O manejo da irrigação foi realizado a partir de medições diretas da evapotranspiração da cultura em três lisímetros de lençol freático constante, instalados no interior do ambiente protegido, e cada um cultivado com uma planta de pimentão com o mesmo estágio de desenvolvimento das plantas dos tratamentos. A medida da evapotranspiração da cultura (ETc) foi diária (Figura 6), a partir da qual calculou-se os percentuais de cada lâmina avaliada. A lâmina diária calculada foi dividida em seis aplicações ao longo do dia.

Figura 6 - Evapotranspiração da cultura do pimentão medida diariamente. Botucatu, 2018. Elaboração: próprio autor



O experimento foi composto por dois sistemas de irrigação independentes para evitar a mistura das soluções nutritivas preparadas com os dois tipos de água, potável e 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, linha principal em PVC, três linhas secundárias de mangueiras de polietileno (diâmetro de 20 mm) (Figura 7).

Figura 7 - Sistema de irrigação, (A) reservatório, conjunto moto-bomba, filtro e manômetro, (B) controladores e (C) vaso usado no cultivo. Botucatu, 2018



Fonte: Renata da S. Cuba de Carvalho

Utilizou-se um gotejador autocompensante por vaso, com vazão média de 2 L h⁻¹, espaçados a 0,50 m, interligado por um microtubo. Nesta pesquisa foram usados 60 vasos de polietileno (15 litros) preenchidos com substrato de fibra de coco e cada um cultivado com uma planta de pimentão, distribuídos 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.

Após a instalação do sistema de irrigação, realizou-se o teste de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), para verificação da uniformidade de distribuição de água no sistema, a uma pressão de serviço de 15 mca. Posteriormente, 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).

$$CUC = \left[\frac{\sum_{I=L}^N X_I - \bar{X}}{N * \bar{X}} \right] \quad (01)$$

Em que: *CUC* é Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (adimensional); *N* o número de coletores; X_i a lâmina de água aplicada no *i*-ésimo ponto sobre a superfície do solo em $L\ h^{-1}$; $\bar{X}$ a lâmina média aplicada em $L\ h^{-1}$.

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

A solução nutritiva usada na irrigação das plantas na fase vegetativa da cultura foi a proposta por Furlani et al. (1999), a qual contém as seguintes quantidades de fertilizantes em $g\ m^{-3}$: 750 g de nitrato de cálcio, 450 g de nitrato de potássio, 200 g de fosfato monoamônio, 400 g de sulfato de magnésio e 25 g de um concentrado de micronutrientes "ConMicros Standard®". O combo de micronutrientes contém na porção de 25 g: 1,81; 0,19; 0,4; 0,4; 0,05; 0,09 e 0,08 g de Fe, Zn, Mn, B, Cu, Mo e Ni, respectivamente, segundo informações do fabricante.

Na fase de frutificação a solução nutritiva utilizada foi a mesma da fase vegetativa, porém acrescida de 150 g de fosfato monopotássio e 75 mL de solução preparada com 25 g de ácido bórico diluídos em 1 L de água.

Na Tabela 7 consta a caracterização química dos dois tipos de água usadas nos preparos das diferentes soluções nutritivas. A água de reúso oriunda do tratamento de esgoto doméstico foi fornecida mensalmente pela estação de tratamento de esgotos - ETE pertencente a SABESP/ Botucatu-SP, e amostras mensais foram coletadas na saída do reservatório para serem analisadas quanto aos parâmetros de pH, condutividade elétrica, macro, micronutrientes e sódio, com a finalidade de caracterização. A água potável também foi analisada mensalmente para os mesmos parâmetros.

Tabela 7 - Resultados médios e desvio padrão da caracterização da água potável e 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. Legenda: 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 quantidade de adubo utilizada foi a mesma para a água potável e 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 adicionada a solução, e 50% para os micronutrientes.

Os tratamentos culturais durante o ciclo da cultura envolveram a poda de brotos laterais e dos primeiros frutos situados abaixo da primeira bifurcação. O manejo de pragas e doenças foi diário, por meio de monitoramento visual. Aplicou-se Abamectin®, Cabrio Top® e Bion WG®, sendo o primeiro para o controle de ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*) e minadora (*Liriomyza huidobrensis*), e os dois últimos para o fungo oídio (*Oidio* spp), seguindo as recomendações de dosagem e aplicação de cada produto recomendados para a cultura.

Para realizar as medidas das trocas gasosas utilizou-se o equipamento IRGA ("Infra Red Gas Analyser"), modelo LI-6400, LI-COR, o qual apresenta sistema aberto de fotossíntese com analisador de CO₂ e vapor d'água por radiação infravermelha. Essas medidas foram feitas aos 115 dias após o transplante, no período das 9:00 às 11 horas da manhã. As folhas analisadas estavam com o limbo totalmente expandido e optou-se por sempre escolher a segunda folha do ápice para baixo.

Os parâmetros medidos foram: taxa de assimilação de CO₂ (A , $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), concentração interna de CO₂ na folha (C_i , $\mu\text{molCO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ ar}$), taxa de transpiração (E , $\text{mmol vapor d'água m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). A partir da relação entre a taxa de assimilação de CO₂ e taxa de transpiração, calculou-se a eficiência do uso da água na folha (A/E , $\mu\text{molCO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$), e a eficiência de carboxilação (A/C_i) foi obtida mediante a relação entre taxa de assimilação de CO₂ e concentração interna de CO₂ na folha.

Os resultados foram obtidos através da equação geral de trocas gasosas de Von Caemmerer; Farquhar (1981), a qual é usada para os cálculos pelo programa de análise de dados do equipamento que mede a de trocas gasosas (IRGA).

A emissão de fluorescência da clorofila *a* foi medida no mesmo dia, e horário das medidas de trocas gasosas, através de fluorômetro acoplado ao IRGA (LI-6400), pelo método do pulso saturado (MAXWELL; JOHNSON, 2000). Com a emissão da fluorescência da clorofila *a*, obteve-se a medida da fluorescência máxima (F_m'), a fluorescência no estado de equilíbrio dinâmico (F') e a fluorescência mínima (F_0'), e com estes resultados calculou-se os seguintes parâmetros: eficiência quântica potencial do fotossistema II (F_v/F_m), eficiência quântica da antena (F_v'/F_m'), coeficiente de extinção fotoquímico (qP), coeficiente de extinção não-fotoquímico (qNP), e a taxa aparente de transporte de elétrons (ETR).

Para o cálculo da taxa aparente de transporte de elétrons, a porção de excitação de energia distribuída para o fotossistema II, e a porção da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos absorvida pela folha, foram consideradas 0,5 e 0,84, respectivamente (DEMMIG; BJÖRKMAN, 1987).

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância através do teste F, e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os fatores avaliados interagiram significativamente somente para a taxa de assimilação de CO₂ (A) e concentração interna de CO₂ (C_i), para os demais parâmetros das trocas gasosas não houve interação (Tabela 8).

Tabela 8 - Análise de variância para taxa de assimilação de CO₂ (*A*, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); condutância estomática (*g_s*, $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO₂ na folha (*C_i*, $\mu\text{mol mol}^{-1}$), taxa de transpiração (*E*, $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), eficiência do uso da água na folha (*A/E*, $\mu\text{molCO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$) e eficiência de carboxilação (*A/C_i*) das plantas de pimentão aos 115 dias após o transplante

Causas de Variação	GL	Trocas Gasosas					
		<i>A</i>	<i>g_s</i>	<i>C_i</i>	<i>E</i>	<i>A/E</i>	<i>A/C_i</i>
Água (A)	1	0,03 ^{ns}	0,83 ^{ns}	4,11 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,17 ^{ns}
Lâminas (L)	2	244,98 **	31,61 **	43,44 **	23,42 **	2,38 ^{ns}	32,51 **
Interação A x L	2	4,71 *	0,45 ^{ns}	4,37 *	0,14 ^{ns}	0,02 ^{ns}	3,57 ^{ns}
CV	(%)	6,79	25,78	8,64	23,55	36,04	14,48

Legenda: ^{ns} não significativo; * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade; CV (%) coeficiente de variação.

A partir do desdobramento da interação dos fatores e teste Tukey para a taxa de assimilação (Tabela 9), nota-se que não ocorreu efeito significativo do tipo de água usada em função das lâminas de reposição de solução nutritiva. Os efeitos das lâminas de reposição de solução nutritiva foram altamente significativos, e quanto menor o percentual de reposição de solução nutritiva no substrato, menor a taxa de assimilação.

Tabela 9 - Desdobramento da interação entre tipos de água e lâminas de solução nutritiva para as médias da taxa de assimilação de CO₂ (*A*) ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentração interna de CO₂ (*C_i*) ($\mu\text{mol mol}^{-1}$)

Tipos de Água	<i>A</i>			<i>C_i</i>		
	Lâminas de solução nutritiva			Lâminas de solução nutritiva		
	100%	75%	50%	100%	75%	50%
Potável	15,82 aA	10,91 bA	7,32 cA	198,11 aA	133,17 bA	137,93 bA
Reúso	17,19 aA	11,10 bA	5,95 cA	209,23 aA	176,54 bA	123,84 cA

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey.

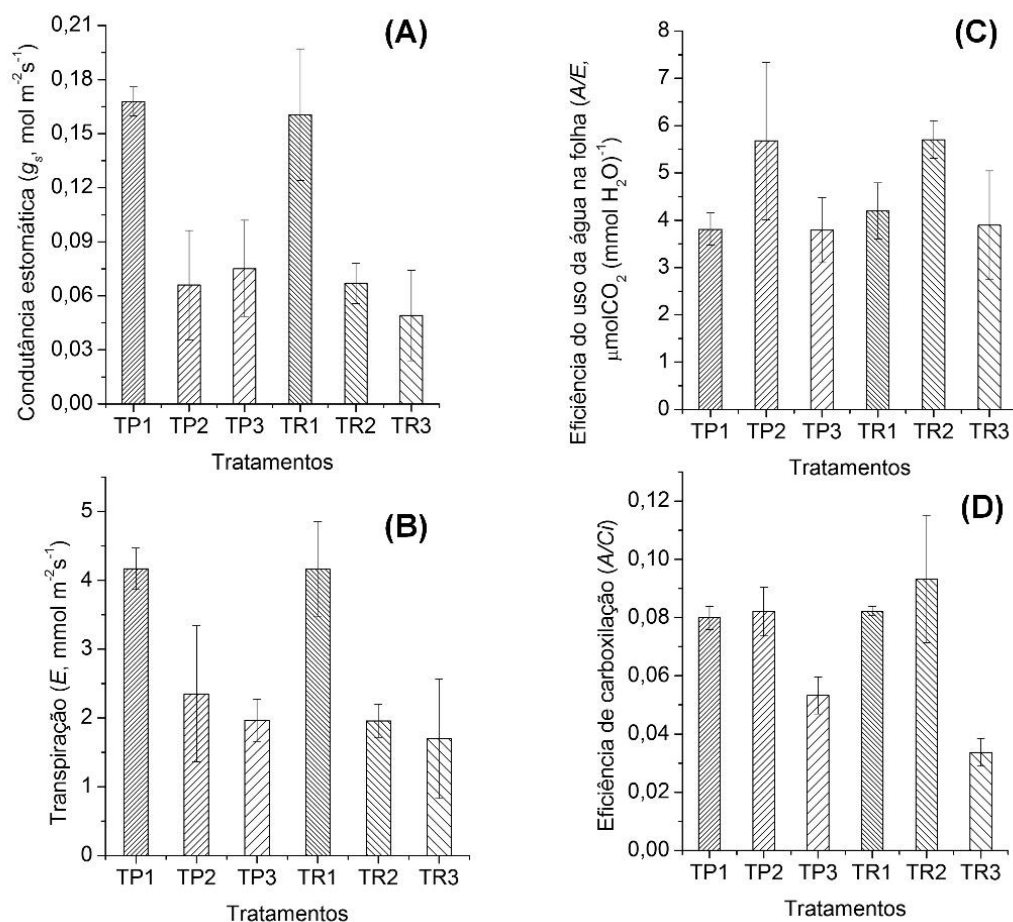
Para a concentração interna de CO₂, o desdobramento da interação mostra que o tipo de água usada não teve efeito sobre as lâminas (Tabela 9). Ao contrário, as

lâminas tiveram efeito sobre o tipo de água, o percentual de 100% de ETc proporcionou a maior concentração interna de CO₂, e para a lâmina de 50% com água de reúso ocorreu a menor concentração, se diferenciando estatisticamente dos demais. Esse resultado pode ser explicado pelo fato da menor disponibilidade hídrica no substrato induzir a redução na abertura dos estômatos e posteriormente restringir a entrada de CO₂.

Os demais resultados médios da interação entre os fatores são apresentados na Figura 8. Apesar de não haver interação significativa entre eles verifica-se que os tratamentos com as lâminas de 75 e 50% da ETc apresentaram menores médias em comparação com a lâmina de 100% da ETc.

Figura 8 - Médias da condutância estomática (A), taxa de transpiração (B), eficiência do uso da água na folha (C) e eficiência de carboxilação (D).

Elaboração: próprio autor



Legenda: TP1 (água potável e lâmina de 100% da ETc), TP2 (água potável e lâmina de 75% da ETc), TP3 (água potável e lâmina de 50% da ETc), TR1 (água de reúso e lâmina de 100% da ETc), TR2 (água de reúso e lâmina de 75% da ETc) e TR3 (água de reúso e lâmina de 50% da ETc).

Ao analisar os fatores isoladamente, o tipo de água não causou alterações significativas nas médias dos parâmetros das trocas gasosas avaliados, porém, para os percentuais de reposição de água no substrato, as diferenças entre as médias foram significativas, exceto para a eficiência no uso da água na folha (A/E). Os resultados médios das trocas gasosas para os dois fatores são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Valores médios da taxa de assimilação de CO₂ (*A*, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); condutância estomática (*gs*, $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO₂ na folha (*Ci*, $\mu\text{mol mol}^{-1}$), taxa de transpiração (*E*, $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), eficiência do uso da água na folha (*A/E*, $\mu\text{molCO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$) e eficiência de carboxilação (*A/Ci*) em plantas de pimentão aos 115 dias após o transplante para os fatores tipos de águas (potável e reúso) e lâminas de solução nutritiva (100, 75 e 50%)

Fatores		<i>A</i>	<i>gs</i>	<i>Ci</i>	<i>E</i>	<i>A/E</i>	<i>A/Ci</i>
Tipos de Água (A)	Potável	11,35	0,10	156,41	2,82	4,42	0,07
	Reúso	11,41	0,09	169,87	2,60	4,59	0,07
	DMS	0,79	0,03	30,71	0,65	1,67	0,01
Lâminas (L)	100%	16,51 a	0,16 a	203,67 a	4,16 a	4,00	0,081 a
	75%	11,01 b	0,06 b	157,23 b	2,10 b	5,64	0,087 a
	50%	6,64 c	0,06 b	128,51 c	1,83 b	3,84	0,043 b
	DMS	1,19	0,04	30,70	0,98	2,50	0,02

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey. Legenda: DMS- Diferença mínima significativa.

As trocas gasosas estão relacionadas com o potencial de água disponível para as plantas, sendo que em plantas cultivadas com reposição de 100% da ETc apresentaram maior taxa de assimilação, maior abertura dos estômatos, e em consequência, maior concentração de CO₂ e transpiração, quando comparadas aos demais percentuais de reposição. Esse resultado ocorre porque os estômatos são o principal dispositivo de controle das trocas gasosas, e a restrição hídrica levou ao seu fechamento parcial ou completo (SILVA et al., 2015).

As trocas gasosas são variáveis que podem ser usadas como indicadoras de estresse hídrico. Jezdinský; Pokluda (2016), em um experimento para avaliar a correlação entre a taxa de fotossíntese e a quantidade de água disponível no solo, constataram que a cultura do pimentão reduziu em 70% a taxa de assimilação (*A*) em condições de déficit hídrico quando comparado a situação com o percentual ideal de água no solo para a cultura.

A eficiência do uso da água na folha é obtida a partir da relação entre a taxa de assimilação (*A*) e a transpiração (*E*), e a maior *A/E* encontrada foi para a lâmina de 75%. Este resultado se deve ao fato dos estômatos estarem parcialmente fechados, e consequentemente, reduzirem a transpiração, aumentando a eficiência no uso da água na folha. Resposta semelhante foi encontrada para a eficiência de carboxilação

para os resultados médios da lâmina de 75%. A redução na concentração de CO₂ fez aumentar a A/C_i , quando comparada com o tratamento de 100% da ETc. Segundo Lorenzo-Minguez (1994), a condutância estomática pode diminuir em algumas espécies antes que a taxa de assimilação de CO₂ reduza, em função de alterações ambientais. Além disso, altas concentrações internas de CO₂, juntamente com aumento na condutância estomática, apontam um incremento na eficiência instantânea de carboxilação, a qual acontece em função da disponibilidade de ATP (adenosina trifosfato) e NADPH₂ (dinucleotídeo de adenina nicotina amida fosfato reduzida), e do substrato para a rubisco (ribulose 1,5 bisfosfato carboxilase/oxigenasse) (SILVA et al., 2015).

Esses resultados concordam com as repostas de plantas de pimentão submetidas a condições ambientais favoráveis à maior demanda evaporativa e restrição de água, observados por Jadoski; Klar (2011), os quais afirmam que a cultura do pimentão apresenta um mecanismo fisiológico sensível à esta condição. Ainda segundo Larcher (2001), as plantas em situação de déficit hídrico podem sintetizar ácido abscísico nas raízes, o qual é transportado para diversas partes da planta, atuando como um sinal à falta de água, induzindo o fechamento estomático.

Delfine et al. (2001), ao avaliarem os processos fisiológicos e metabólicos afetados pelo estresse hídrico no pimentão cultivado em campo na região do Mediterrâneo, concluíram que o aparelho fotossintético das plantas de pimentão é resistente a episódios de estresse hídrico, pelo menos durante a primeira fase vegetativa, porém a partir do florescimento, as limitações da fotossíntese se tornam permanentes. Os mesmos autores também afirmam, que os danos à fotossíntese em condições de estresse hídrico também podem ser causados pela redução da síntese de ATP.

Em conjunto com as análises de trocas gasosas, a fluorescência da clorofila *a* também foi analisada, mas não houve interação significativa entre os fatores (Tabela 11).

Tabela 11 - Análise de variância para Eficiência quântica potencial do FSII (F_v/F_m); eficiência quântica da antena (F_v'/F_m'), coeficiente de extinção fotoquímico (qP), coeficiente de extinção não-fotoquímico (qNP), taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) em plantas de pimentão aos 115 dias após o transplante

Causas de variação	GL	Fluorescência da clorofila a				
		F_v/F_m	F_v'/F_m'	qP	qNP	ETR
Água (A)	1	0,20 ^{ns}	0,18 ^{ns}	1,81 ^{ns}	0,07 ^{ns}	2,55 ^{ns}
Lâminas (L)	2	1,12 ^{ns}	0,98 ^{ns}	5,2*	1,15 ^{ns}	17,09**
Interação A x L	2	3,31 ^{ns}	2,47 ^{ns}	0,12 ^{ns}	2,33 ^{ns}	0,70 ^{ns}
CV	(%)	4,92	5,95	17,59	17,72	12,75

Legenda: ^{ns} não significativo; * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade; CV (%) coeficiente de variação.

O tipo de água usada não apresentou efeito significativo para as variáveis analisadas, enquanto que as lâminas de reposição da solução nutritiva influenciaram significativamente o coeficiente de extinção fotoquímico (qP) e a taxa de transporte de elétrons (ETR). Os resultados médios de cada fator para os parâmetros avaliados da fluorescência da clorofila a são dispostos na Tabela 12, assim como as médias para cada tratamento na Figura 9.

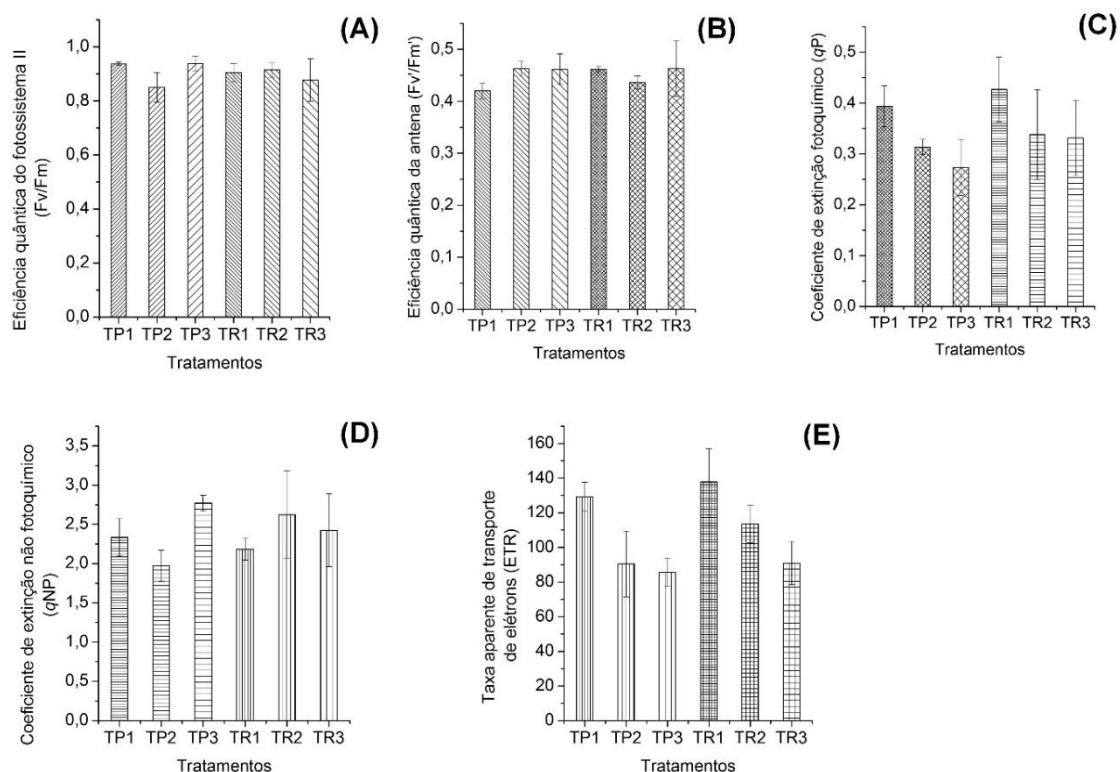
Tabela 12 - Resultados médios da Eficiência quântica potencial do fotossistema II (F_v/F_m); eficiência quântica da antena (F_v'/F_m'), coeficiente de extinção fotoquímico (qP), coeficiente de extinção não-fotoquímico (qNP), taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) em plantas de pimentão aos 120 dias após o transplante para os fatores tipos de águas (potável e reúso) e lâminas de solução nutritiva (100, 75 e 50%)

Fatores		F_v/F_m	F_v'/F_m'	qP	qNP	ETR
Tipos de Água (A)	Potável	0,90	0,45	0,32	2,41	101,83
	Reúso	0,89	0,44	0,36	2,35	114,07
	DMS	0,04	0,03	0,06	0,43	14,13
Lâminas (L)	100%	0,92	0,46	0,41 a	2,25	133,56 a
	75%	0,91	0,45	0,32 ab	2,29	102,03 b
	50%	0,88	0,44	0,30 b	2,59	88,25 b
	DMS	0,06	0,04	30,70	0,65	21,20

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey. Legenda: DMS- Diferença mínima significativa.

Figura 9 - Médias da Eficiência quântica do fotossistema II (A), Eficiência quântica da antena (B), Coeficiente de extinção fotoquímico (C), Coeficiente de extinção não fotoquímico (D) e Taxa aparente de transporte de elétrons (E).

Elaboração: próprio autor



Legenda: TP1 (água potável e lâmina de 100% da ETc), TP2 (água potável e lâmina de 75% da ETc), TP3 (água potável e lâmina de 50% da ETc), TR1 (água de reúso e lâmina de 100% da ETc), TR2 (água de reúso e lâmina de 75% da ETc) e TR3 (água de reúso e lâmina de 50% da ETc).

A eficiência quântica do Fotossistema II (F_v/F_m) pode ser usada para avaliar capacidade fotossintética e a diminuição da assimilação de CO_2 em culturas expostas ao déficit hídrico (CAMPELO et al., 2015), representa o rendimento quântico fotoquímico máximo do fotossistema II quando os centros de reação estão abertos (SAMANIEGO-GÁMEZ et al., 2016). Os resultados médios obtidos de F_v/F_m para os dois fatores variou de 0,88 a 0,92, e são considerados adequados segundo Bolhàr-Nordenkamp et al. (1989), sendo que abaixo de 0,75 indicam fotoinibição e dano ao aparelho fotossintético.

Para a eficiência quântica da antena (F_v'/F_m'), a qual é o parâmetro que verifica se os elétrons emitidos através da excitação do fotossistema II estão sendo capturados e transportados para a síntese de NAPH_2 e ATP, também não houve diferença significativa entre as médias. O coeficiente de extinção fotoquímico foi

significativamente maior para as plantas submetidas a reposição de 100% da ET_c, em comparação às plantas com reposição de 50% da ET_c, o que permite inferir que a maior disponibilidade de água no substrato proporcionou maior eficiência no transporte de elétrons.

O coeficiente de extinção não fotoquímico, o qual mede a dissipação de calor, não foi influenciado pelos fatores. A taxa de transporte de elétrons (ETR) também está relacionada com a absorção de luz pela molécula de clorofila, pois se estes fótons estiverem sendo utilizados para o transporte de elétrons no fotossistema II, a ETR será mais alta, e conseqüentemente, a dissipação de energia tende a ser menor. Houve diferença altamente significativa entre as médias do fator lâminas para a ETR, sendo possível verificar na lâmina de 100% a maior média, e conseqüentemente, menor dissipação de energia em relação as demais lâminas.

As médias da eficiência quântica do fotossistema II e da antena para os tratamentos apresentaram valores médios bem próximos, variando de 0,87 a 0,93 e de 0,42 a 0,46, respectivamente, e demonstram que não houve dano fotoinibitório no fotossistema em função do tipo de água e das lâminas de solução nutritiva.

Concordando com os resultados deste trabalho, Silva et al. (2015), em um experimento para avaliar a cultura da berinjela em ambiente protegido, sob cinco lâminas de irrigação: 33, 66, 100, 133 e 166% da evapotranspiração da cultura, não encontraram alterações na eficiência quântica do fotossistema II. Outros estudos também demonstram não haver alterações em Fv/Fm em plantas cultivadas sob déficit hídrico quando comparadas ao tratamento controle, mesmo quando o crescimento foliar e as trocas gasosas foram reduzidos (PÉREZ-GUTIÉRREZ et al., 2017; PENELLA et al., 2014; LEE et al., 2004).

Através da interpretação dos resultados em conjunto das trocas gasosas e da fluorescência da clorofila *a*, pode-se salientar que o efeito da reposição de 75 e 50% da evapotranspiração da cultura não causou danos ao aparelho fotossintético, porém levou a redução na condutância estomática e transpiração, limitando o metabolismo fotossintético de carbono, e prejudicando o transporte de elétrons, os quais segundo Lin et al. (2007) são afetados por condições de estresse. De acordo com Lopes; Lima (2015), a planta aproveita menos de 1% da água absorvida no processo fotossintético, e por isso, o seu efeito é indireto, através de alterações nos fenômenos de difusão por meio dos estômatos.

2.4 CONCLUSÕES

A água de reúso associada a lâmina de 100% da evapotranspiração proporcionou aumento na taxa de assimilação e na concentração interna de CO₂.

A fluorescência da clorofila a não foi influenciada pelos fatores (água e lâminas) juntos.

As lâminas de 75% e 50% da evapotranspiração da cultura reduziram significativamente as trocas gasosas, o coeficiente de extinção fotoquímico e a taxa aparente de transporte de elétrons.

REFERÊNCIAS

BORGES, F. R. M. et al. Gas exchange and leaf contents in bell pepper under energized water and biofertilizer doses. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 6, p. 533–538, jun. 2016.

BRANDÃO FILHO, J. U. T. et al. Influência da enxertia nas trocas gasosas de dois híbridos de berinjela cultivados em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, p. 474–477, 2003.

BOLHAR-NORDENKAMPF, H. R. et al. Chlorophyll Fluorescence as a Probe of the Photosynthetic Competence of Leaves in the Field: A Review of Current Instrumentation. **Functional Ecology**, v. 3, n. 4, p. 497, 1989.

CAMPELO, D. DE H. et al. Trocas gasosas e eficiência do fotossistema II em plantas adultas de seis espécies florestais em função do suprimento de água no solo. **Revista Árvore**, v. 39, n. 5, p. 973–983, out. 2015.

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

DELFINÉ, S.; LORETO, F.; ALVINO, A. Drought-stress effects on physiology, growth and biomass production of rainfed and irrigated bell pepper plants in the Mediterranean region. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 126, n. 3, p. 297–304, 2001.

DEMMIG, B.; BJÖRKMAN, O. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77 K among vascular plants of diverse origins. **Planta**, 170(4), 489-504, 1987.

FACTOR, T. L.; ARAÚJO, J.; VILELLA JÚNIOR, L. V. Produção de pimentão em substratos e fertirrigação com efluente de biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 143–149, 2008.

FURLANI, P. R., et al. Nutrição mineral de hortaliças, preparo e manejo de soluções nutritivas. *Informe Agropecuário*, v. 20, p. 90 – 98, 1999.

JADOSKI, S.; KLAR, A. E. O. **Fisiologia do estresse por deficiência hídrica: cultura do pimentão**. Guarapuava, 2011. 160 p.

JEZDINSKÝ, A.; POKLUDA, R. Photosynthetic activity as an indicator of drought stress in vegetables. **Acta Horticulturae**, n. 1112, p. 39–44, mar. 2016.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RiMa, 2001, 531p.

LEE, H. Y.; JUN, S.-S.; HONG, Y.-N. Increased photoinhibition in dehydrated leaves of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) is not accompanied by an incremental loss of functional PSII. **Journal of Plant Biology**, v. 47, n. 2, p. 83–91, 2004.

LIN, W.; ZHANG, S.; SHAN, L. Responsibility of non-stomatal limitations for the reduction of photosynthesis—response of photosynthesis and antioxidant enzyme characteristics in alfalfa (*Medicago sativa* L.) seedlings to water stress and rehydration. **Frontiers of Agriculture in China**, v. 1, n. 1, p. 255–264, 2007.

LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. **Fisiologia da produção**. Viçosa: Editora UFV, 2015. 492 p.

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

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 345, p. 659-668, 2000.

MELO, H. F. DE et al. Gas exchange and photosynthetic pigments in bell pepper irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 38–43, 2017.

OLIVEIRA-BARCELOS, J. **Curso de Hidroponia**. Laboratório de Hidroponia, 2016. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias.

PENELLA, C. et al. **Evaluation of some pepper genotypes as rootstocks in water stress conditions**. Horticultural Science. **Anais...Czech Academy of Agricultural Sciences**, 2014.

PÉREZ-GUTIÉRREZ, A. et al. Growth, phenology and chlorophyll fluorescence of habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) under water stress conditions. **Acta Agronómica**, v. 66, n. 2, p. 214–220, 2017.

PIVETTA, C. R. et al. Evapotranspiração máxima do pimentão cultivado em estufa plástica em função de variáveis fenométricas e meteorológicas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 14, n. 7, 2010.

SAMANIEGO-GÁMEZ, B. Y. et al. *Bacillus* spp. inoculation improves photosystem II efficiency and enhances photosynthesis in pepper plants. **Chilean journal of agricultural research**, v. 76, n. 4, p. 409–416, dez. 2016.

SANTOS, P. R. et al. Performance of lines and hybrids of sweet pepper under two pruning systems and hydroponic cultivation. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 129–134, 2017.

SILVA, F. G. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 946–952, out. 2015.

VALANDRO, J. et al. Transpiração do tomateiro cultivado fora do solo em estufa plástica e sua relação com os elementos meteorológicos. **Ciência Rural**, v. 37, n. 6, 2007.

von CAEMMERER, S.; FARQUHAR, G. D. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. **Planta**, 153(4), p. 376-387, 1981.

ZEMA, D. A. et al. Irrigation of energy crops with urban wastewater: Effects on biomass yields, soils and heating values. **Agricultural Water Management**, v. 115, p. 55–65, 2012.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. 3. ed. Geneva: World Health Organization, 2006.

CAPÍTULO 3

TEORES DE NUTRIENTES NA CULTURA DO PIMENTÃO CULTIVADO EM SUBSTRATO DE FIBRA DE CASCA DE COCO COM ÁGUA DE REÚSO E DIFERENTES LÂMINAS DE REPOSIÇÃO DE SOLUÇÃO NUTRITIVA

RENATA DA SILVA CUBA DE CARVALHO, ANTONIO EVALDO KLAR, MARIA MÁRCIA PEREIRA SARTORI, LUÍS ROBERTO GABRIEL DE ALMEIDA FILHO, HÉLIO GRASSI FILHO

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi determinar os teores foliares e nos frutos de nutrientes na cultura do pimentão, cultivado em substrato de fibra de casca de coco, usando água de reúso para preparo da solução nutritiva, e submetidos a diferentes lâminas de reposição da evapotranspiração. O delineamento experimental foi fatorial 2 x 3 (dois tipos de água: potável e reúso; três lâminas de reposição da evapotranspiração: 100, 75 e 50%), distribuídos inteiramente ao acaso, e desenvolvido em casa de vegetação. As plantas foram cultivadas em vasos de 15 L, preenchidos com substrato de fibra de casca de coco. A evapotranspiração da cultura foi medida através de lisímetros de lençol freático constante. A cultura foi avaliada aos dois terços de seu desenvolvimento (115 dias após o transplante), a partir de coletas de folhas e frutos totalmente desenvolvidos, para determinação em laboratório dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na. Os teores foliares de macro e micronutrientes encontrados estavam de acordo com o esperado para a cultura, com exceção do fósforo, o qual ficou abaixo do mínimo esperado. A água de reúso usada no preparo da solução nutritiva aumentou os teores de sódio nas folhas e nos frutos.

Palavras-chave: Efluente. Hidroponia. *Capsicum annum* L. Evapotranspiração. Fertirrigação

NUTRIENT CONTENT IN PEPPER CULTURE CULTIVATED IN COCONUT HUSK FIBER SUBSTRATE WITH RECYCLED WATER AND DIFFERENT BLADES OF NUTRIENT SOLUTION

ABSTRACT

The objective of this work was to determine the foliar and nutrient content of the bell pepper, cultivated on coconut shell fiber substrate, using reuse water to prepare the nutrient solution, and submitted to different evapotranspiration replacement slides. The experimental design was a 2 x 3 factorial (two types of water: potable and reuse, three evapotranspiration replacement blades: 100, 75 and 50%), distributed entirely at random, and developed in a greenhouse. The plants were grown in 15 L pots, filled with coconut shell fiber substrate. The crop evapotranspiration was measured by constant water table lysimeters. The culture was evaluated at two thirds of its development (115 days after transplantation), from fully developed leaves and fruits, for laboratory determination of N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn and Na. The macro and micronutrient leaf contents found were in agreement with the expected one for the culture, except for the phosphorus, which was below the expected minimum. The reuse water used in the preparation of the nutrient solution increased the sodium content in leaves and fruits.

Keywords: Effluent. Hydroponics. *Capsicum annum* L. Evapotranspiration. Fertigation.

3.1 INTRODUÇÃO

A necessidade de encontrar fontes alternativas de água para uso na agricultura fez crescer o interesse no seu reúso, seja para a irrigação e, ou fertirrigação. Em diversos países as águas residuárias de origem doméstica têm sido utilizadas na agricultura, e os resultados apontam aumento na produtividade e na qualidade de culturas fertirrigadas com esgotos domésticos municipais (MATOS; MATOS, 2017; RANA et al., 2011; ROOSTA; HAMIDPOUR, 2013).

Além de fontes alternativas de água, como o reúso, há a necessidade de buscar por sistemas de produção que proporcionem o uso mais eficiente da água e dos nutrientes. O cultivo de plantas usando substrato em substituição ao solo, apresenta potencial para aplicação de águas residuárias, pois somente o sistema radicular tem contato com a água de irrigação e, além disso, há a possibilidade de instalação

próximo as estações de tratamento de esgoto, por não haver dependência das características do solo para cultivo.

O conhecimento dos nutrientes presentes na água de reúso é essencial para o planejamento de sua aplicação, porém, é importante avaliar o estado nutricional da cultura, para saber se estes nutrientes estão realmente disponíveis para absorção, e também a sua interação com os fertilizantes minerais, quando necessário o aporte (CUBA CARVALHO; BASTOS; SOUZA, 2018).

O pimentão, apesar de ser uma hortaliça, os seus frutos desenvolvem-se distantes do solo ou substrato, e quando irrigado por gotejamento há uma mitigação dos riscos de contato da água de reúso com os frutos e, desta forma, de acordo com a diretrizes da Organização Mundial da Saúde (WHO, 2006), as quais combinam medidas de proteção à saúde para uso agrícola de águas residuárias, se enquadra na categoria de irrigação irrestrita.

O seu cultivo em substrato é uma alternativa para aumentar a qualidade dos frutos, ou para produzir em solos salinizados e, ou com presença de patógenos (NICK; BORÉM, 2016). Neste tipo de sistema, o manejo da água e dos nutrientes é mais complexo, pois os nutrientes são fornecidos através de solução nutritiva e as regas devem ser frequentes, já que o volume para armazenamento de água e nutrientes é limitado ao recipiente de cultivo e a capacidade de retenção de água do substrato (MIRANDA et al., 2015).

De acordo com Jadoski; Klar (2011), as plantas de pimentão são sensíveis ao fator hídrico, de forma que tanto o excesso, como reduções na disponibilidade de água no solo, prejudicam o desenvolvimento e a produção da cultura. Em relação a absorção dos nutrientes, sabe-se que o excesso de água ocasiona a sua lixiviação, e a falta limita os processos de absorção por alterar o fluxo de água.

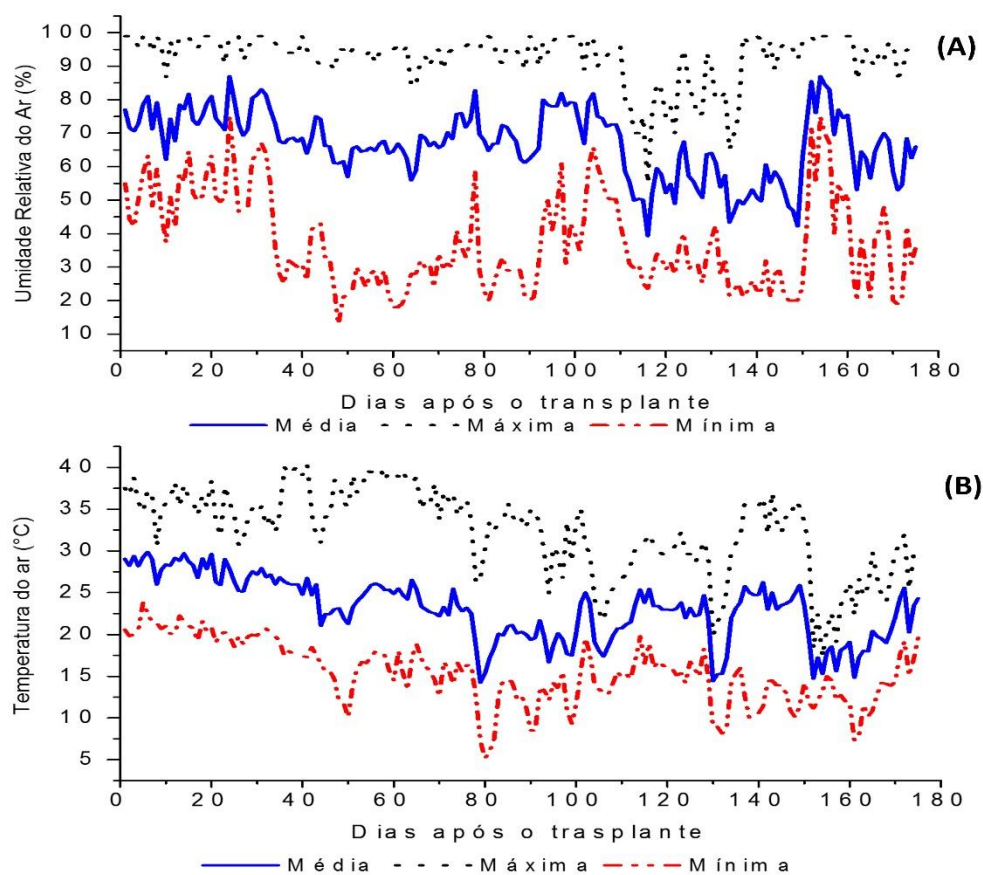
Desta forma, reconhecida a importância do reúso da água, do conhecimento das respostas das culturas em relação a esta prática, o objetivo deste trabalho foi avaliar o estado nutricional de plantas de pimentão, cultivadas em substrato de fibra de casca de coco, com água de reúso e diferentes taxas de reposição da evapotranspiração.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação com teto em formato de arco, coberta com filme plástico difusor (100 microns), e fechamento lateral com tela tipo sombrite, instalada na área experimental da Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP, município de Botucatu-SP, com localização geográfica à 22° 51' S de latitude, 48° 26' W de longitude, e 786 m de altitude.

O clima da região caracteriza-se por duas estações bem definidas, sendo uma seca, de abril a setembro, e outra chuvosa, de outubro a março, e enquadra-se como sendo Cfa pelo método de Köppen (CUNHA; MARTINS, 2009). Durante o período experimental, de março a agosto de 2018, monitorou-se diariamente a temperatura e umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação, através de uma estação meteorológica automática (Figura 10).

Figura 10 - Dados ambientais da umidade relativa do ar média, máxima e mínima (A) e temperatura do ar média, máxima e mínima (B), durante o período experimental no interior da casa de vegetação. Botucatu, 2018. Elaboração: próprio autor



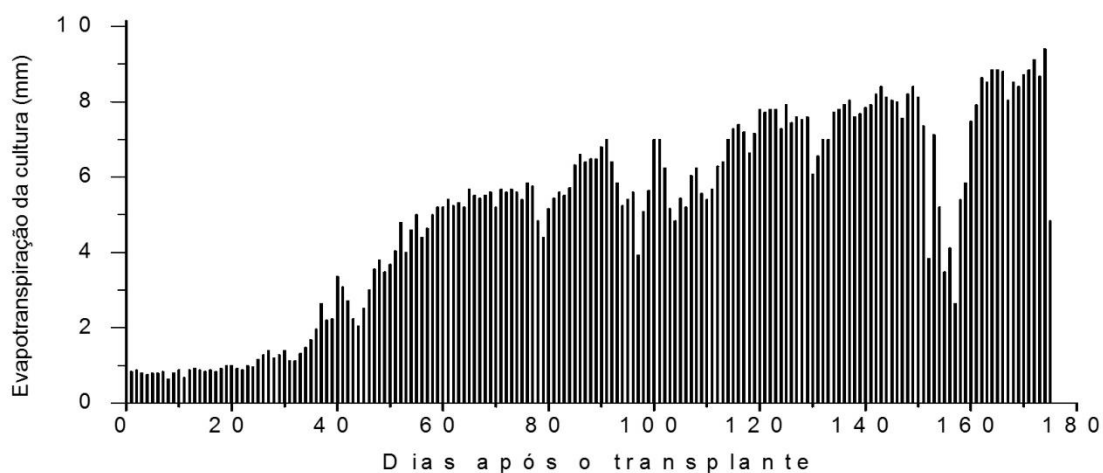
O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, em esquema fatorial (2 x 3), dois tipos de água, reúso e potável, e três percentuais de reposição de solução nutritiva no substrato, 100, 75 e 50% da evapotranspiração da cultura medida (ETc), e dez repetições (Tabela 13).

Tabela 13 - Distribuição dos tratamentos quanto aos tipos de água e lâminas de irrigação

Tratamentos	Tipo de água	Irrigação
TP1	Solução nutritiva preparada com água potável	100% da ETc
TP2	Solução nutritiva preparada com água potável	75% da ETc
TP3	Solução nutritiva preparada com água potável	50% da ETc
TR1	Solução nutritiva preparada com água de reúso	100% da ETc
TR2	Solução nutritiva preparada com água de reúso	75% da ETc
TR3	Solução nutritiva preparada com água de reúso	50% da ETc

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 cada um cultivado com uma planta de pimentão com o mesmo estágio de desenvolvimento das plantas dos tratamentos. A medida da evapotranspiração da cultura (ETc) foi diária (Figura 11), a partir da qual calculou-se os percentuais de cada lâmina avaliada. A lâmina diária calculada foi dividida em seis aplicações ao longo do dia.

Figura 11 - Evapotranspiração da cultura do pimentão medida diariamente.
Botucatu, 2018. Elaboração: próprio autor



O experimento foi composto por dois sistemas de irrigação independentes, para evitar a mistura das soluções nutritivas preparadas com os dois tipos de água, potável e 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, linha principal em PVC, três linhas secundárias de mangueiras de polietileno (diâmetro de 20 mm).

Utilizou-se um gotejador autocompensante por vaso, com vazão média de 2 L h⁻¹, espaçados a 0,50 m, interligado por um microtubo. Nesta pesquisa foram usados 60 vasos de polietileno (15 litros) preenchidos com substrato de fibra de coco e cada um cultivado com uma planta de pimentão, distribuídos 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.

Após a instalação do sistema de irrigação, realizou-se o teste de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), para verificação da uniformidade de distribuição de água no sistema, a uma pressão de serviço de 15 mca. Posteriormente, calculou-se o CUC (Equação 2) 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).

$$CUC = \left[\frac{\sum_{i=1}^N X_i - \bar{X}}{N * \bar{X}} \right] \quad (02)$$

Em que: *CUC* é Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (adimensional); *N* o número de coletores; *X_i* a lâmina de água aplicada no *i*-ésimo ponto sobre a superfície do solo em L h⁻¹; $\bar{X}$ a lâmina média aplicada em L h⁻¹.

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

A solução nutritiva usada na irrigação das plantas na fase vegetativa da cultura foi a proposta por Furlani et al. (1999), a qual contém as seguintes quantidades de

fertilizantes em g m⁻³: 750 g de nitrato de cálcio, 450 g de nitrato de potássio, 200 g de fosfato monoamônio, 400 g de sulfato de magnésio e 25 g de um concentrado de micronutrientes “ConMicros Standard®”. O combo de micronutrientes contém na porção de 25 g: 1,81; 0,19; 0,4; 0,4; 0,05; 0,09 e 0,08 g de Fe, Zn, Mn, B, Cu, Mo e Ni, respectivamente, segundo informações do fabricante.

Na fase de frutificação a solução nutritiva utilizada foi a mesma da fase vegetativa, porém acrescida de 150 g de fosfato monopotássio e 75 mL de solução preparada com 25 g de ácido bórico diluídos em 1 L de água.

Na Tabela 14 consta a caracterização química dos dois tipos de água usadas nos preparos das diferentes soluções nutritivas. A água de reúso oriunda do tratamento de esgoto doméstico foi fornecida mensalmente pela estação de tratamento de esgotos - ETE pertencente a SABESP/ Botucatu-SP, e amostras mensais eram coletadas na saída do reservatório para serem analisadas quanto aos parâmetros de pH, condutividade elétrica, macro, micronutrientes e sódio, com a finalidade de caracterização. A água potável também foi analisada mensalmente para os mesmos parâmetros.

Tabela 14 - Caracterização da água potável e 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. Legenda: 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 quantidade de adubo utilizada foi a mesma para a água potável e 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 adicionada a solução, e 50% para os micronutrientes.

Os tratamentos culturais durante o ciclo da cultura envolveram a poda de brotos laterais e primeiros frutos situados abaixo da primeira bifurcação. O manejo de pragas e doenças foi diário, por meio de monitoramento visual. Aplicou-se Abamectin®, Cabrio Top® e Bion WG®, sendo o primeiro para o controle de ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*) e minadora (*Liriomyza huidobrensis*), e os dois últimos para o fungo oídio (*Oidio* spp), seguindo as recomendações de dosagem e aplicação de cada produto recomendados para a cultura.

Aos dois terços de desenvolvimento da cultura foram coletadas amostras de folhas e de frutos de cada planta, e encaminhadas para o laboratório de análises de tecidos vegetais para determinação dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e sódio (Na), de acordo com a metodologia proposta por Raij et al. (1997).

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância (teste F), e nos casos de F significativo, as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados médios das interações entre os dois fatores, tipos de água e lâminas de solução nutritiva, sobre as concentrações foliares de macronutrientes (Tabela 15), micronutrientes e sódio (Tabela 16) das folhas, apresentaram interação altamente significativa para N, P, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn.

Em relação a influência isolada do fator tipos de água, houve efeito com nível de significância de 1% de probabilidade para os teores médios foliares de Mg, B, Mn e Na, e com significância de 5% de probabilidade para o Zn (Tabela 17). Para o segundo fator, lâminas de solução nutritiva, as diferenças entre os teores foliares médios de N, P, Mg, S, B, Cu, Fe e Mn foram altamente significativas. Para os nutrientes Ca e K não foi verificado efeito significativo dos fatores avaliados sobre suas concentrações no tecido foliar do pimentão.

Segundo Trani; Raji (1997), os teores foliares adequados na cultura do pimentão para os macronutrientes N, P, K, Ca e Mg variam de 30 a 60, 3 a 7, 40 a 60, 10 a 35, 3 a 12 mg kg⁻¹, respectivamente, e para os micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn, variam de 30 a 100, 8 a 20, 50 a 300, 30 a 250 e 30 a 100 mg kg⁻¹, respectivamente. Neste trabalho, todos os teores encontrados atenderam a esta recomendação, com exceção do P que ficou abaixo de 3 g kg⁻¹ para os tratamentos com água potável e lâmina de 100 e 50%, e tratamentos com água de reúso e lâminas de 100 e 75%, e do Fe, o qual ficou acima de 300 mg kg⁻¹ para as plantas cultivadas com água potável e lâmina de 100% e com água de reúso e lâminas de 100 e 50%.

Tabela 15 - Análise de variância e interação entre os tipos de água e as lâminas de solução nutritiva nos teores médios de macronutrientes de folhas de pimentão aos 115 dias após o transplante

Tratamentos	N		P		K		Ca		Mg		S	
Tipos de água (A)	Potável	Reúso	Potável	Reúso	Potável	Reúso	Potável	Reúso	Potável	Reúso	Potável	Reúso
Lâminas (L)	-----g kg ⁻¹ -----											
100%	53,66 aA	52,66 aA	2,86 aB	2,93 aA	53,67	57,33	18,33	18,00	5,23 aA	5,06 aB	3,00	2,90
75%	51,33 aA	53,33 aA	3,13 aA	2,93 bA	54,00	53,67	17,66	18,00	5,00 aA	5,16 aB	2,83	3,13
50%	49,33 aB	49,66 aB	2,86 bB	3,03 aA	53,66	53,67	17,00	18,33	5,10 bA	6,43 aA	2,56	2,76
	----- f -----											
Tipos de água (A)	1,78 ^{ns}		0,08 ^{ns}		1,79 ^{ns}		1,78 ^{ns}		72,73 **		3,6 ^{ns}	
Lâminas (L)	44,33 **		4,08 *		1,98 ^{ns}		0,78 ^{ns}		69,68 **		8,17 **	
Interação (A x L)	6,78 **		8,08 **		2,38 ^{ns}		2,11 ^{ns}		76,14 **		2,93 ^{ns}	
CV %	1,36		2,75		3,24		3,95		2,07		5,20	

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey. Legenda: ^{ns} não significativo; * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade; CV (%) coeficiente de variação. **Fonte:** Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, FCA- UNESP.

Tabela 16 - Análise de variância e interação entre os tipos de água e as lâminas de solução nutritiva nos teores médios de micronutrientes e sódio de folhas de pimentão aos 115 dias após o transplante

Tratamentos	B		Cu		Fe		Mn		Zn		Na	
Tipos de água (A)	Potável	Reúso	Potável	Reúso	Potável	Reúso	Potável	Reúso	Potável	Reúso	Potável	Reúso
Lâminas (L)	-----mg kg ⁻¹ -----											
100%	60,66 bAB	65,66 aC	12,33 aA	10,66 bB	351,0 aA	324,0 aA	139,6 aA	120,0 bB	88,00 aA	76,33 bB	160,0	166,6
75%	57,00 bB	74,33 aB	11,00 bB	12,33 bB	289,3 aA	299,0 aA	133,3 aB	128,0 bA	74,66 bB	81,0 aA	150,0	166,6
50%	62,00 bA	92,66 aA	9,66 aC	8,66 bC	282,6 bB	322,6 aA	113,0 aC	111,0 aC	76,00 aB	74,0 aB	140,0	160,0
	----- f -----											
Tipos de água (A)	316,16 **		3,20 ^{ns}		0,72 ^{ns}		111,20 **		8,20 *		12,07 **	
Lâminas (L)	88,21 **		42,20 **		8,90 **		203,54 **		23,85 **		3,5 ^{ns}	
Interação (A x L)	63,56 **		13,40 **		4,75 *		40,32 **		37,14 **		0,93 ^{ns}	
CV %	2,86		4,89		6,05		1,45		2,31		5,6	

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey. Legenda: ^{ns} não significativo; * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade; CV (%) coeficiente de variação. **Fonte:** Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, FCA- UNESP.

Tabela 17 - Teores médios de macro, micronutrientes e sódio em folhas de pimentão aos 115 dias após o transplante em função de tipos de água e lâminas de solução nutritiva

Fatores	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
Tipos de Água (A)	-----g kg ⁻¹ -----						-----mg kg ⁻¹ -----					
Potável	51,44	2,95	53,77	17,66	5,11 b	2,93	59,88 b	11,0	307,6	128,6 a	79,55 a	150,0 b
Reúso	51,88	2,96	54,88	18,11	5,55 a	2,80	77,55 a	10,55	315,2	119,6 b	77,11 b	166,4 a
DMS	0,72	0,08	1,81	0,72	0,11	0,15	2,02	0,54	19,36	1,85	1,86	9,05
Lâminas (L)												
100%	53,16 a	2,90 b	55,5	18,16	5,15 b	2,95 a	63,16 b	11,50 a	337,5 a	129,8 a	82,16 a	163,3
75%	52,33 a	3,03 a	53,83	17,83	5,08 b	2,98 a	65,66 b	11,66 a	294,1 b	130,6 a	77,83 b	158,3
50%	49,50 b	2,95 ab	53,66	17,66	5,76 a	2,66 b	77,33 a	9,16 b	302,1 b	112,0 b	75,0 c	150,0
DMS	1,08	0,12	2,71	1,08	0,17	0,15	3,03	0,81	29,04	2,78	2,78	13,58

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey. Legenda: DMS diferença mínima significativa.

A interação da lâmina de 50% da evapotranspiração da cultura com água potável e de reúso, proporcionou os menores teores foliares de N, mas dentro da faixa recomendada para a cultura. É provável que nos tratamentos com menor disponibilidade hídrica no substrato, proporcionada pela lâmina de 50% da evapotranspiração, houve uma redução da transpiração das plantas e segundo Epstein; Bloom (2006), a absorção de nutrientes e transporte através da raiz pode ser afetada indiretamente pela transpiração.

O fósforo em plantas de pimentão é absorvido em menor quantidade quando comparado com os demais macronutrientes, entretanto, é o que apresenta os melhores resultados em relação à produtividade em resposta ao seu suprimento (NICK; BORÉM, 2016). Os sintomas de deficiência vão desde menor crescimento (plantas raquíticas), folhas velhas com coloração verde-escura e quebradiças, abortamento severo de flores, além da redução da absorção dos outros nutrientes (EPSTEIN; BLOOM, 2006; FLORES et al., 2012).

Neste trabalho, os teores de P para alguns tratamentos (água de reúso e lâminas de 100 e 75%, e água potável e lâminas de 100 e 50%) ficaram em média 2% abaixo da quantidade mínima recomendada para a cultura, porém não foram observados sintomas visuais de deficiência, e nem mesmo houve redução na absorção dos demais elementos, já que os mesmos se encontram dentro da faixa esperada para a cultura. A redução nos teores de fósforo pode ter ocorrido pela sua característica de reagir com outros compostos e ser convertido à formas não disponíveis para a absorção das plantas.

O K e o Ca não foram influenciados pela interação dos fatores estudados, e nem pelos seus efeitos isolados. Em contrapartida, os teores de Mg foram influenciados pela interação e pelos efeitos isolados dos fatores. A água de reúso associada a lâmina de 50% proporcionou o maior acúmulo deste nutriente. Esse resultado pode ser explicado pelo fato da água de reúso conter pouco mais que o dobro de Mg que a água potável, proporcionando maiores quantidades deste nutriente na solução nutritiva.

O teor foliar médio de enxofre foi reduzido em 10% nas plantas cultivadas com lâmina de 50% quando comparadas com as plantas submetidas às lâminas de 100 e 75%. No ambiente de cultivo (solo ou substrato) os nutrientes se movem em direção à superfície das raízes por fluxo de massa e difusão, sendo que no processo de fluxo de massa, há a dependência da taxa de fluxo de água, a qual depende da transpiração e dos níveis de nutrientes na solução do solo (TAIZ; ZEIGER, 2013). A reposição de

50% da evapotranspiração pode ter reduzido a transpiração das plantas, e consequentemente, limitado a absorção do S por fluxo de massa, resultando em menores teores foliares. Na literatura não foram encontradas informações sobre a faixa adequada deste nutriente nas folhas de pimentões.

Em relação aos micronutrientes, a interação entre a lâmina de 50% e a água de reúso proporcionou os maiores teores médios de boro e cobre em comparação com as demais médias da interação. O ferro teve seus teores foliares reduzidos significativamente para a interação da água potável e lâmina de 50%.

Para o manganês e o zinco as maiores médias foliares da interação foram para a associação de água potável e a lâmina de 100%. O sódio presente em maior quantidade na água de reúso em comparação com a água potável, aumentou significativamente o teor foliar deste elemento.

A análise de variância e os resultados médios da interação entre os fatores tipos de água e lâminas de solução nutritiva para os teores de macronutrientes (Tabela 18), micronutrientes e sódio (Tabela 19) nos frutos, demonstram que a interação foi significativa apenas para o enxofre e o sódio. Para os demais nutrientes o efeito isolado do fator tipo de água proporcionou aumento significativo nos teores de N, P, K, Ca, S, Mn e Zn dos frutos de plantas cultivadas com água potável (Tabela 20).

O fator lâminas de solução nutritiva influenciou significativamente apenas o teor médio de manganês e sódio no fruto, proporcionando a maior média para a lâmina de 50% e de 75%, respectivamente.

Ao comparar os resultados médios dos teores foliares com os dos frutos, nota-se que houve uma redução nos teores encontrados nos frutos. A recomendação de avaliação do estado nutricional da cultura do pimentão proposta por Trani; Raij (1997), sugere a faixa de teores adequados de macro e micronutrientes para folhas completamente expandidas e recém desenvolvidas da cultura, desta forma para frutos não há uma recomendação.

Os frutos escolhidos para a análise química explicam os resultados obtidos, pois segundo Marcussi (2005), frutos mais próximos do ponto de colheita apresentam menor concentração de macronutrientes quando comparados a frutos novos, e para esta análise escolheram-se frutos totalmente desenvolvidos, em ponto de colheita, e sem qualquer tipo de dano físico ou sintoma visual de deficiência. Além disso, a fase de desenvolvimento das plantas de pimentão também exerce influência nos teores de nutrientes dos frutos, pois em períodos acima de 80 dias após o transplante há um

número grande de frutos em desenvolvimento e em ponto de colheita, diminuindo os teores de nutrientes nos frutos mais desenvolvidos.

Tabela 18 - Análise de variância e interação entre os tipos de água e as lâminas de solução nutritiva nos teores médios de macronutrientes de frutos de pimentão coletados aos 115 dias após o transplante

Tratamentos	N		P		K		Ca		Mg		S	
Tipos de água (A)	Potável	Reúso	Potável	Reúso	Potável	Reúso	Potável	Reúso	Potável	Reúso	Potável	Reúso
Lâminas (L)	-----g kg ⁻¹ -----											
100%	21,33	21,33	3,16	2,86	27,00	25,00	2,00	1,33	1,30	1,30	2,06 aA	1,50 bB
75%	24,00	20,33	3,23	3,00	28,00	26,00	2,00	2,00	1,30	1,26	1,93 aAB	1,86 aA
50%	24,33	22,00	3,16	2,83	27,00	25,00	2,00	1,33	1,33	1,36	1,73 aB	1,66 aAB
	----- f -----											
Tipos de água (A)	12,96 **		9,94 **		6,40 *		8,00 *		0,00 ^{ns}		11,61 **	
Lâminas (L)	3,64 ^{ns}		0,63 ^{ns}		1,60 ^{ns}		2,00 ^{ns}		1,44 ^{ns}		2,87 ^{ns}	
Interação (A x L)	3,72 ^{ns}		0,10 ^{ns}		0,10 ^{ns}		2,00 ^{ns}		0,33 ^{ns}		5,92 *	
CV %	5,30		6,38		5,63		18,75		5,39		8,09	

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey. Legenda: ^{ns} não significativo; * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade; CV (%) coeficiente de variação. **Fonte:** Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, FCA- UNESP.

Tabela 19 - Análise de variância e interação entre os tipos de água e as lâminas de solução nutritiva nos teores médios de micronutrientes e sódio em frutos de pimentão coletados aos 115 dias após o transplante

Tratamentos	B		Cu		Fe		Mn		Zn		Na	
Tipos de água (A)	Potável	Reúso	Potável	Reúso	Potável	Reúso	Potável	Reúso	Potável	Reúso	Potável	Reúso
Lâminas (L)	-----mg kg ⁻¹ -----											
100%	13,33	15,66	7,66	9,00	37,00	34,00	14,00	11,66	22,00	19,33	96,66 aA	100,0 aB
75%	13,66	12,66	9,33	9,66	54,33	39,00	13,33	11,00	24,00	20,66	80,00 bA	140,0 aA
50%	19,00	13,66	8,00	7,33	42,33	44,00	15,66	12,66	23,33	23,33	80,00 aA	96,66 aB
	----- f -----											
Tipos de água (A)	1,38 ^{ns}		0,32 ^{ns}		1,08 ^{ns}		18,89 **		17,52 **		16,46 **	
Lâminas (L)	2,63 ^{ns}		3,32 ^{ns}		1,52 ^{ns}		4,00 **		1,52 ^{ns}		3,63 *	
Interação (A x L)	3,84 ^{ns}		0,96 ^{ns}		0,90 ^{ns}		0,14 ^{ns}		0,79 ^{ns}		6,77 **	
CV %	2,86		14,67		27,14		9,55		9,02		14,10	

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey. Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey. Legenda: ^{ns} não significativo; * significativo a 5% de probabilidade, ** significativo a 1% de probabilidade; CV (%) coeficiente de variação. **Fonte:** Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, FCA- UNESP

Tabela 20 - Teores médios de macro, micronutrientes e sódio em frutos de pimentão coletados aos 115 dias após o transplante em função de tipos de água e lâminas de solução nutritiva

Fatores	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
Tipos de Água (A)	-----g kg ⁻¹ -----						-----mg kg ⁻¹ -----					
Potável	22,23 a	3,18 a	27,33 a	2,00 a	1,31	1,91 a	15,33	8,33	44,55	14,33 a	23,11 a	85,55 b
Reúso	21,22 b	2,9 b	25,55 b	1,55 b	1,31	1,67 b	14,00	8,66	39,00	11,77 b	19,33 b	112,22 a
DMS	1,21	0,19	1,53	0,34	0,07	0,14	2,46	1,28	11,64	1,96	1,96	14,32
Lâminas (L)												
100%	21,33 b	3,01	26,00	1,66	1,30	1,78	14,50	8,33	35,50	12,83 ab	20,66	98,33 ab
75%	22,16 ab	3,11	27,33	2,00	1,28	1,90	13,16	9,50	46,67	12,16 b	22,33	110,00 a
50%	23,16 a	3,00	26,00	1,66	1,35	1,70	16,33	7,66	43,16	14,16 a	20,66	88,33 b
DMS	1,81	0,29	2,29	0,51	0,10	0,22	3,70	1,92	17,46	1,92	2,94	21,47

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey. Legenda: DMS diferença mínima significativa.

Concordando com os resultados encontrados neste trabalho, Furlani et al. (1978), ao cultivar a linhagem Ikeda de pimentão, encontraram as seguintes concentrações médias de macronutrientes nos frutos de pimentão completamente desenvolvidos: 21,8; 4,1; 9,8; 1,1; 1,2 e 2,5 g kg⁻¹ de N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente, e de micronutrientes: 7; 12,5; 54; 33 e 13 mg kg⁻¹ de B, Cu, Fe, Mn e Zn, respectivamente. Marcussi (2005), em um estudo para determinar os teores de macronutrientes nos diferentes órgãos do híbrido de pimentão Elisa, fertirrigados em ambiente protegido, obtiveram os seguintes teores nos frutos aos 120 dias após o transplante: 29; 35; 3,6; 2,8; 4,2 e 3,5 g kg⁻¹, respectivamente para N, P, K, Ca, Mg e S, e concluíram que a folha é o órgão mais apropriado para análise de teor de macronutrientes para investigação de deficiência e de toxicidade.

O sódio em muitas espécies C₃ pode ser benéfico em baixos níveis, estimulando o crescimento através da intensificação da expansão celular, além de poder em parte, substituir o potássio como um soluto osmoticamente ativo (TAIZ; ZEIGER, 2013). O teor médio de sódio encontrado no fruto, para a interação dos dois fatores, foi 37% menor que o foliar, seguindo a tendência dos demais elementos.

Os teores de nutrientes para a cultura do pimentão reportados na literatura seguem a ordem decrescente de concentração nas folhas: K > N > Ca > Mg > P > Fe > Mn > Zn > B > Cu (TRANI; RAIJ, 1997) e para frutos: K > N > P > Ca > S > Mg > Na > Fe > Mn > Zn > B > Cu (FURLANI et al., 1978; ALBUQUERQUE et al., 2012). Neste trabalho a ordem de concentração nas folhas foi idêntica a proposta por Trani; Raij, (1997) e nos frutos também foi a mesma relatada por Furlani et al. (1978) e Albuquerque et al. (2012), com exceção dos micronutrientes, os quais seguiram a ordem: Fe > Zn > B > Mn > Cu.

3.4 CONCLUSÃO

A água de reúso usada no preparo da solução nutritiva proporcionou teores de macro e micronutrientes semelhantes aos das plantas cultivadas com solução nutritiva preparada com água potável, e dentro da faixa esperada para cultura para a maioria dos elementos.

Em relação ao sódio, nas folhas e nos frutos de plantas cultivadas com água de reúso houve um maior acúmulo deste elemento.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, F. S. et al. Nutrientes minerais em pimentão fertirrigado sob lâminas de irrigação e doses de potássio. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 681–687, 2012.
- CUBA CARVALHO, R. da S.; R.; 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**, v. 203, p. 311–321, abr. 2018.
- CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, p. 1–11, 2009.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 403 p.
- FLORES, R. A. et al. Crescimento e desordem nutricional em pimenteira malagueta cultivada em soluções nutritivas suprimidas de macronutrientes. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias - Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, v. 7, n. 1, p. 104–110, 28 mar. 2012.
- FURLANI, P. R., et al. **Nutrição mineral de hortaliças, preparo e manejo de soluções nutritivas**. Informe Agropecuário, v. 20, p. 90 – 98, 1999.
- FURLANI, A. M. C., et al. Composição mineral de diversas hortaliças. **Bragantia**, v.37, n.1, p.33-44, 1978.
- JADOSKI, S.; KLAR, A. E. O. **Fisiologia do estresse por deficiência hídrica: cultura do pimentão**. Guarapuava, 2011. 160 p.
- MANTOVANI, E. C. **AVALIA: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada**. Viçosa, MG: UFV, 2001.
- MARCUSSI, F. F. Uso da fertirrigação e teores de macronutrientes em planta de pimentão. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 642–650, 2005.
- MATOS, A. T.; MATOS, M. P. **Disposição de águas residuárias no solo e em sistemas alagados construídos**. Viçosa, Editora UFV, 2017. 371 p.
- MIRANDA, F. R. et al. Irrigação automatizada com sensores Irrigas® para o cultivo do pimentão em substrato de fibra de coco. Embrapa Agroindústria Tropical-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2015.
- NICK, C.; BORÉM, A. (Ed). **PIMENTÃO: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2016. 204 p.
- OLIVEIRA-BARCELOS, J. **Curso de Hidroponia**. Laboratório de Hidroponia, 2016. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias.
- RAIJ, B. Van et al. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: instituto agrônomo/ fundação IAC. 1997. 285p

RANA, S. et al. Reclamation of municipal domestic wastewater by aquaponics of tomato plants. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 6, p. 981–988, jun. 2011.

ROOSTA, H. R.; HAMIDPOUR, M. Mineral nutrient content of tomato plants in aquaponic and hydroponic systems: effect of foliar application of some macro and micronutrients. **Journal of Plant Nutrition**, v. 36, n. 13, p. 2070–2083, jan. 2013.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Guidelineas for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. 3. ed. Geneva: World Health Organization, 2006.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal** 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TRANI, P. E.; RAIJ, B. van. Hortaliças. In: RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Ver. Campinas, SP: IAC, 1997.

CAPÍTULO 4
DESENVOLVIMENTO E PRODUÇÃO DA CULTURA DO PIMENTÃO
HIDROPÔNICO COM ÁGUA DE REÚSO E DIFERENTES LÂMINAS DE
REPOSIÇÃO DE SOLUÇÃO NUTRITIVA

RENATA DA SILVA CUBA DE CARVALHO, ANTONIO EVALDO KLAR, MARIA
MÁRCIA PEREIRA SARTORI, LUÍS ROBERTO GABRIEL DE ALMEIDA FILHO,
HÉLIO GRASSI FILHO

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi verificar o desenvolvimento e a produção do pimentão em hidroponia com substrato e aplicação de água de reúso sob diferentes lâminas de reposição de solução nutritiva (100, 75 e 50% da evapotranspiração da cultura). As plantas foram cultivadas em ambiente protegido, em vasos com capacidade volumétrica de 15 L, preenchidos com substrato de fibra de casca de coco. A evapotranspiração da cultura foi medida através de lisímetros de lençol freático constante. A cultura foi avaliada considerando parâmetros morfológicos, componentes produtivos, a eficiência do uso da água e a classificação comercial dos frutos. A água de reúso usada no preparo da solução nutritiva mostrou-se tecnicamente viável para esta finalidade, sendo que o seu uso associado a reposição de 100% da evapotranspiração aumentou a produção da cultura, and its use associated with a 100% replacement of evapotranspiration increased crop production. A lâmina de reposição de solução nutritiva baseada em 100% da evapotranspiração da cultura proporcionou melhor desenvolvimento vegetativo e produtivo, com 3,9 kg de frutos por planta, maior eficiência no uso da água, e melhor padrão de classificação para comercialização dos frutos.

Palavras-chave: Efluente. Hidroponia. *Capsicum annum* L. Evapotranspiração. Substrato

DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF HYDROPONIC PEPPER CULTURE WITH RECYCLED WATER AND DIFFERENT NUTRIENT SOLUTION REPLACEMENT BLADES

ABSTRACT

The objective of this work was to cultivate the pepper (*Capsicum annuum* L.) in a hydroponic system with coconut husk fiber substrate to verify the effect of the recycled water application in the preparation of the nutrient solution. Also, to verify the effect of different water replenish blades on the substrate (100, 75 and 50% of crop evapotranspiration). The plants were cultivated in pots of protected environment, with volumetric capacity of 15 L, filled with coconut shell fiber substrate. The crop evapotranspiration was measured by constant water table lysimeters grown with the bell pepper. The crop was evaluated considering morphological parameters, productive components, water use efficiency and fruit commercial classification. The vegetative development, and production were not altered for the treatments cultivated with recycled water, proving to be technically feasible for this purpose. The nutrient solution replacement blade based on 100% of the crop evapotranspiration provided better vegetative and productive development, fruits with better classification standard for commercialization, resulting in greater efficiency in water use.

Keywords: Effluent, Hydroponics, *Capsicum annum* L. Evapotranspiration, Substrate

4.1 INTRODUÇÃO

A produção de hortaliças é caracterizada pelo desenvolvimento em pequenas propriedades, nas quais é necessário a otimização dos recursos produtivos para garantir a rentabilidade e sustentabilidade desta prática. Neste aspecto, os cultivos utilizando sistemas hidropônicos vêm aumentando por proporcionarem produtos com alta qualidade, maior rendimento por área e produção ao longo do ano todo.

O pimentão destaca-se no Brasil entre as principais hortaliças em relação a área plantada e produção, e está entre as mais cultivas em ambiente protegido (SANTOS et al., 2017). O cultivo em substrato ainda não é muito comum no Brasil, e deve ser

adotado principalmente em ambientes protegidos ou áreas com solos salinizados e, ou, com elevada infestação de patógenos (NICK; BORÉM, 2016).

O manejo da água em ambiente protegido é essencial, pois a falta de água ou a sua escassez inibe a translocação dos nutrientes, limita o desenvolvimento foliar, favorece o aparecimento de alterações fisiológicas, podridão apical e escaldadura, reduzindo significativamente a produção e qualidade dos frutos (LIMA et al., 2018). Por outro lado, o excesso também causa danos à cultura do pimentão facilitando o aparecimento de fungos e bactérias nas raízes.

A quantidade de água demandada pelas culturas pode ser obtida a partir de estimativas ou medidas diretas, mas em cultivos hidropônicos com substrato essa quantidade é definida, muitas vezes de forma empírica com volumes fixos, podendo ser em excesso ou deficiente (MIRANDA et al., 2015). Essa prática além de aumentar os custos com fertilizantes e energia para o bombeamento, também contribui para o risco de poluição do solo, e conseqüentemente, do lençol freático pelo excesso de solução nutritiva drenada do recipiente de cultivo.

Já existem resultados importantes publicados sobre o manejo da irrigação para a cultura do pimentão em sistema convencional (COELHO et al., 2013, ALBUQUERQUE et al., 2012, PARDOSSI et al., 2009), mas para o cultivo em substrato, e que seja de fácil operação há pouca informação.

O uso racional da água envolve a busca por fontes alternativas e a escolha de métodos de irrigação mais eficientes. Segundo Factor et al. (2008), a hidroponia associada ao uso de substratos em sistema sem recirculação da solução nutritiva, permite maior manutenção da umidade, e conseqüentemente, redução do consumo de energia elétrica, além de mitigar problemas com a disseminação de patógenos que atacam as raízes das plantas.

Uma outra prática que contribui para o uso racional da água, é o reúso de efluentes de origem doméstica na agricultura. De acordo com Rana et al. (2011), muitos vegetais e flores economicamente importantes podem utilizar nutrientes presentes nas águas de reúso para seu crescimento, mediante o manejo adequado. O reúso de efluente oriundo do tratamento de esgoto doméstico é uma prática permitida no Brasil para fins agrícolas e florestais, regulamentada pela Resolução 54/2005 (CNRH, 2005), no entanto, não especifica os critérios de qualidade relacionados à segurança ambiental e de saúde pública.

Na maioria dos sistemas hidropônicos, somente as raízes têm contato com a solução nutritiva, e por esta característica é uma forma de cultivo com potencial para aplicação de efluentes tratados. Além disso, pelo fato de ser uma técnica na qual não há contato com o solo pode reduzir o risco de contaminação do mesmo, e também do lençol freático. Na literatura é possível encontrar vários trabalhos relacionados ao uso de efluentes tratados na agricultura em cultivo convencional (CUNHA et al., 2014; DANTAS et al., 2014; SOUZA et al., 2013; SANTOS JÚNIOR et al., 2011), porém, segundo Santos Júnior et al. (2014), pesquisas que relacionem o aproveitamento da água residuária em cultivos hidropônicos ainda são escassas.

Diante do exposto, cultivou-se a cultura do pimentão em sistema hidropônico com substrato de fibra de casca de coco para avaliar o efeito da aplicação de água de reúso no preparo da solução nutritiva, e também diferentes lâminas de reposição de água no substrato, considerando parâmetros morfológicos, componentes produtivos da cultura e a eficiência no uso da água.

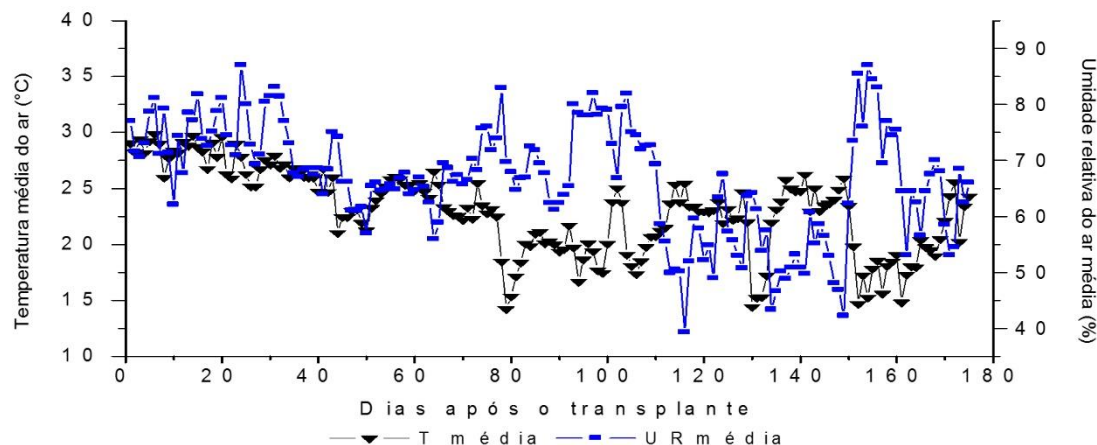
4.2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida em casa de vegetação, localizada na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas/ UNESP, localizada no município de Botucatu –SP, nas coordenadas 22° 51' S de latitude, 48° 26' W de longitude, e 786 m de altitude.

A condição climática 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). Durante o período experimental, de março a agosto de 2018, a temperatura e a umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação foram monitoradas (Figura 12).

Figura 12 - Dados ambientais da Umidade Relativa do ar média e Temperatura média do ar, durante o período experimental no interior da casa de vegetação.

Botucatu, 2018. Elaboração: próprio autor



Os tratamentos foram caracterizados pelo tipo de água usada para preparar a solução nutritiva, água potável e água de reúso oriunda do tratamento de esgoto doméstico, e diferentes taxas de reposição de água no substrato (100, 75 e 50% da evapotranspiração da cultura), conforme Tabela 21.

Tabela 21 - Distribuição dos tratamentos quanto aos tipos de água e lâminas de irrigação

Tratamentos	Tipo de água	Irrigação
TP1	Solução nutritiva preparada com água potável	100% da ETc
TP2	Solução nutritiva preparada com água potável	75% da ETc
TP3	Solução nutritiva preparada com água potável	50% da ETc
TR1	Solução nutritiva preparada com água de reúso	100% da ETc
TR2	Solução nutritiva preparada com água de reúso	75% da ETc
TR3	Solução nutritiva preparada com água de reúso	50% da ETc

O experimento foi composto por dois sistemas de irrigação independentes para evitar a mistura das soluções nutritivas preparadas com os dois tipos de água, potável e 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, 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 e cada um cultivado com uma planta de pimentão, distribuídos 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.

Para verificar a uniformidade de distribuição da água pelo sistema de irrigação utilizou-se coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC). A partir dos dados coletados no experimento, calculou-se o CUC (Equação 3) 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).

$$CUC = \left[\frac{\sum_{i=1}^N X_i - \bar{X}}{N * \bar{X}} \right] \quad (03)$$

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

O híbrido de pimentão cultivado foi o Gaston, do tipo verde/vermelho, recomendado para o cultivo em ambiente protegido. As mudas de pimentão foram adquiridas em viveirista credenciado junto ao 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 22. A água de reúso usada foi fornecida pela estação de tratamento de esgotos domésticos - ETE pertencente à SABESP/ Botucatu-SP, mensalmente, e amostras mensais eram coletadas na saída do reservatório para serem analisadas quanto aos parâmetros de pH, condutividade elétrica, macro, micronutrientes e sódio, com a finalidade de caracterização. A água potável também foi analisada mensalmente para os mesmos parâmetros, com amostras coletadas diretamente do sistema de abastecimento da Faculdade.

Tabela 22 - Caracterização química da água potável e da água de reúso utilizados 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 usada durante o cultivo das plantas foi a proposta por Furlani et al. (1999), recomendada para o pimentão (Tabela 23). Os micronutrientes foram adicionados na forma de um combo, o ConMicros®, o qual contém todos os micronutrientes misturados (Tabela 24). 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 adicionada a solução, e 50% para os micronutrientes.

Tabela 23 - Composição da solução nutritiva recomendada cultivo hidropônico de pimentão

Fertilizantes	Quantidade recomendada por fase (g m ⁻³)	
	Vegetativa	Frutificação
Nitrato de cálcio [Ca(NO ₃) ₂]	750	750
Nitrato de Potássio (KNO ₃)	450	450
Fosfato Monoamônio (MAP)	200	200
Sulfato de Magnésio (MgSO ₄)	400	400
Fosfato Monobásico de Potássio (KH ₂ PO ₄)	-	150
Formulado de micronutrientes (ConMicros Standard®)	25	25
Ácido Bórico	-	1,9

Fonte: Furlani et al. (1999).

Tabela 24 - Micronutrientes contidos no ConMicros Standard®

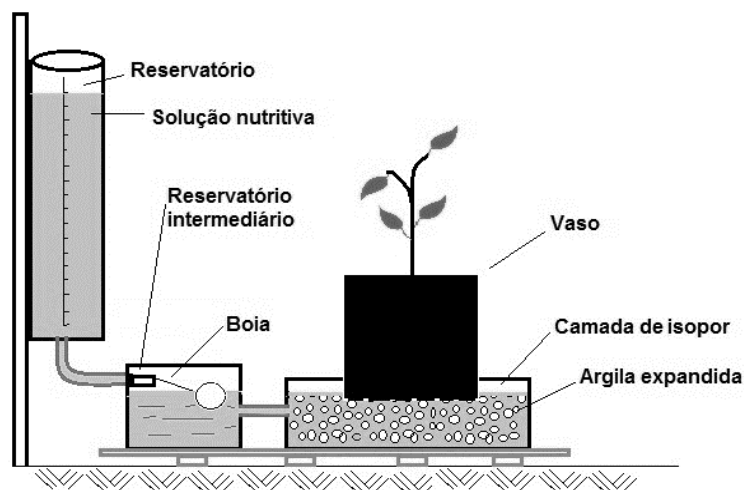
Micronutrientes (ConMicros Standard®)	Quantidade (25 g m ⁻³)
Boro	0,40
Cobre EDTA	0,40
Ferro EDTA	1,81
Manganês EDTA	0,40
Molibdênio	0,09
Níquel	0,085
Zinco	0,18

Fonte: Catálogo da empresa ConPlant®.

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 da casa de vegetação, e cada um cultivado com uma planta de pimentão com o mesmo estágio de desenvolvimento das plantas dos tratamentos (Figura 13).

Figura 13 - Desenho esquemático representando a construção e o funcionamento do lisímetro de lençol freático constante, em corte longitudinal.

Botucatu, 2018. Elaboração: próprio autor



Em cada lisímetro simulou-se a mesma condição de um vaso do experimento. 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. Para os outros tratamentos com 75 e 50% fez-se o percentual. A lâmina diária calculada foi dividida em seis aplicações ao longo do dia.

As variáveis biométricas avaliadas foram: altura (cm), diâmetro da base caulinar (cm), massa fresca e seca da parte aérea. As medições de altura e diâmetro da base caulinar foram realizadas a cada 30 dias, e a massa fresca e seca da parte aérea, ao final do experimento.

A colheita dos frutos foi semanal, e teve início aos 80 dias após o transplântio, com frutos colhidos com coloração da casca 100% verde. Cada fruto foi pesado, e classificado de acordo com o padrões de comercialização propostos pela Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP). Esse padrão é obtido a partir da coloração da superfície do fruto, das medidas de comprimento e diâmetro dos mesmos, as quais fornecem o grupo, classe, subclasse, respectivamente. Avaliou-se o também número de frutos comerciais e a produção comercial por planta, a qual foi extrapolada para área de um hectare, considerando uma população de 10.000 plantas, sendo determinado a produtividade (kg ha⁻¹). A eficiência no uso da

água ($\text{kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) foi obtida mediante a relação entre a produtividade e as lâminas de solução nutritiva (mm).

Os frutos fora dos padrões de comercialização foram contados e descartados, e ao final do experimento verificou-se a porcentagem de frutos descartados em relação ao total de frutos colhidos em cada tratamento.

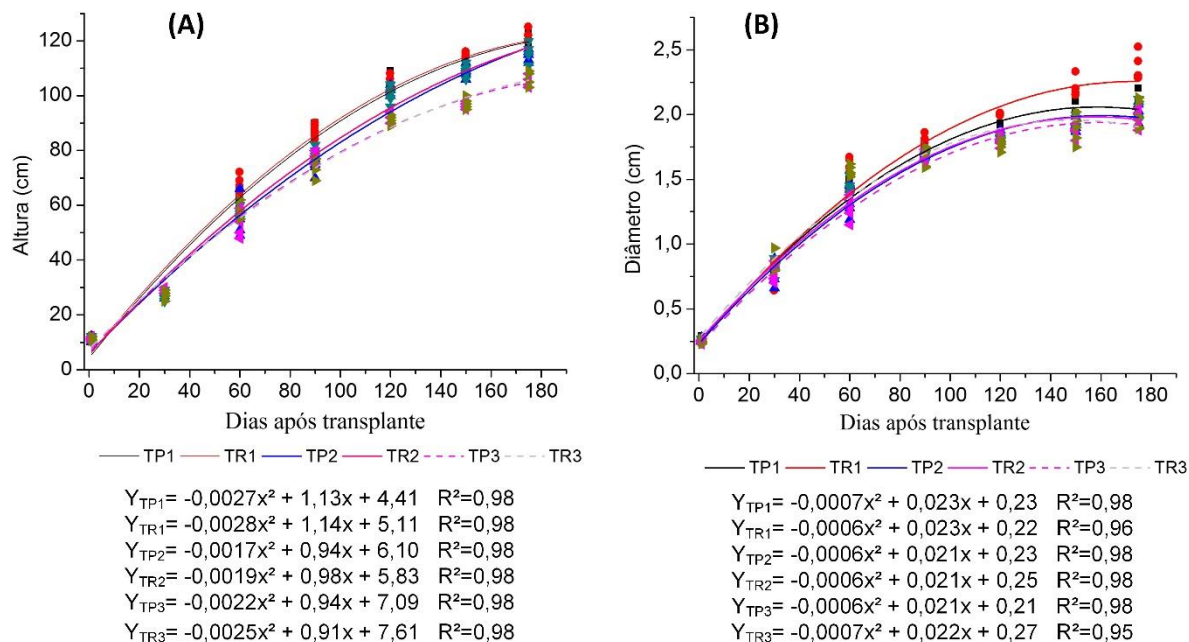
Os tratos culturais durante o ciclo da cultura envolveram: a poda de brotos laterais, e a eliminação dos primeiros frutos situados abaixo da primeira bifurcação. O manejo de pragas e doenças foi diário, por meio de monitoramento visual. Aplicou-se Ababectin®, Cabrio Top® e Bion WG®, sendo o primeiro para o controle de ácaro-rajado (*Tetranychus urticae*) e minadora (*Liriomyza huidobrensis*), e os dois últimos para o fungo oídio (*Oidio* spp), seguindo as recomendações de dosagem e aplicação de cada produto recomendados para a cultura.

Os dados coletados de altura e diâmetro medidos ao longo do período experimental, foram submetidos à análise de regressão, considerando como variável independente a idade da planta em dias após o transplante. Para os demais resultados fez-se análise de variância (teste F), e as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O crescimento em altura das plantas durante o ciclo de desenvolvimento (Figura 14), foi semelhante entre os tratamentos. As plantas submetidas a lâmina de 50% da ETc, apesar da altura semelhante à dos demais tratamentos, apresentaram folhas visualmente menores em relação aos demais, o que está de acordo com Giulivo; Pitacco (1993), ao avaliarem a influência do estresse hídrico no dossel vegetativo de plantas de pimentão, observaram que a cultura é sensível, tornando-se mais compacta e com folhas reduzidas nessas condições.

Figura 14 - Altura (A) e diâmetro (B) das plantas de pimentão medidos ao longo do ciclo da cultura, em função dos fatores tipos de água e lâminas de reposição de solução nutritiva. Botucatu, 2018. Elaboração: próprio autor



Legenda: TP1 (água potável e lâmina de 100% da ETc), TP2 (água potável e lâmina de 75% da ETc), TP3 (água potável e lâmina de 50% da ETc), TR1 (água de reúso e lâmina de 75% da ETc), TR2 (água de reúso e lâmina de 75% da ETc) e TR3 (água de reúso e lâmina de 50% da ETc).

É possível notar que em relação ao tipo de água, seja ela potável ou de reúso, não houve influência na altura das plantas e no diâmetro da base caular, conforme demonstrado na Figura 14.

Segundo Jadoski; Klar (2011), em situações de déficit hídrico, os níveis de auxina são reduzidos em função do aumento da concentração de etileno, afetando o potencial de parede e o alongamento celular. Neste trabalho, ao avaliar a Figura 14, nota-se que nos tratamentos cultivados com a lâmina de 50% da ETc, o crescimento foi menor em comparação com os demais.

Os resultados da análise de variância e interação das médias da altura final, diâmetro final, massa fresca da parte aérea (MFPA), e massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas de pimentão ao final do período experimental, 175 dias após o transplante das mudas, em função dos fatores tipos de água e lâminas de solução nutritiva, são apresentados na Tabela 25.

Tabela 25 - Análise de variância e interação entre tipos de água, potável e reúso, e lâminas de solução nutritiva, 100, 75 e 50% da evapotranspiração da cultura, para a altura e diâmetro final, massa fresca da parte aérea (MFPA), e massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de pimentão, aos 175 dias após o transplante

Tratamentos	Altura Final		Diâmetro Final		MFPA		MSPA	
Tipos de água (A)	Potável	Reúso	Potável	Reúso	Potável	Reúso	Potável	Reúso
Lâminas (L)	----- cm -----		----- g -----					
100%	118,6	119,6	2,10 bA	2,31 aA	711,9	751,7	123,1	131,9
75%	114,6	115,6	2,00 aA	2,00 aB	573,5	598,0	103,7	104,2
50%	104,8	106,0	2,00 aA	2,00 aB	504,9	492,6	86,41	86,59
	----- f -----							
Tipos de água (A)	0,98 ^{ns}		5,24 *		2,47 ^{ns}		1,92 ^{ns}	
Lâminas (L)	56,83 **		13,91 **		151,94 **		107,31 **	
Interação (A x L)	0,00 ^{ns}		3,90 *		1,96 ^{ns}		1,53 ^{ns}	
CV (%)	2,61		4,87		4,99		5,92	

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey. ^{ns} não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação

A interação entre os dois fatores (tipos de água e lâminas de solução nutritiva) foi significativa apenas para o diâmetro final das plantas. A água de reúso associada a lâmina de 100% da ETc, proporcionou a maior média para este parâmetro. É provável que o maior aporte de água no substrato, e também a composição química da água de reúso, com seus nutrientes, tenham favorecido esse resultado.

A altura final, a massa fresca e seca da parte aérea, não apresentaram interação significativa, sendo observados efeitos isolados dos tratamentos referentes às lâminas de solução nutritiva aplicadas neste experimento (Tabela 26).

Tabela 26 - Resultados médios da altura final (AF), diâmetro final (DF), massa fresca da parte aérea (MFPA), e massa seca da parte aérea (MSPA) em função dos fatores tipos de água (reúso e potável) e lâminas de reposição da solução nutritiva (100, 75 e 50% da evapotranspiração da cultura)

Fatores	AF	DF	MFPA	MSPA
Tipos de Água	cm		g	
Potável	112,7	2,0 b	596,7	104,4
Reúso	113,7	2,1 a	614,1	107,6
Lâminas (L)				
100%	119,1 a	2,2 a	731,8 a	127,5 a
75%	115,1 b	2,0 b	585,7 b	103,9 b
50%	105,4 c	2,0 b	498,7 c	86,5 c

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey.

Os percentuais de 50% e 75% da reposição da ETc provocou reduções significativas no desenvolvimento morfológico da cultura. Esse resultado pode ser devido ao fato do crescimento celular depender da absorção da água pelas células, sendo um dos primeiros processos afetados pela disponibilidade hídrica reduzida (SALISBURY; ROSS, 2013).

Segundo Lopes; Lima (2015), as plantas sob moderado déficit hídrico começam a diminuir o nível de citocinina, e em contrapartida, o teor de ácido abscísico (ABA) cresce nas folhas e em outros tecidos, promovendo o fechamento parcial e até total dos estômatos, reduzindo a transpiração e a fotossíntese, e conseqüentemente, inibindo o crescimento da parte aérea do vegetal.

A cultura do pimentão apresenta sensibilidade às variações na disponibilidade hídrica, sendo necessário manter elevados teores de umidade durante o ciclo da cultura (JADOSKI; KLAR, 2011). Na literatura, há diversos trabalhos que demonstram os efeitos negativos sobre o desenvolvimento da cultura quando submetida a reduções na disponibilidade hídrica (CARVALHO et al., 2011; ALBUQUERQUE et al., 2012; ARAGÃO et al., 2012; LIMA et al., 2018).

Entre os resultados das características da produção de frutos, os quais envolveram a produção comercial por planta, a produtividade comercial por hectare, número de frutos comerciais por planta e massa fresca, diâmetro e comprimento

médio do fruto, somente o diâmetro apresentou interação significativa entre os dois fatores a que foram submetidos (Tabela 27).

Tabela 27 - Análise de variância e interação dos resultados médios da produção comercial por planta (PCP, kg), produtividade comercial (PC, t ha⁻¹), número de frutos comerciais por planta (NFCP), massa fresca do fruto (MFF, g), diâmetro dos frutos (DF, cm) e comprimento dos frutos (CF, cm), em função dos fatores tipos de água e lâminas de solução nutritiva

Tratamentos	PCP		PC		NFCP		MFF		DF		CF	
Tipos de água (A)	Potável	Reúso	Potável	Reúso	Potável	Reúso	Potável	Reúso	Potável	Reúso	Potável	Reúso
Lâminas (L)	Kg		t ha ⁻¹				g		cm			
100%	3,91	3,9	39,1	39,00	15,2	16,0	261,2	271,7	8,14 bA	8,44 aA	14,85 aA	15,25 aA
75%	2,15	2,3	21,53	23,08	9,2	9,8	241,6	228,2	8,15 aA	7,79 bB	14,34 aA	13,61 bB
50%	1,22	1,3	12,22	13,20	5,8	6,4	216,53	206,60	7,58 aB	7,40 aC	13,09 aB	13,02 aC
	----- f -----											
Tipos de água (A)	5,32 *		5,32 *		3,92 ^{ns}		0,98 ^{ns}		0,84 ^{ns}		0,97 ^{ns}	
Lâminas (L)	1993,7 **		1993,7 **		272,59 **		53,82 **		31,02 **		75,19 **	
Interação (A x L)	2,06 ^{ns}		2,06 ^{ns}		0,04 ^{ns}		2,95 ^{ns}		5,7 **		6,01 ^{ns}	
CV (%)	3,82		3,82		8,86		12,24		7,08		12,24	

Médias seguidas de letras iguais maiúsculas na coluna e minúsculas na linha não diferem entre si pelo teste Tukey. ^{ns} não significativo; * significativo a 5% de probabilidade; ** significativo a 1% de probabilidade; CV (%) – coeficiente de variação.

A interação entre a água de reúso e a lâmina de 100% da evapotranspiração da cultura, aumentou o diâmetro médio dos frutos deste tratamento, em contrapartida, a lâmina de 50% reduziu significativamente essa variável em 7% nos tratamentos cultivados com água potável e 12,3% nos cultivados com água de reúso.

A análise dos fatores separadamente demonstram que a água de reúso propiciou um incremento significativo na produção comercial por planta, bem como na produtividade, de 4,16% quando comparada aos resultados da água potável (Tabela 28). Conforme mencionado anteriormente, a água de reúso com seus nutrientes, principalmente nitrogênio e potássio em concentrações mais elevadas que a água potável, pode ter contribuído para este resultado. García-Delgado et al. (2012), ao avaliarem o rendimento da cultura do pimentão cultivado no solo e ambiente protegido, obtiveram produções de 2,23 e 2,25 kg de frutos por planta para o tratamento fertirrigado com água de reúso de origem doméstica e o tratamento com água subterrânea, respectivamente.

Tabela 28 - Resultados médios da produção comercial por planta (PCP), produtividade comercial (PC), número de frutos comerciais por planta (NFCP), massa fresca do fruto (MFF), diâmetro do fruto (DF) e comprimento do fruto (CF) em função dos fatores tipos de água (reúso e potável) e lâminas de reposição da solução nutritiva (100, 75 e 50% da evapotranspiração da cultura). Botucatu, 2018

Fatores	PCP	PC	NFCP	MFF	DF	CF
Tipos de Água	kg	t ha ⁻¹		g		cm
Potável	2,40 b	24,30 b	10,10	239,78	7,95	14,09
Reúso	2,50 a	25,10 a	10,70	235,50	7,88	13,96
Lâminas (L)						
100%	3,90 a	39,00 a	15,60 a	266,46 a	8,29 a	15,05 a
75%	2,20 b	22,30 b	9,50 b	234,90 b	7,97 b	13,97 b
50%	1,30 c	12,70 c	6,10 c	211,56 c	7,49 c	13,05 c

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey.

A redução da reposição da evapotranspiração da cultura através das lâminas de 75 e 50%, impactou nos resultados produtivos e nas características dos frutos, causando redução gradativa dessas variáveis, com maiores reduções para a lâmina de 50%. Em algumas plantas, uma pequena falta de água é suficiente para causar

distúrbios no metabolismo de carbono, e consequentemente, na produção (PIMENTEL, 1998).

Os resultados obtidos concordam com Aragão et al. (2012), que ao cultivarem o pimentão em ambiente protegido para avaliar os efeitos na produção de quatro lâminas de irrigação, calculadas a partir da evaporação do Tanque Classe A, e quatro doses de nitrogênio (0, 50, 75 e 100% da recomendação), infeririam que as lâminas de 100 e 125% e a maior dose de N proporcionaram as melhores repostas produtivas da cultura.

A comparação entre os resultados produtivos da cultura do pimentão relatados na literatura é bastante controversa em função dos diferentes arranjos espaciais, tempo de cultivo e nível de tecnologia usada. O número de frutos por planta e o peso médio de cada fruto também variam bastante nos trabalhos encontrados na literatura. Santos et al. (2017), em um experimento para avaliar a produção de frutos em dois sistemas de poda em 15 genótipos diferentes de pimentão hidropônico, obtiveram resultados de 17 a 52 frutos por planta, com peso médio variando entre 85,45 a 235,61 g, sendo que o maior número de frutos foi associado ao menor peso e maior quantidade fora dos padrões de comercialização.

Na classificação dos frutos considerou-se o grupo, subgrupo, classe, subclasse e categoria, de acordo com as recomendações da CEAGESP. O grupo predominante neste trabalho foi o retangular, tendo como subgrupo o verde (Tabela 29).

Tabela 29 - Classificação de pimentões ‘híbrido Gaston’ em grupo, classe, subclasse, categoria de acordo com as características dos frutos produzidos para os tratamentos

Tratamentos	Grupo	Subgrupo	Classe (%)		Subclasse (%)			Categoria	PFD (%)
			15	12	6	8	10		
TP1	Retangular	Verde	51,2	48,8	31,2	66,3	2,5	Extra	0
TR1	Retangular	Verde	60,0	40,0	32,4	66,3	1,3	Extra	0
TP2	Retangular	Verde	38,0	62,0	48,0	52,0	0,0	I	13,32
TR2	Retangular	Verde	16,0	84,0	62,0	38,0	0,0	I	12,97
TP3	Retangular	Verde	0,0	100,0	80,0	20,0	0,0	II	36,81
TR3	Retangular	Verde	0,0	100,0	93,8	6,2	0,0	II	36,58

PFD (%): porcentagem de frutos descartados que não atenderam aos padrões mínimos de comercialização. Legenda: TP1 (água potável e lâmina de 100% da ETc), TP2 (água potável e lâmina de 75% da ETc), TP3 (água potável e lâmina de 50% da ETc), TR1 (água de reúso e lâmina de 100% da ETc), TR2 (água de reúso e lâmina de 75% da ETc) e TR3 (água de reúso e lâmina de 50% da ETc)

No que se refere à classe e subclasse, obtidas através das medidas de comprimento e diâmetro, os frutos produzidos com água de reúso, água potável e lâmina de 100% (TR1 e TP1), alcançaram maior porcentagem de frutos na classe 15, quando comparados aos demais tratamentos. O mesmo foi observado para a subclasse, a qual considera o diâmetro para esta classificação.

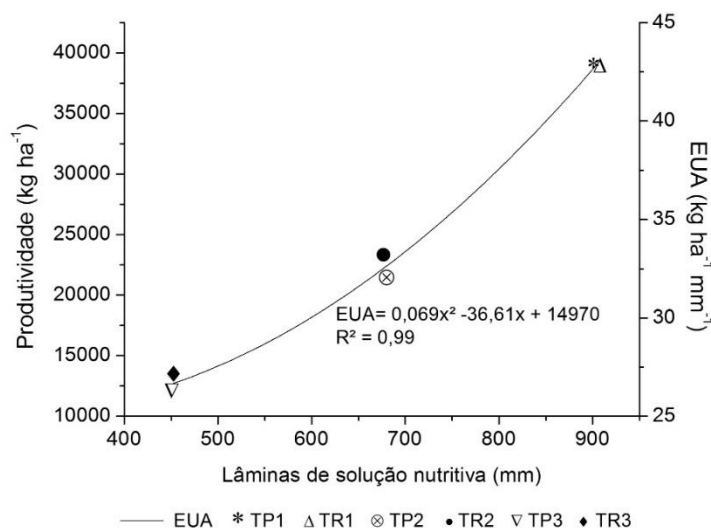
A classificação dos frutos foi superior para os tratamentos submetidos à lâmina de 100%, evidenciando mais uma vez seu efeito benéfico na produção de frutos. Dentre os tratamentos, conforme já mencionado, a redução da lâmina de reposição da solução nutritiva alterou as características dos frutos, assim como a classificação comercial, sendo esta inferior para os tratamentos TP3 e TR3. O pimentão é uma cultura caracterizada por ser sensível ao déficit hídrico, principalmente a partir do início da frutificação (MAROUELLI; SILVA, 2012), o que pode ter contribuído para a classificação inferior dos frutos das plantas cultivadas com a lâmina de 50% da ETc.

A porcentagem de frutos descartados mencionada na Tabela 28, refere-se aos frutos que apresentaram defeitos que não são aceitos na comercialização de pimentões segundo CEAGESP. As plantas cultivadas com lâmina de 50% tiveram a maior porcentagem de frutos com sintomas de podridão apical. Este sintoma ocorre por deficiência de Ca, porém os resultados da análise química dos teores foliares de cálcio não apontou deficiência deste nutriente. Em relação a análise química para os teores de Ca nos frutos não houve diferença entre os resultados médios dos tratamentos, apesar dos teores encontrados estarem baixos quando comparados ao foliares, os frutos amostrados estavam completamente desenvolvidos e sem qualquer tipo de injúria. O Ca não é móvel no floema, e em situações caracterizadas por restrições hídricas, elevadas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, pode ocorrer deficiência no fruto, devido ao intenso transporte via xilema para as folhas.

A eficiência no uso da água (EUA), expressa pela relação entre a produtividade comercial estimada (kg ha^{-1}) e as lâminas totais de solução nutritiva (mm), é apresentada na Figura 15. Os valores máximos para a EUA foram obtidos para os tratamentos com 100% de reposição da ETc, sendo que a medida que a reposição de água diária é reduzida, a EUA também reduz. A análise de regressão, aplicada aos resultados da produtividade em função das lâminas totais de solução nutritiva utilizada para cada tratamento, indica que o modelo ilustrou bem os resultados no intervalo observado, apresentando um coeficiente de determinação (R^2) de 99%, o que está de

acordo com Carvalho et al. (2011), que observaram uma relação quadrática entre a produtividade e as lâminas aplicadas na cultura do pimentão.

Figura 15 - Produtividade comercial (kg ha⁻¹) e eficiência do uso da água (EUA, kg ha⁻¹ mm⁻¹) em função das lâminas totais de solução nutritiva. Botucatu, 2018. Elaboração: próprio autor



Legenda: TP1 (água potável e lâmina de 100% da ETc), TP2 (água potável e lâmina de 75% da ETc), TP3 (água potável e lâmina de 50% da ETc), TR1 (água de reúso e lâmina de 100% da ETc), TR2 (água de reúso e lâmina de 75% da ETc) e TR3 (água de reúso e lâmina de 50% da ETc).

A menor lâmina, de 50% da ETc, influenciou na redução da EUA, sendo de 27,01 e 29,18 kg ha⁻¹ mm⁻¹, para os tratamentos com água potável e água de reúso, respectivamente, com percentual de redução da EUA quando comparados aos tratamentos com 100% da ETc de 37% para a água potável e 32,3% para a água de reúso.

Antony; Singandhupe (2004), em um experimento para entender o efeito de diferentes métodos, horários e lâminas de irrigação na cultura do pimentão (variedade Maravilha), concluíram que a irrigação por gotejamento com lâmina de 100% da evaporação do tanque Classe A, proporcionou os melhores rendimentos da cultura em comparação com as lâminas de 80, 60 e 40%.

A quantidade total de água demandada ao longo do período experimental foi de 905, 678 e 452 mm para as lâminas de 100, 75 e 50% da ETc, respectivamente, e estes valores estão dentro da faixa do consumo de água relatados por Doorenbos; Kassam (2000) e Marouelli; Silva (2012), o qual pode variar de 450 a 1.500 mm, dependendo do período de cultivo e número de colheitas.

4.4 CONCLUSÕES

A água de reúso associada a reposição de 100% da evapotranspiração aumentou a produção da cultura.

A lâmina de solução nutritiva de 100% da evapotranspiração da cultura proporcionou melhor desenvolvimento vegetativo e produtivo, com 3,9 kg de frutos por planta, maior eficiência no uso da água, e melhor padrão de classificação para comercialização dos frutos. Em contra partida, as lâminas de 75 e 50% da evapotranspiração limitaram a produção, além de aumentar o número de frutos com deficiência de cálcio.

REFERÊNCIAS

- ANTONY, E.; SINGANDHUPE, R. Impact of drip and surface irrigation on growth, yield and WUE of capsicum (*Capsicum annum* L.). **Agricultural Water Management**, v. 65, n. 2, p. 121–132, mar. 2004.
- ALBUQUERQUE, F. S. et al. Nutrientes minerais em pimentão fertirrigado sob lâminas de irrigação e doses de potássio. **Horticultura Brasileira**, v. 30, p. 681–687, 2012.
- ARAGÃO, V. F. et al. Produção e eficiência no uso de água do pimentão submetido a diferentes lâminas de irrigação e níveis de nitrogênio. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 6, n. 3, p. 207–216, 30 set. 2012.
- CARVALHO, J. A. et al. Análise produtiva e econômica do pimentão-vermelho irrigado com diferentes lâminas, cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 569–574, 2011.
- COELHO, M. E. H. et al. Production and efficiency of water usage in capsicum crops under no-tillage and conventional planting systems. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 4, p. 741–749, 2013.
- COMPANHIA DE ENTREPÓSITOS E ARMAZÉNS GERAIS DO ESTADO DE SÃO PAULO (CEAGESP). **Caracterização, escolha e controle de qualidade das frutas e hortaliças frescas para utilização em serviços de alimentação**. Disponível em < <http://www.hortibrasil.org.br/classificacao/pimentao/pimentao.html> > Acesso em: 3 dez. 2016.
- CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS CNRH (Brasil). Resolução nº 54, de 28 de Novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências. Presidente: Marina Silva. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, 09 mar. 2006.

CUNHA, A. H. et al. Sweet grape mini tomato grown in culture substrates and effluent with nutrient complementation. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 4, p. 707–715, 2014.

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

DANTAS, I. L. A. et al. Viabilidade do uso de água residuárias tratada na irrigação da cultura do rabanete (*Raphanus sativus* L.). **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 1, p. 109–117, 2014.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 2000. 221p.

FACTOR, T. L.; ARAÚJO, J.; VILELLA JÚNIOR, L. V. Produção de pimentão em substratos e fertirrigação com efluente de biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 143–149, 2008.

FURLANI, P. R., et al. Nutrição mineral de hortaliças, preparo e manejo de soluções nutritivas. *Informe Agropecuário*, v. 20, p. 90 – 98, 1999.

GARCÍA-DELGADO, C. et al. Effects of fertigation with purified urban wastewater on soil and pepper plant (*Capsicum annuum* L.) production, fruit quality and pollutant contents. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 1, p. 209, 29 fev. 2012.

GIULIVO, C.; PITACCO, A. Effect of water stress on canopy architecture of *Capsicum annuum* L. **Acta Horticulturae**, n. 335, p. 197-204, 1993.

JADOSKI, S.; KLAR, A. E. O. **Fisiologia do estresse por deficiência hídrica: cultura do pimentão**. Guarapuava, 2011. 160 p.

LIMA, G. S. et al. Impactos nutricionais e produção de pimentão submetido à deficiência hídrica (I). **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 4, p. 724, 2018.

LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. **Fisiologia da produção**. Viçosa: Editora UFV, 2015. 492 p.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Irrigação na cultura do pimentão**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2012, 20p (Circular Técnica, 101).

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

MIRANDA, F. R. et al. Irrigação automatizada com sensores Irrigas® para o cultivo do pimentão em substrato de fibra de coco. **Embrapa Agroindústria Tropical-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2015.

NICK, C.; BORÉM, A. (Ed). **PIMENTÃO: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2016. 204 p.

OLIVEIRA-BARCELOS, J. **Curso de Hidroponia**. Laboratório de Hidroponia, 2016. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias.

PARDOSSI, A. et al. Root zone sensors for irrigation management in intensive agriculture. *Sensors*, v. 9, p. 2809-2835, 2009.

PIMENTEL, C. **Metabolismo de carbono na agricultura tropical**. Seropédica: Edur, 1998. 150 p.

RANA, S. et al. Reclamation of municipal domestic wastewater by aquaponics of tomato plants. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 6, p. 981–988, jun. 2011.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. *Fisiologia das plantas*. 4. Ed. Cengage Brasil, 2013. 792 p.

SANTOS JÚNIOR, J. A., et al. Cultivo de girassol em sistema hidropônico sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n.4, p. 842–849, 2011.

SANTOS, P. R. et al. Desempenho de linhagens e híbridos de pimentão em dois sistemas de poda no cultivo hidropônico. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 1, p. 129–134, 2017.

SOUZA, J. A. R.; MOREIRA, D. A.; DE CARVALHO, W. B. Sanidade de frutos de pimentão fertirrigados com água residuária da suinocultura. **Revista Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**: v, v. 8, n. 2, 2013.

CAPÍTULO 5

ALTERAÇÕES FÍSICAS E QUÍMICAS EM SUBSTRATO DE FIBRA DE CASCA DE COCO APÓS O CULTIVO HIDROPÔNICO DE PIMENTÃO COM ÁGUA DE REÚSO E DIFERENTES LÂMINAS DE SOLUÇÃO NUTRITIVA

**RENATA DA SILVA CUBA DE CARVALHO, ANTONIO EVALDO KLAR, LUÍS
ROBERTO GABRIEL DE ALMEIDA FILHO, HÉLIO GRASSI FILHO**

RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar as características físicas e químicas do 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, em vasos com capacidade volumétrica de 15 L, preenchidos com fibra de casca de coco. As plantas foram cultivadas por 175 dias, e a cada 30 dias o pH e a condutividade elétrica do substrato foram medidos em laboratório. Após a colheita das plantas foram coletadas amostras do substrato e avaliadas as características químicas e físicas: condutividade elétrica, pH, teores de NH_4^+ , NO_3^- , P, K, Ca, Mg, S, Cl, B, Fe, Mn, Cu e 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, sendo os maiores valores para os tratamentos cultivados com solução nutritiva preparada com água de reúso.

Palavras chave: Salinização. Nutrientes. Água residuária. Hidroponia. Efluente.

**PHYSICAL AND CHEMICAL CHANGES IN COCONUT HUSK FIBER SUBSTRATE
AFTER THE CULTIVATION OF PEPPER IN A HYDROPONIC SYSTEM WITH
RECYCLED WATER AND DIFFERENT BLADES OF NUTRIENT SOLUTION**

ABSTRACT

The purpose of this work was to evaluate the physical and chemical characteristics of the coconut husk fiber substrate, before and after its use with the pepper crop, cultivated in pots, with nutritive solution prepared with recycled and drinking water, and different blades of this solution replenishment (100, 75 and 50% of crop evapotranspiration). The cultivation was carried out in pots of protected environment with 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 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 and Zn, cation exchange capacity (CTC), water retention capacity (10kPa) and dry bulk density. The replacement of nutrient solution in the substrate through crop evapotranspiration provided an increase in nutrient contents, electrical conductivity, substrate and density CEC as the highest values for the treatments cultivated with nutritive solution prepared with recycled water.

Keywords: Salinization. Nutrients. Wastewater. Hydroponics. Effluent.

5.1 INTRODUÇÃO

O cultivo em ambiente protegido vem aumentando no Brasil devido a busca por melhores resultados produtivos, pois neste ambiente 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, podem levar a salinização, sendo um dos principais problemas dessa prática.

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 este 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, porém para hortaliças ainda é pouco adotado em escala comercial. O aumento nos custos de produção ocasionado pela necessidade de adquirir o substrato, é um fator que limita sua aplicação para cultivo de hortaliças em geral. Uma alternativa para minimizar os custos com substratos é a sua reutilização, entretanto para esta prática é necessário conhecer suas características químicas e físicas antes e após o uso, e assim poder 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, parcialmente inerte, além de ser renovável, reciclável e de baixo custo (MARTINEZ, 2017). As 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 a diversas pesquisas relacionadas ao uso de águas residuárias na agricultura (CUBA CARVALHO et al., 2018; CHEKLI et al., 2017; RANA et al., 2011). As águas residuárias quando aplicadas no solo podem alterar as características químicas e físicas, sendo necessário monitoramento periódico da salinidade (URBANO et al., 2015), e desta forma a sua aplicação em sistemas hidropônicos pode ser uma alternativa.

Diante do exposto, este trabalho objetivou avaliar as características físicas e químicas do 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.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação, localizada na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas/ UNESP, localizada no município de Botucatu –SP, 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). 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 30.

Tabela 30 - 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

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
Maio	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 e 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 através 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 e cada um cultivado com uma planta de pimentão, distribuídos 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 de solução nutritiva foi verificada através do coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC). A partir dos dados coletados no experimento calculou-se o CUC (Equação 4) 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).

$$CUC = \left[\frac{\sum_{I=L}^N X_I - \bar{X}}{N * \bar{X}} \right] \quad (04)$$

Em que é N o número de coletores; X_I lâmina de água aplicada no i -ésimo ponto sobre a superfície do solo; $\bar{X}$: 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 em viveirista credenciado junto ao 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 31. A água de reúso foi

fornecida mensalmente pela estação de tratamento de esgotos domésticos - ETE pertencente à SABESP/ Botucatu-SP, e amostras eram coletadas na saída do reservatório para serem analisadas quanto aos parâmetros de pH, condutividade elétrica, macro, micronutrientes e sódio, com a finalidade de caracterização. A água potável também foi analisada mensalmente para os mesmos parâmetros, com amostras coletadas diretamente do sistema de abastecimento da Faculdade.

Tabela 31 - 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 adicionada a 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 cada um cultivado com uma planta de pimentão com o mesmo estágio de desenvolvimento das plantas dos tratamentos.

As medidas da evapotranspiração da cultura (ETc) 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 ETc, e para os demais tratamentos com 75 e 50% fez-se o percentual. A lâmina calculada foi dividida em seis aplicações ao longo do dia.

Ao longo do cultivo, a cada 30 dias fez-se a medida do pH e da condutividade elétrica na fibra de coco dos vasos de cada tratamento, através da coleta de 200 mL de substrato utilizando o método adaptado de extração proposto por Sonneveld et al. (1974), diluindo o substrato na proporção 1:1,5 para extrair a sua solução.

Além das medidas de pH e condutividade elétrica, 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, capacidade de trocas de cátions (CTC), de acordo com metodologia estabelecida pela Instrução Normativa nº 17 de 21 de maio de 2007, e Instrução Normativa nº 31 de 23 de outubro de 2018, 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 et al. (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 um litro de substrato por vaso. Na sequência essas três amostras foram misturadas em um recipiente de forma a obter 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.

Os valores obtidos do monitoramento da condutividade elétrica foram submetidos à análise de regressão, considerando como variável independente o tempo de cultivo da planta, expresso em dias após o transplante, e os demais resultados foram descritos.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise inicial e final dos componentes físicos e químicos da fibra da casca de coco dos diferentes tratamentos (Tabela 32), demonstrou que a aplicação de solução nutritiva contínua ao longo do ciclo da cultura do pimentão promoveu aumento de algumas características deste substrato.

Tabela 32 - 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

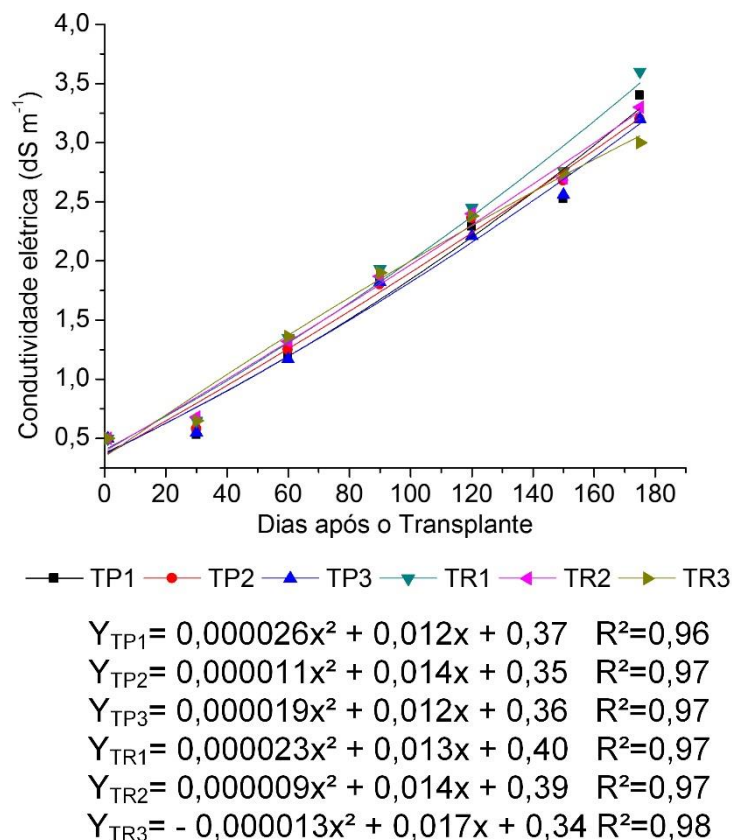
CE: condutividade elétrica; pH: potencial hidrogeniônico; CRA: capacidade de retenção de água na mesa de tensão a 10 cm de coluna d'água (10kPa); CTC: capacidade de trocas de cátions; TP1 (final): água potável e 100% da ETc; TP2 (final): água potável e 75% da ETc; TP3 (final): água potável e 50% da ETc;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

As características físicas dos substratos tem a mesma importância quanto as características químicas (FERNANDES et al., 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 manejo da irrigação. Os resultados encontrados ficaram próximos da média para a fibra de coco, 53,8% (v/v), proposta por Carrijo et al., (2002).

A condutividade elétrica dos substratos reflete seus teores de sais, e para todos os substratos dos seis tratamentos houve um aumento gradativo com função quadrática dos valores encontrados ao longo do experimento (Figura 16), porém 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 com moderadamente sensível a 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.

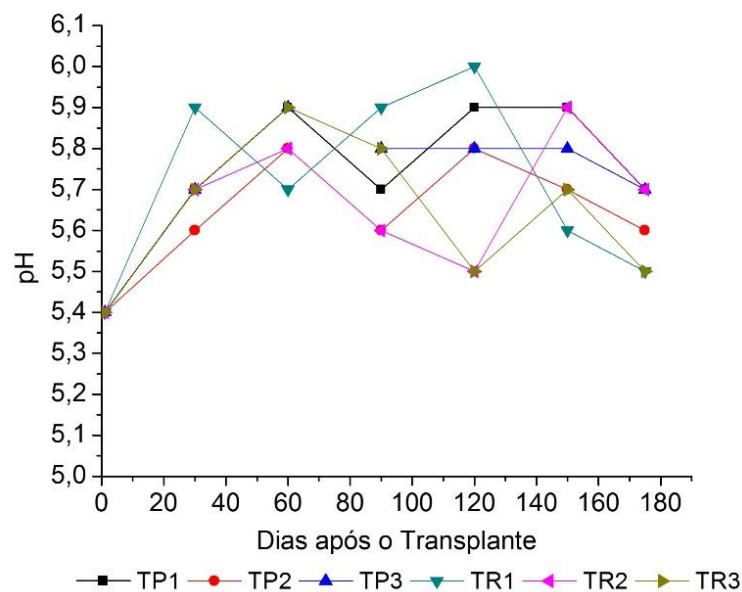
Figura 16 - Condutividade elétrica no substrato de fibra de casca de coco ao longo do cultivo do pimentão para os diferentes tratamentos: TP1 água potável e 100% da ETc; TP2 água potável e 75% da ETc; TP3 água potável e 50% da ETc; TR1 água de reúso e 100% da ETc; TR2 água de reúso e 75% da ETc; TR3 água de reúso e 50% da ETc. Elaboração: próprio autor



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 comparado à água potável.

O pH é uma característica química fundamental para o substrato, pois está associado a disponibilidade de nutrientes às 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 et al. (2004) (Figura 17).

Figura 17 - 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 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. Elaboração: próprio autor



As oscilações nos valores do pH apresentado na Figura 15, são comuns, por causa da absorção de cátions e ânions pelas raízes, além da liberação de ácidos orgânicos através das raízes (MARSCHNER, 2012).

A capacidade de troca de cátions de um substrato está relacionada com a quantidade de cátions presentes na sua superfície, e que podem ser trocados até o equilíbrio com cátions da solução nutritiva (ZORZETO, 2011). A CTC inicial da fibra de coco é considerada mediana ($CTC < 75 \text{ mmolc kg}^{-1}$ baixa; entre 75 e $100 \text{ mmolc kg}^{-1}$ mediana; $> 100 \text{ mmolc kg}^{-1}$ alta), segundo Martínez; Roca (2011), 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, micronutrientes, sódio e cloreto, presentes no substrato após o cultivo, também aumentaram em todos os tratamentos (Tabela 33). Os valores iniciais da fibra de coco concordam com os teores médios relatados por Carrijo et al. (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 33 - 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 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 Agrônômico, 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, e se acumular nas partes comestíveis, podendo 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 ao conteúdo inicial na água de reúso.

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; Roca, (2011).

Os teores de fósforo encontrados ao final do cultivo nos substratos dos tratamentos TP1, TP2, TP3, TR1, TR2 e TR3 foram 102, 96, 111, 142, 156 e 91,7%, respectivamente, mais elevados que o teor inicial. Para este 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 et al. (2014), um elemento pode afetar a absorção e distribuição de outro por competição, como ocorre com o K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺, 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. Dentro 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 observadas nos tratamentos cultivados com a água de reúso (Tabela 30).

Em relação aos micronutrientes, também houveram aumento dos seus teores na fibra de coco, porém as quantidades encontradas estão dentro dos teores esperados para substratos, de acordo com os níveis considerados ideais propostos por Martínez; 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 comparado 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, et al., 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 deste nutrientes acumulados ao longo do ciclo da cultura. Nick; 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 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 recomendaram alterações no manejo da solução nutritiva.

5.4 CONCLUSÕES

Dentre os parâmetros físicos avaliados, a densidade da fibra da casca de coco aumentou em todos os tratamentos.

A reposição de solução nutritiva no substrato através da evapotranspiração da cultura proporcionou aumento dos teores de nutrientes, condutividade elétrica e CTC

do substrato, sendo os maiores valores 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.

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. et al. K: Ca: Mg ratio in nutrient solution for production of mini tomato grown in substrate. **IRRIGA**, v. 19, n. 2, p. 214–224, 2014.

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

CHARLO, H. C. O. et al. **Alterations in levels of NPK, electrical conductivity and pH of substrate, in cultivation of peppers**. XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on 927. **Anais...**2012

CHEKLI, L. et al. Fertilizer drawn forward osmosis process for sustainable water reuse to grow hydroponic lettuce using commercial nutrient solution. **Separation and Purification Technology**, v. 181, p. 18–28, jun. 2017.

CUBA CARVALHO, R. da S.; 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**, v. 203, p. 311–321, abr. 2018.

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

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 403 p.

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**, p. 94–98, 2006.

FURLANI, P. R., et al. **Nutrição mineral de hortaliças, preparo e manejo de soluções nutritivas**. Informe Agropecuário, v. 20, p. 90 – 98, 1999.

LASARIDI, K. et al. Quality assessment of composts in the Greek market: The need for standards and quality assurance. **Journal of Environmental Management**, v. 80, n. 1, p. 58–65, jul. 2006.

LUDWIG, F. et al. Characteristics of substrates for nutrient absorption and production of gérbera. **Horticultura Brasileira**, v. 32, n. 2, p. 184–189, 2014.

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

MARIN, M. V. et al. Reuse of substrate and nutritive solution concentration on the cultivation of salad tomato. **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 1, p. 102–111, 20 jan. 2017.

MARSCHNER, P. **Mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2011. 651 p.

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.

MAPA-Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 17, de 21 de maio de 2007**. Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos, na forma do Anexo à presente Instrução Normativa. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-17-de-21-05-2007-aprova-metodo-substrato.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2018.

MAPA-Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 31, de 23 de outubro de 2008**. Altera os subitens 3.1.2, 4.1 e 4.1.2, do Anexo à Instrução 91 Normativa SDA nº 17, de 21 de maio de 2007. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-31-de-23-10-2008-altera-metodo-substrato.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2018.

MARTINEZ, E. P. **Manual prático de hidroponia**. 3. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2017. 286 p.

MELO, D. M. et al. Nutrient accumulation in “Fantasy” net melon cultivated on substrate. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 4, 30 ago. 2013.

NICK, C.; BORÉM, A. (Ed). **PIMENTÃO: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2016. 204 p.

OLIVEIRA-BARCELOS, J. B. **Curso de Hidroponia**. Laboratório de Hidroponia, 2016. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias.

PARDOSSI, A. et al. Fertigation and substrate management in closed soilless culture. **Pisa: University of Pisa**, 2011.

RANA, S. et al. Reclamation of municipal domestic wastewater by aquaponics of tomato plants. **Ecological Engineering**, v. 37, n. 6, p. 981–988, jun. 2011.

SOARES, T. M.; SILVA, E. F. de 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**, n. 5, p. 183-202, 1974.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

URBANO, V. R. et al. Physical-chemical effects of irrigation with treated wastewater on Dusky Red Latosol soil. **Revista Ambiente & Água**, 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.)**. Dissertação de mestrado (Agricultura Tropical e Subtropical). Campinas, 2011. 110 f, 2011.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os lisímetros de lençol freático constante propiciaram desempenho agrônômico satisfatório para a cultura do pimentão, demonstrando ser uma ferramenta com potencial para utilização no manejo hídrico de plantas cultivadas em substrato. A sua construção com materiais facilmente encontrados no mercado, de baixo custo, instalação e manutenção simples, reforçam a viabilidade de sua utilização por produtores rurais.

Reconhecida a importância da água de reúso, experimentos para ilustrar os seus efeitos fisiológicos na cultura, são importantes, porque estão relacionados ao metabolismo da planta, o qual em situação desfavorável pode ser alterado, e causar limitações na produção e no desenvolvimento máximo da cultura. O estudo desses efeitos vem somar resultados para viabilizar o uso de águas residuárias na agricultura.

A qualidade da água exigida para preparo da solução nutritiva reportada na literatura, não menciona a possibilidade do uso de águas de reúso, no entanto, é possível inferir que as águas de reúso podem ser uma fonte alternativa de água e nutrientes para este tipo de cultivo. Vale salientar, que o ideal é um planejamento do tratamento de esgoto visando o reúso, de forma a preservar os nutrientes presentes, e remover os patógenos.

O manejo adotado da aplicação da solução nutritiva a partir da evapotranspiração, contribui para o uso mais sustentável da água e dos nutrientes, porém, pode levar ao aumento na concentração de nutrientes e da condutividade elétrica do substrato ao final do cultivo, sendo maior esse acúmulo nos substratos que receberam a água de reúso, com tendência a salinização. A fibra de coco é um material que pode ser reutilizado por vários ciclos de cultivo, porém é necessário o conhecimento das alterações ocorridas entre um ciclo e outro para definir a melhor estratégia e aproveitar esses nutrientes, evitando o seu descarte no ambiente. Desta forma, é fundamental o acompanhamento da condutividade elétrica durante o cultivo e com base no resultado, diluir a solução nutritiva e se necessário alternar a sua aplicação somente com água, no entanto, são necessários mais estudos para estabelecer o manejo mais adequado.

REFERÊNCIAS

- ALMUKTAR, S. A. A. N. et al. Recycling of domestic wastewater treated by vertical-flow wetlands for irrigating Chillies and Sweet Peppers. **Agricultural Water Management**, v. 149, p. 1–22, fev. 2015.
- CHARLO, H. C. O. et al. Cultivo de híbridos de pimentão amarelo em fibra da casca de coco. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 155 - 159, 2009.
- CHARLO, H. C. O. et al. Accumulation of nutrients in sweet peppers cultivated in coconut fiber. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 1, p. 125–131, 2012.
- CHEKLI, L. et al. Fertilizer drawn forward osmosis process for sustainable water reuse to grow hydroponic lettuce using commercial nutrient solution. **Separation and Purification Technology**, v. 181, p. 18–28, jun. 2017.
- CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS CNRH (Brasil). Resolução nº 54, de 28 de Novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reuso direto não potável de água, e dá outras providências. Presidente: Marina Silva. **Diário Oficial [da] União**, Brasília, 09 mar. 2006.
- CUBA CARVALHO, R. da S.; R.; 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**, v. 203, p. 311–321, abr. 2018.
- CUBA, R. da S. et al. Potencial de aplicação de esgoto doméstico tratado como fonte de nutrientes e água no cultivo hidropônico de alface. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 3, p. 574–586, 2015.
- CUNHA, P. C. R. et al. Eficiência de métodos para o cálculo de coeficientes do tanque classe A na estimativa da evapotranspiração de referência. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 2, p. 114-122, 2013.
- FACTOR, T. L.; ARAÚJO, J.; VILELLA JÚNIOR, L. V. Produção de pimentão em substratos e fertirrigação com efluente de biodigestor. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 143–149, 2008.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Solanáceas: agrotecnologia moderna na produção de tomate, batata, pimentão, pimenta, berinjela, e jiló**. Lavras: UFLA, 2003. 333 p.
- INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA (IEA). Disponível em: <http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/subjetiva.aspx?cod_sis=1&idioma=1>. Acesso em: 18 ago. 2018.
- MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. **Irrigação na cultura do pimentão**. 1ª Ed. Brasília: Embrapa, 2012, 20p (Circular Técnica, 101).
- MIRANDA, F. R. et al. Irrigação automatizada com sensores Irrigas® para o cultivo do pimentão em substrato de fibra de coco. **Embrapa Agroindústria Tropical-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2015.

MUÇOUÇA, M. F. S.; KLAR, A. E.; MUÇOUÇA, F. J. Área foliar e evapotranspiração de Callas cultivadas em substrato em função do nível freático. **Irriga**, p. 119–129, 2006.

OLIVEIRA, F. A. et al. Nutrição mineral do pimentão submetido a diferentes manejos de fertirrigação. **Horticultura Brasileira**, v. 33, n. 2, p. 216–223, jun. 2015.

PAULUS, D. et al. Growth, water consumption and mineral composition of lettuce in hydroponic system with saline water. **Revista Ceres**, v. 59, n. 1, p. 110–117, 2012.

PIVETTA, C. R. et al. Evapotranspiração máxima do pimentão cultivado em estufa plástica em função de variáveis fenométricas e meteorológicas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 14, n. 7, 2010.

REIS, L. S.; SOUZA, J. DE; AZEVEDO, C. DE. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do tomate caqui cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 289–296, 2009.

RESH, H. M. **Cultivos hidropônicos**. 4ª Ed. Ediciones Mund-Prensa, Madrid, 1997. 509 p.

ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; AZEVEDO, H. M. de. Ajuste do modelo Chistiansen-Hargreaves para estimativa da evapotranspiração do feijão no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v.7, n. 2, p.263-268, 2003.

SCHAER-BARBOSA, M.; SANTOS, M. E. P.; MEDEIROS, Y. D. P. Waste water reuse as a mitigating factor to the effects of droughts in the state of Bahia Semi-Arid Viability study. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 2, p. 17–32, 2014.

SOUZA, C. F. et al. Eficiência de estação de tratamento de esgoto doméstico visando reuso. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 3, p. 587–597, 2015.

TAGLIAFERRE, C. et al. Adjustment and usage of the irrigameter for management of irrigation water. **IRRIGA**, v. 19, n. 1, p. 61–72, 2014.

URBANO, V. R. et al. Effects of treated wastewater irrigation on soil properties and lettuce yield. **Agricultural Water Management**, v. 181, p. 108–115, fev. 2017.

VALANDRO, J. et al. Transpiração do tomateiro cultivado fora do solo em estufa plástica e sua relação com os elementos meteorológicos. **Ciência Rural**, v. 37, n. 6, 2007.

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Guidelineas for the safe use of wastewater, excreta and greywater**. 3. ed. Geneva: World Health Organization, 2006.